



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
УКРАЇНИ  
“КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ  
ІНСТИТУТ”  
Інститут енергозбереження та енергоменеджменту



**МАТЕРІАЛИ  
V МІЖНАРОДНОЇ НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ  
ІНСТИТУТУ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ ТА  
ЕНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТУ  
НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО  
УНІВЕРСИТЕТУ УКРАЇНИ «КИЇВСЬКИЙ  
ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»**

**ЕНЕРГЕТИКА. ЕКОЛОГІЯ. ЛЮДИНА**

**(ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ)**

**Київ  
2013**

Енергетика. Екологія. Людина. Наукові праці НТУУ «КПІ», ІЕЕ. – Київ: НТУУ «КПІ», ІЕЕ, 2013. – 628 с.

У збірнику представлено статті молодих фахівців з питань перспективних розробок та нових рішень в енергетиці сталого розвитку на V Міжнародній науково-технічній конференції «Енергетика. Екологія. Людина».

До збірника включено статті за такими напрямками: сталий розвиток енергетики; енергоефективні екобезпечні технології та обладнання; автоматизація управління електротехнічними комплексами; електромеханічне обладнання енергоємних виробництв; теплотехніка та енергозбереження; геобудівництво та гірничі технології; охорона праці, промислової та цивільної безпеки; інженерна екологія, а також особливості функціонування паливно-енергетичного комплексу України з урахуванням природоохоронних вимог. Викладено методи аналізу системи електропостачання, дано оцінку рівнів енергозабезпеченості та енергоефективності з урахуванням екологічного фактора та впливу галузі на людину.

*Друкується за рішенням організаційного комітету науково-технічної конференції  
«Енергетика. Екологія. Людина»*

**Оргкомітет конференції:**

**Голова оргкомітету:** Денисюк С.П., д.т.н., професор, директор ІЕЕ

**Заступник голови оргкомітету:** Закладний О.М., к.т.н., доцент, заст. директора ІЕЕ

**Члени оргкомітету:** Кравець В.Г., д.т.н., проф.; Дешко В.І., д.т.н., проф.; Шевчук С.П., д.т.н., проф.; Ткачук К.К., д.т.н., проф.; Левченко О.Г., д.т.н., проф.; Розен В.П., к.т.н., проф.; Калінчик В.П., к.т.н., доц.; Іншеков Є.М., к.т.н., доц.; Ковальчук А.М., к.т.н., доц..

**Відповідальний секретар:** Оборонов Т.Ю.

**Технічний секретар:** Броницький В.О.

**Адреса організаційного комітету:**

Україна, Київ, 03056, вул. Борщагівська, 115, корпус № 22, ауд. 310

Інститут енергозбереження та енергоменеджменту

Тел./факс: (044) 406 83 08, 456 96 89

[conference\\_eel@ukr.net](mailto:conference_eel@ukr.net)

Відповідальність за зміст статей несуть автори

© Національний технічний університет  
України «КПІ», 2013

**РОЗДІЛ А**  
**ПЛЕНАРНЕ ЗАСІДАННЯ**

УДК 621.311

Б.С. Серебренніков, канд. екон. наук, доцент,  
Національний технічний університет України «КПІ»  
К.Г. Петрова, аспірант,  
Кіровоградський національний технічний університет

## КОМПЛЕКСНЕ РЕГУЛЮВАННЯ РЕЖИМУ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ ПРОМИСЛОВИХ СПОЖИВАЧІВ У ЧАСІ

*Наведено результати досліджень регулювання режиму електроспоживання промислових споживачів у часі із застосування техніко-технологічних методів. Доведено ефективність управління графіками електричних навантажень при комплексному використанні методів «лімітуючого шляху» та «пріоритетно-крокового».*

*режим електроспоживання, метод регулювання, промисловий споживач*

*Приведены результаты исследований регулирования режима электропотребления промышленных потребителей во времени с использованием технико-технологических методов. Доказана эффективность управления графиками электрических нагрузок при комплексном применении методов «лимитирующего пути» и «приоритетно-шагового».*

*режим электропотребления, метод регулирования, промышленный потребитель*

*Presented the results of studies on the application of technical- technological methods of regulation mode power consumption of industrial consumers in time. Proved the efficiency regulation schedules of electrical loads with complexed using methods of "limiting the way" and "priority-stepper."*

*regime of power consumption, method of control, industrial consumer*

**Вступ.** Добовий графік навантаження об'єднаної енергосистеми (ОЕС) характеризується двома піками – ранковим та вечірнім, а також зниженням навантаження в нічні години [1]. Вирівнювання графіку електронавантаження (ГЕН) сприятиме підтриманню балансу електричної енергії (ЕЕ), заощадженню паливно-енергетичних ресурсів, зменшенню втрат ЕЕ тощо. Як показує багаторічний досвід [2], важелів, що застосовуються на сьогодні для вирішення проблеми нерівномірності ГЕН, явно недостатньо.

**Аналіз досліджень та публікацій.** Дослідження [3-5] зосереджені лише на одній специфічній галузі чи окремому методі і тому не дають інструментарію комплексного впливу на всі групи споживачів електроенергетичного ринку.

Запропонована у [6] концептуальна модель електроспоживання узагальненого технологічного процесу (ТП) з визначенням умов перерозподілу електричної потужності на інтервалі часу технологічного циклу вирізняється складністю і може бути застосована для обмеженого кола ТП.

У [7] наголошується, що для регулювання добового попиту на ЕЕ крім цінового методу необхідно залучати техніко-технологічні, інформаційно-пропагандистські та інші методи впливу. У [8] на прикладі вирівнювання ГЕН конкретного промислового споживача (ПС) показано ефективність застосування техніко-технологічного методу, а у [9] – пріоритетно-крокового методу регулювання. Вочевидь, більшого ефекту від залучення обох методів можна досягти при їх комплексному використанні.

**Метою роботи** є дослідження можливостей комплексного застосування методу лімітуючого шляху та пріоритетно-крокового методу для формування раціонального режиму електроспоживання у часі.

**Викладення матеріалу і результати дослідження.** Розглянемо комплексне управління, провівши спочатку вирівнювання окремих ГЕН для найбільш енергоємних ТП і цехів двох потужних ПС з використанням методу лімітуючого шляху (МЛШ) [8]. Після цього, раціонально вирівнювати вже їх сумарний ГЕН, застосовуючи до них пріоритетно-кроковий метод (ПКМ) [9] і т.д.

На рис. 1 представлено зимові ГЕН двох реальних машинобудівних ПС («Червона Зірка» – крива 1 на рис. 1а та «Гідросила» – крива 3 на рис. 1б). Проведемо їх вирівнювання, застосувавши МЛШ аналогічно до [8] для більшості енергоємних цехів. Виявлені резерви часу  $R_t$  визначають величину можливого зміщення електронавантажень паралельних операцій вздовж ТП. Після перерозподілу навантажень у межах  $R_t$ , ГЕН обох ПС набудуть вигляду відповідно кривих 2 та 4 на рис. 1. Порівняння основних показників вирівнювання графіків 1 та 2 (табл.1) показує, що  $K_{ЗГ}$  зріс на 5,8%,  $K_{\Phi}$  – на 1,4% та  $Dp$  – на 23,7%. Трансформація графіка 3 у 4 супроводжується зростанням  $K_{ЗГ}$  на 4,7%,  $K_{НР}$  на 6,4% і зменшенням  $K_M$  на 4,7%,  $K_{\Phi}$  на 0,6% та  $Dp$  на 21,2%.

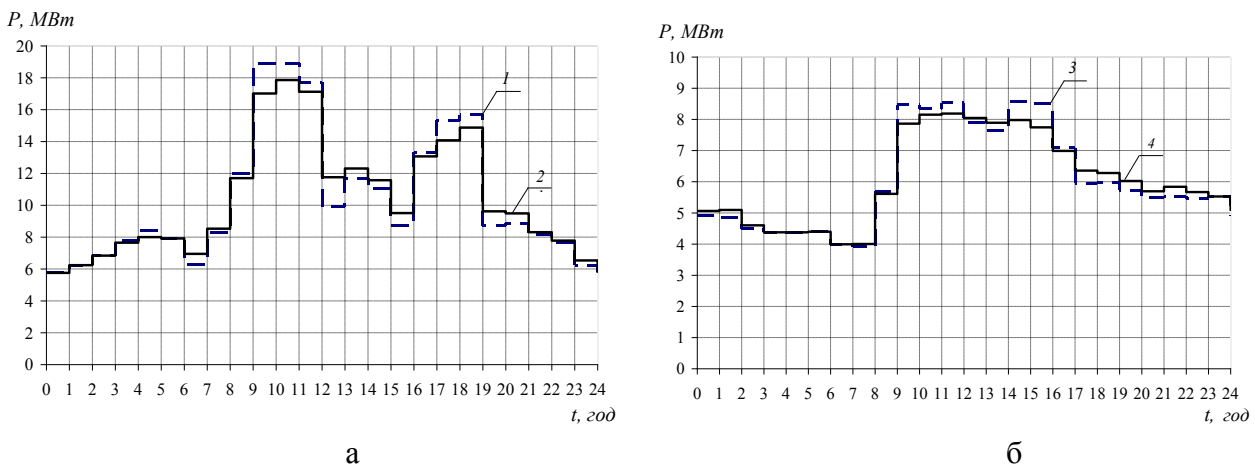


Рис. 1. Графіки електроспоживання: а – ПС «Червона Зірка» (1 – до регулювання, 2 – після вирівнювання МЛШ); б – ПС «Гідросила» (3 – до регулювання, 4 – після вирівнювання)

Таблиця 1 - Порівняння основних показників нерівномірності ГЕН двох ПС до та після регулювання МЛШ

№ з/п	Варіанти регулювання	Основні показники нерівномірності ГЕН				
		$K_{ЗГ}$	$K_M$	$K_{НР}$	$K_{\Phi}$	$Dp$
1	«Червона Зірка» до регулювання	0,5516	1,8127	0,3044	1,0723	17,027
2	«Червона Зірка» після МЛШ	0,5843	1,7114	0,3225	1,0574	13,415
3	«Гідросила» до регулювання	0,7078	1,4128	0,4576	1,0335	2,6229
4	«Гідросила» після МЛШ	0,7418	1,3481	0,4877	1,0272	2,1208

Оскільки ГЕН ОЕС є суперпозицією ГЕН його складових, то вирівнювання ГЕН окремих споживачів призведе до вирівнювання результуючого графіку.

На рис.2а представлено результуючі сумарні графіки двох ПС (крива 5 отримана сумуванням вихідних ГЕН 1 та 3 з рис.1; крива 6 отримана сумуванням ГЕН 2 та 4 з рис.1 після регулювання МЛШ). Видно, що відрегульований ГЕН 6 є більш рівним, ніж вихідний ГЕН 5.

Тепер розглянемо взаємодію двох ГЕН при їх взаємному зміщенні [9]. Ефект вирівнювання сумарного ГЕН двох ПС підсилюємо застосовувавши до них ПКМ, який заснований на зсуві  $\tau$  між їх ГЕН часовими «кроками»; згідно [3] пріоритетність надається варіанту з мінімумом взаємкореляційної функції (ВКФ).

Як показали розрахунки, зсув  $\tau$ , при якому значення ВКФ є мінімальним ( $k(p_{RS}(\tau)) = -3,9$  МВт), набуває  $\tau = 13$  год, що на практиці є важко досяжним. Тому, раціонально розглядати результат взаємного зсуву ГЕН 1 і 3 та 2 і 4 у реально досяжних межах зсуву (на  $\tau = \pm[1 \dots 2]$  год один відносно другого). Порівняльний аналіз значень основних показників нерівномірності ГЕН при чотирьох варіантах зсувів (а саме – при зсувах на 1, 2, 22, і 23 години) показав, що найкраще вирівнювання сумарного графіка досягається при  $\tau = 22$  год (що еквівалентно -2 год). тому, що: для ГЕН 1 і 3 співвідношення ВКФ становить –  $k(p_{13}(1)) > k(p_{13}(2)) > k(p_{13}(23)) > k(p_{13}(22))$ , оскільки  $4,5745 > 3,8915 > 3,4828 > 2,3276$ ; для ГЕН 2 і 4 –  $k(p_{24}(1)) > k(p_{24}(2)) > k(p_{24}(23)) > k(p_{24}(22))$ , бо  $4,2339 > 3,8453 > 3,1766 > 1,9363$ .

На рис 2б наведено сумарні графіки ПС (7 – із застосуванням тільки ПКМ при  $\tau = -2$  год (без МЛШ); 8 – після комплексного регулювання спочатку МЛШ, а потім із застосуванням ПКМ (з 4-х варіантів кращого результату досягнуто також при  $\tau = -2$  год).

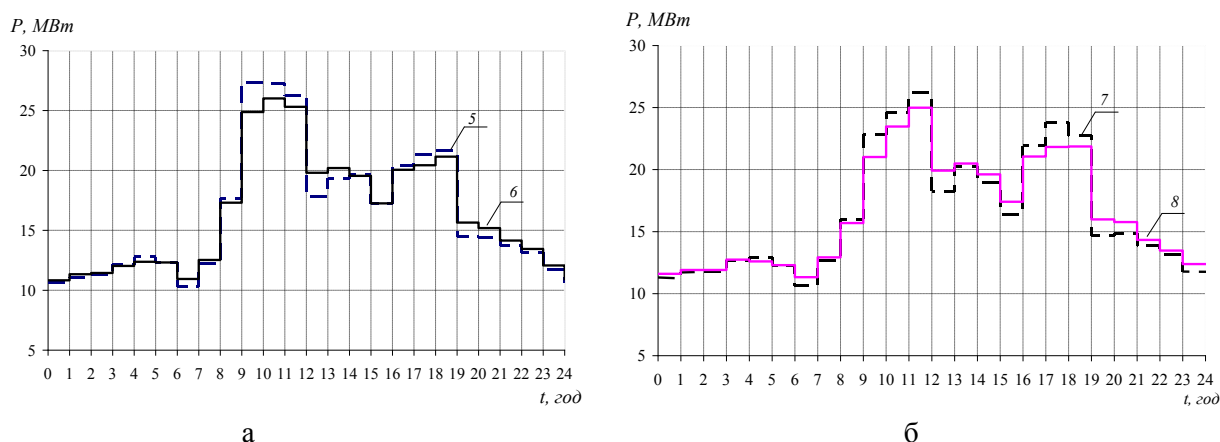


Рис. 2. Результуючий сумарний графік двох ПС при різних методах регулювання: а – крива 5 – вихідний сумарний ГЕН, 6 – після регулювання лише МЛШ; б – крива 7 – після застосування тільки ПКМ (зсув на -2 год); 8 – після комплексного регулювання обома методами – МЛШ та ПКМ при зсуві на -2 год

Порівняння показників нерівномірності сумарних ГЕН двох ПС з таблиці 2 підтверджують, що в результаті розглянутих варіантів регулювання всі показники для сумарного графіка покращились: наприклад після МЛШ коефіцієнт заповнення графіка  $K_{зг}$  зріс на 5,1 %, а після комплексного застосування МЛШ та ПКМ – на 9,1 %.

Таблиця 2 - Показники нерівномірності сумарних ГЕН двох ПС

№ з/п	Варіанти регулювання	Основні показники сумарного ГЕН				
		$K_{зг}$	$K_M$	$K_{НР}$	$K_{\Phi}$	$D_p$
1	До регулювання	0,6031	1,6581	0,3755	1,0495	28,827
2	Після регулювання лише МЛШ	0,6347	1,5756	0,4161	1,0411	23,731
3	Після регулювання тільки ПКМ	0,6305	1,586	0,4072	1,0418	24,264
4	При комплексному регулюванні МЛШ та ПКМ	0,6607	1,5134	0,4514	1,0335	19,353

Слід зазначити, що апробовані методи управління добовими ГЕН є достатньо універсальними та можуть бути застосовані для більшості рівнів електроенергетичної системи.

Подальшого вирівнювання результуючого ГЕН можна досягти при застосуванні, окрім

розглянутих, й інших інструментальних та інституціональних методів впливу.

### ВИСНОВКИ

1. Доведено ефективність управління графіками електричних навантажень ПС при використанні методів «лімітуючого шляху» та «пріоритетно-крокового».
2. Комплексне застосування методів підсилює регульованість режиму електроспоживання майже удвічі. Послідовне комплексне застосування МЛШ і ПКМ підвищує рівномірність добового ГЕН до 10 %.
3. Головною перевагою розглянутих методів управління є їх універсальність і доступність.

### ЛІТЕРАТУРА

1. ДП «НЕК «Укренерго» [Електронний ресурс] / М-во палива та енергетики України. – К.: Укренерго, 2012. – Режим доступу: <http://www.ukrenergo.energy.gov.ua/>. – Назва з екрану.
2. Находов В.Ф. Методологія аналізу та корегування впливу диференційованих тарифів на конфігурацію графіків навантаження енергосистеми України / В.Ф. Находов, Т.В. Яроцька, А.О. Горбоненко // Вісник Вінницького політехнічного університету. – Вінниця: ВНТУ, 2011. – № 6. – С. 72 – 75.
3. Гордеев В.И. Регулирование максимума нагрузки промышленных электрических сетей / В.И. Гордеев. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 184 с.
4. Калінчик В.П. Структура системи моніторингу та управління електроспоживанням дробильно-помольного комплексу / В.П. Калінчик, О.В. Мейта. – К.: 2009. – 6 с. - Деп. в ДНТБ України 07.12.09, № 97-Ук2009.
5. Дикмаров С.В. Регулирование мощности при производстве и потреблении электроэнергии / С.В. Дикмаров, Г.Г. Садовский. – К.: Техніка, 1981. – 126 с.
6. Розен В.П. Використання внутрішніх резервів технологічних процесів при керуванні режимами електроспоживання промислових підприємств / В.П. Розен, М.В. Прокопець // Автоматизація виробничих процесів: Всеукр. наук.-техн. журн. – 2006. – №1(22). – С.26-30.
7. Серебренников Б.С. Формування динамічних цін на електроенергію залежно від нерівномірності графіку електроспоживання / Б.С. Серебренников, К.Г. Петрова // Енергетика та електрифікація, 2012. – № 10. – С.18-23.
8. Серебренников Б.С. Повышение энергетической эффективности технологических процессов промышленных предприятий / Б.С. Серебренников, Е.Г. Петрова // Энергосбережение: Энергетика·Энергоаудит. – 2013. – № 1. – С. 15 – 20.
9. Серебренников С.В. Удосконалення критеріїв пріоритетно-крокового методу регулювання електроспоживання / С. В. Серебренников, К.Г. Петрова // Електротехніка та електроенергетика, 2012. – № 1. – С. 65 – 69.

УДК 622.23.05

М.П. Калюш, науковий керівник доц. В.М.Сліденко  
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», Інститут енергозбереження та енергоменеджменту, м. Київ, Україна

### МОДЕЛЮВАННЯ ГІДРОДИНАМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ФУНКЦІОНУВАННЯ ГЕНЕРАТОРА КОЛИВАНЬ

*У статті представлена математична модель для розрахунку дії затопленого струменя робочої рідини на обсадну колону за допомогою оболонки SolidWorks. Встановлена закономірність розподілу швидкості та тиску на виході затопленого струменя зі щілин резонатора.*

### МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ГЕНЕРАТОРА КОЛЕБАНИЙ

*В статье представлена математическая модель для расчета затопленной струи рабочей жидкости на обсадную колонну с помощью оболочки SolidWorks. Установлено закономерности распределения скорости и давления на выходе затопленной струи из щелей резонатора.*

### MODELING OF HYDRODYNAMIC PROCESSES OF OSCILLATOR FUNCTIONING

*Mathematical model for calculation the impact of the submerged jet of fluid on the boring casing using SolidWorks software shell is presented. The pattern of velocity and pressure distribution of submerged jet at the outlet of resonator slots is established.*

**Вступ.** Одним з перспективних напрямків очищення колектора нафтової свердловини від відкладень є дія на колектор імпульсними пристроями з можливістю досягнення резонансних режимів коливань. Для цього, до складу імпульсного пристрою входить резонатор, для підвищення амплітуди коливань тиску.

**Завдання та мета дослідження.** Дослідити процес дії затопленого струменя робочої рідини при виході з резонатора на обсадну колону.

В даній статті розглядається генератор коливань [1], який містить три основних елементи: клапанний гармонізатор, хвилевід та резонатор. Предметом дослідження являється резонатор, конструктивна схема якого представлена на рис.1.

За принципом дії генератора маємо, що робоча рідина пульсуючим потоком надходить до резонатора, підтискає золотник, відкриваючи бокові щілини та діє на обсадну колону.

Швидкість струменя визначається за формулою [2], м/с:

$$v = \varphi \sqrt{2gH},$$

де  $\varphi$  - коефіцієнт витрати швидкості, який залежить від форми щілини, в.о.;  $g = 9.81$  - прискорення вільного падіння, м/с<sup>2</sup>;  $H$  - повний напір, м.

На рис. 2 зображена розрахункова схема для визначення сили тиску струменя рідини на обсадну колону.



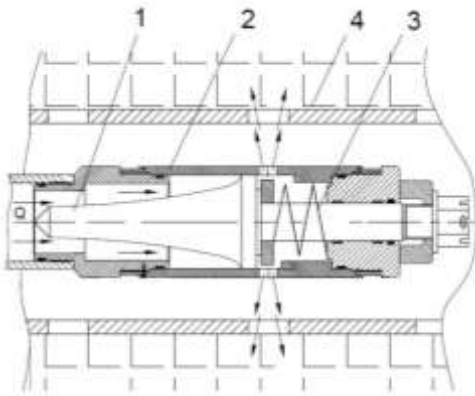


Рисунок 1 – Конструктивна схема резонатора:  
1 – золотник обтікаючої форми, 2 – корпус,  
3 – пакет пружних елементів, 4 – обсадна колона.

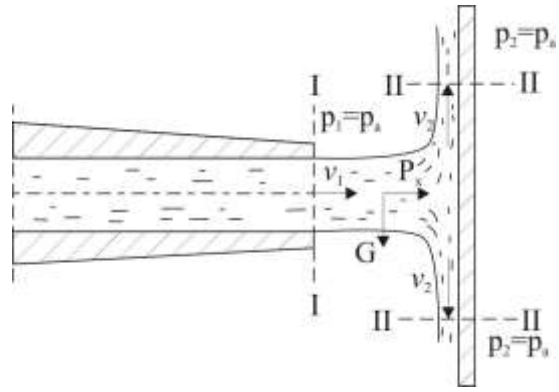


Рисунок 2 – Схема визначення сили тиску струменя рідини на перешкоду

Сила тиску струменя на обсадну колону визначається за формулою [2], Н:

$$P_x = 2\mu\varphi\omega_o\rho gH,$$

де  $\mu = \varphi \cdot \varepsilon$  - коефіцієнт витрати щілини, в.о.;  $\varepsilon$  - коефіцієнт стиснення струменя, в.о.;  $\omega_o$  - площа щілини, м<sup>2</sup>;  $\rho$  - густина робочої рідини, кг/м<sup>3</sup>;

Дане рівняння справедливе лише для початкової ділянки струменя. При віддалені від щілини, сила струменя зменшується, та вона є визначальною при застосуванні струменя для очищення НКТ від відкладень.

Для дослідження гідродинамічних процесів використовується оболочка SolidWorks, яка за допомогою методу скінченних елементів створює розрахункову сітку, а за рівняннями Нав'є-Стокса дозволяє отримати розподіл швидкості та тиску по всій довжині пристрою.

При моделюванні, розглядалось три типи щілин резонатора: прямокутна, квадратна та кругла в перерізі, рис.3.

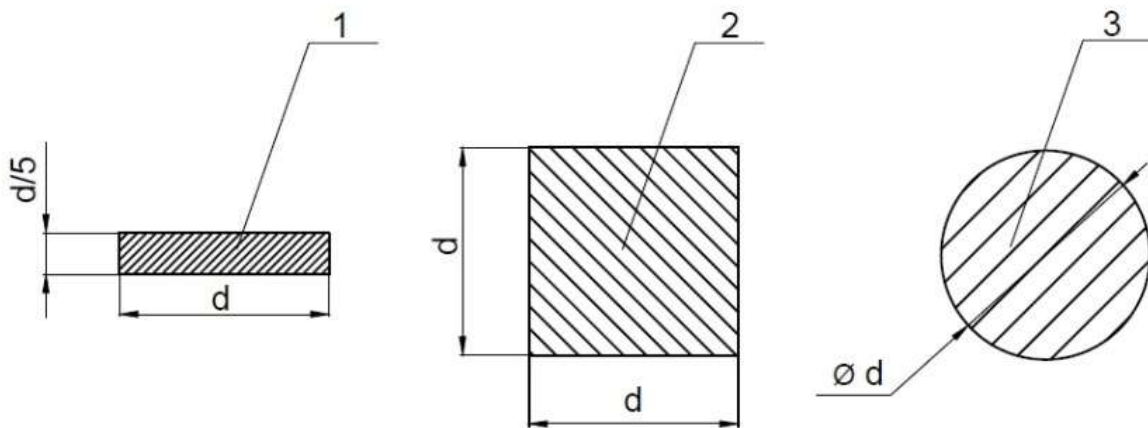


Рисунок 3 – Типи щілин резонатора: 1 – прямокутна, 2 – квадратна, 3- кругла в перерізі.

**Результати дослідження.** Вхідні дані для розрахунку: швидкість робочої рідини на вході становить 6 л/с, тиск на виході з резонатора 25 МПа, температура на стінках резонатора 30 °С, робоча рідина – нафта з густиною 800 кг/м<sup>3</sup>.

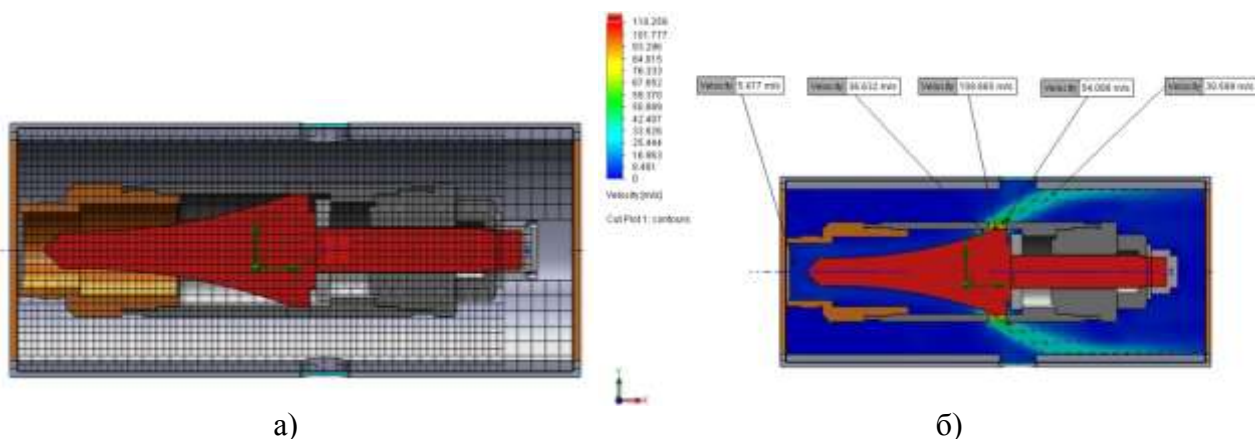


Рисунок 4 – Комп’ютерна модель: а) сітки за МСК; б) руху робочої рідини затопленого струменя в SolidWorks

В результаті моделювання отримано розподіл швидкості по довжині резонатора для трьох типів щілин, табл.1.

Таблиця 1 – Розподіл швидкості по довжині резонатора

Координати		Швидкість по довжині розподілу струменя, м/с		
х, м	у, м	Для прямокутного перерізу	Для квадратного перерізу	Для круглого перерізу
-0.011	0.041	5.109	5,109	5, 109
0.005	0.044	10.073	10,051	10,011
0.011	0.045	23.163	22,458	20, 154
0.022	0.049	91.299	87,451	71,217
0.025	0.049	105.981	91,354	87.351
0.030	0.051	77.037	70,548	61, 214
0.037	0.059	42.962	37,517	30, 578
0.058	0.073	35.155	30,159	22, 659
0.085	0.08	30.534	27,021	18, 254
0.109	0.082	20.196	18,213	14,125

З отриманих даних слідує, що максимальну силу тиску струменя на обсадну колону можна отримати при прямокутній щілині, де швидкість на вильоті становить 105.9 м/с, і відповідно сила тиску до 34 кН.

**Висновки.** При аналізі процесів гідродинаміки, що відбуваються на виході з резонатора, встановлена максимальна сила тиску струменя на обсадну колону в залежності від форми щілин, що дозволяє удосконалити конструктивні параметри резонатора вцілому для досягнення максимальної дії струменя робочої рідини на обсадну колону.

**Література.**

1. Слиденко В.М., Калюш М.П., Гранкин Р.В. Моделирование процесса резонансных колебаний генератора, воздействующего на коллектор нефтяной скважины.//Проблемы недропользования: Сборник научных трудов. Часть 1/ Национальный минерально-сырьевой университет "Горный".- СПб, 2013. - С. 52-54. (Международный форум-конкурс молодых ученых). ISBN 978-5-94211-645-3 (Часть 1).
2. Гейер В.Г., Дулин В.С., Заря А.Н. Гидравлика и гидропривод: Учеб. для вузов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1991. – 331 с.: ил. ISBN 5-247-01007-8.

УДК 541.183:622.33 + 622.693

Борук С.Д., Трояновська Н.М.

### **ВТОРИННІ ПАЛИВНІ РЕСУРСИ – УТВОРЕННЯ, ЗБЕРІГАННЯ, НАПРЯМИ ЕКОЛОГІЧНО БЕЗПЕЧНОГО ВИКОРИСТАННЯ**

*Введення до нафтових відходів рідких продуктів піролізу гуми можливість застосовувати такі суміші, як паливо. Експлуатаційні суміші, в першу чергу теплотворна здатність, вищі, ніж при спалюванні компонентів окремо, імовірно, за рахунок реалізації мікрогеторогенного каталізу процесів горіння.*

*Ключові слова: нафтові шлами, відходи вуглезбагачення, рідкі продукти піролізу полімерних матеріалів.*

### **ВТОРИЧНЫЕ ТОПЛИВНЫЕ РЕСУРСЫ – ОБРАЗОВАНИЕ, УСЛОВИЯ ХРАНЕНИЯ, НАПРАВЛЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНОГО ПРИМЕНЕНИЯ**

*Введение жидких продуктов пиролиза полимерных отходов позволяет снизить вязкость нефтяных шламов и температуру вспышки, что дает возможность применения таких смесей в качестве топлива. Теплотворная способность композиционного топлива выше, чем при сжигании компонентов отдельно.*

*Ключевые слова: нефтяные шламы, отходы углеобогащения, жидкие продукты пиролиза.*

### **SECONDARY FUEL RESOURCES ARE EDUCATION, TERMS OF STORAGE, DIRECTION ECOLOGICALLY OF SAFE APPLICATION**

*The introduction to the petroleum liquid products of pyrolysis of waste rubber to reduce its viscosity and increase the temperature flash that allows to use such as fuel mixture. Shown that the performance mix, primarily calorific value, higher than when burning components separately, probably due to catalysis.*

*Key words: petroleum liquid products, coal slurry, pyrolysis of waste rubber.*

Ситуація, що склалася в енергетичній сфері країни, вимагає швидкого і раціонального переведення економіки на власні, дешеві та доступні енергоресурси, в тому числі ширше використовувати вторинні та некондиційні ресурси. Україна має у своєму розпорядженні значні запаси низькокалорійного вугілля, широке і ефективно застосування якого дозволить значно розширити енергетичну базу країни [1–3]. Сировинна база твердого низькокалорійного палива також постійно розширюється за рахунок відходів вуглезбагачення. Тільки на території Донецької області у териконах накопичено близько 3 млрд. тонн твердих відходів із вмістом паливної складової 10-40%, 120 млн. тонн – у вигляді шламів в гідровідстійниках. Такі відходи здатні до самозаймання і містять екологічно небезпечні речовини. Частина таких шламів за своїми характеристиками, може бути використана як паливо. Існує тенденція їх прямого спалювання, проте ряд показників цього процесу (теплотворна здатність, питомі викиди токсичних речовин на одиницю енергії, ступінь вигорання паливної складової) зумовлює його недоцільність.

Технологія переробки нафти передбачає накопичення та зберігання напівзріджених нафтових шламів в амбарах. Система зберігання відходів нафтопереробки не забезпечує надійного захисту ґрунтів та ґрунтових вод від проникнення в них токсичних речовин, тобто

такі котловани – постійно діючі джерела забруднення навколишнього середовища. Це призводить до погіршення екологічної ситуації в місцях розташування нафтопереробних заводів, в першу чергу в районах з дренажними ґрунтами або з високим рівнем ґрунтових вод.

Накопичення і зберігання автомобільних шин, непридатних до подальшої експлуатації супроводжується значним негативним впливом на навколишнє середовище, оскільки вони практично не піддаються біологічній деградації і є джерелом довготривалого забруднення. Відомо декілька основних технологій переробки і утилізації автомобільних шин. Найбільш поширені такі: спалювання відпрацьованих шин з метою отримання енергії; подрібнення гумових відходів з подальшим їх застосуванням, як наповнювача, для виробництва гумових чи бітумно-гумових продуктів; виробництво з гумових відходів і автомобільних шин вторинної промислової сировини; піроліз гумових відходів.

Піроліз – один з найбільш перспективних методів утилізації відпрацьованих автомобільних шин, проведення якого дозволяє виготовити продукти, які можна використовувати надалі у народному господарстві.

Перспективний напрям застосування рідких продуктів піролізу – вторинного енергоносія – його використання як палива. Продукти піролізу можна використовувати як добавку до низькоякісного мазуту і аналог дизельного палива, для теплотехнічних потреб як котельне паливо безпосередньо та у вигляді концентрованих вугільних суспензій, створених на його основі. Використання цих палив дозволить зменшити масштаби придбання вартісних нафтопродуктів. Розроблено методи зменшення шкідливих викидів за централізованого спалювання указаних видів палива. Під час спалювання вугільних суспензій зменшуються викиди забруднюючих речовин у середньому на 30 %. Для створення рідкого вугільного палива на основі відходів піролізу гуми можливо застосовувати високозольні шлами вуглезбагачення і буре вугілля. Сумарний великий вміст паливної складової (вугілля + продукти піролізу) дозволяє створювати рідке паливо, що має таку ж в'язкість, як і мазут. Перевага створених горючих систем – їх висока седиментаційна стійкість. Навіть за тривалого зберігання не відбувається розшарування таких систем [4-6].

Створюване рідке паливо повинно відповідати вимогам:

- температури спалаху не повинні бути менші за критичну, щоб не створити загрози вибуху паро-повітряної суміші в барабані млина, ємкостях для зберігання, котлах;
- в'язкість дисперсійного середовища і суспензії, отриманої на її основі, повинна бути прийнятною для гідротранспортування;
- під час спалювання створеної суспензії не повинні утворюватися токсичні речовини, в першу чергу продукти неповного згорання палива (сажа, чадний газ).

Згідно з попередніми дослідженнями застосування усередненого за складом рідкого суспензійного палива на основі некондиційного вугілля та відходів його збагачення, нафтошламів, рідких продуктів піролізу полімерних виробів має ряд переваг:

*Екологічні:*

- екологічна безпека на всіх стадіях виробництва, транспортування і використання;
- дозволяють в 1,5 – 3,5 рази зменшити шкідливі викиди в атмосферу (пилу, оксидів азоту, бенз-а-пірену, діоксиду сірки ) ;

*Технологічні:*

- нафтовугільні, водонафтовугільні і водовугільні суспензії подібні до рідкого палива і переведення теплогенеруючих систем на їх спалювання не потребує суттєвих змін конструкції агрегатів;
- перехід на суспензійне паливо дозволяє легко механізувати і автоматизувати процеси прийому, подачі і спалювання палива;
- розроблена нова технологія вихрового спалювання за температур 950°–1050°С дозволяє досягнути ефективності використання палива більше 97 %;

*Економічні:*

- на 15 – 30% зменшуються експлуатаційні затрати під час збереження, транспортування і спалювання палива;
- забезпечує зменшення у 3 рази капітальні затрати під час переведення енергогенеруючих підприємств з природного газу і мазуту на альтернативне паливо;
- повернення затрат під час застосування суспензійного палива складає 1 – 2,5 роки.

Впровадження палива на основі вторинних енергоносіїв дозволить поступово замінити дорогі енергоносіїв, запаси яких в Україні обмежені, на альтернативне, дешеве паливо, яке може бути використано як замітник мазуту, аналог дизельного палива, паливо для котельних і теплових установок різного призначення.

Як об'єкт дослідження нами були обрані:

- нафтовий шлам НГВУ „Долинанафтогаз”. Шлам є в'язким продуктом темно-коричневого кольору, наступного складу. Густина шламу 0,912-0,937 г/см<sup>3</sup>; в'язкість шламу 16,3 Па\*с; вологість 32%; вміст мінеральної складової 11–15%.
- нафтові залишки (донні відкладення ємностей, в яких зберігається нафта до переробки) Густина 0,956-1,02 г/см<sup>3</sup>; в'язкість шламу 12,6 Па\*с; вологість 24%; вміст мінеральної складової 7–9%.
- рідкі продукти піролізу гуми, фракції відгону 55-185 °С [16,17]:
- буре вугілля марки «Б», Александрійського родовища. Бурий порошок, зольністю 22,5 %, вологістю 32,3 %. Розміри частинок 0,1-5 мм.
- відходи вуглезбагачення вугілля марки «Г», центральної збагачувальної фабрики «Кондратьєвська», вологістю 15%, зольністю 43,1%.
- уголь марки «Г», шахти «Междуреченская», Львовская область (исходная влажность 3,5 %, зольность 19,5 %, содержание серы 4,2 %).
- антрацит марки "А", донбасского месторождения (зольность 5,4 %, влажность 2,1 %);
- технический пирокарбон, твердые отходы пиролиза полимерных отходов.

Помел проводили в кульовому млині об'ємом 1,0 літра сталевими кулями діаметром 28 мм і 10 мм. Для помелу використовували частинки вугілля розмірами до 2,5 мм. Час помелу визначали експериментально. Критерієм закінчення помелу була відсутність частинок розміром більше 300 мкм і вміст частинок більше 250 мкм менше 0,1 % (мас). Даний ступінь подрібнення шламу досягався за 35 хвилин при 75 обертах корпусу млина за хвилину. Збільшення часу помелу призводить до різкого зростання в'язкості систем за рахунок зростання концентрації високодисперсних частинок, у першу чергу глинистою складовою.

В'язкість систем визначалася при швидкості зрушення 9 с<sup>-1</sup> на приладі “Реотест–2” згідно стандартній методиці.

Седиментаційну стійкість високонцентрованих суспензій визначали за часом, необхідним до початку їх розшарування у мірних циліндрах на 25 мл.

Теплотворну здатність зразків палива визначали шляхом їх спалювання у калориметричній бомбі.

Температуру спалаху визначали шляхом нагрівання зразків на пісчаній бані згідно стандартній методиці. Ступінь вигорання паливної складової визначали гравіметрично, шляхом визначення маси паливної складової, що не вигоріла за 10 хвилин у фарфоровому тиглі при температурі 800 °С.

Для визначення оптимального співвідношення нафтових шламів і рідких продуктів піролізу та були приготовані суміші, характеристики яких наведено у таблиці 1. Як видно з наведених даних кращими експлуатаційними характеристиками володіють системи отримані

шляхом змішування з продуктами піролізу нафтових залишків. Чітко відстежується закономірність зменшення в'язкості із збільшенням частинки продуктів піролізу. В'язкість систем можна легко регулювати шляхом збільшення частинки продуктів піролізу. Недоліком таких систем є низька стійкість, внаслідок чого вони швидко розшаровуються на легкі і важкі фракції. Раціональним шляхом їх стабілізації і підвищення теплотворної здатності є введення до їх складу дисперсного вугілля. Визначення оптимального складу палива складу: нафтові шлами – рідкі продукти піролізу – вугілля та шляхів його отримання було завданням наступного етапу досліджень.

Таблиця 1

Характеристики сумішей нафтові відходи – рідку продукти піролізу

№	Склад суміші: нафтові залишки – РПП	В'язкість, Па*с			Висота освітленого шару, мм			Тепло- творна здатність, кДж/кг	Темпера- тура спалаху, С°
		1 год	24 год	72 год	1 год	24 год	72 год		
1	РПП	0,2	0,2	0,2	–	–	–	48800	75
2	Нафтові залишки	–	–	–	–	–	–	28500	180
3	4 : 1	1,80	1,89	2,24	–	–	1	34350	135
4	3 : 1	1,30	1,45	1,75	1	2	4	36500	125
5	2,5 : 1	1,20	1,34	1,60	2	3	5	38600	115
6	2 : 1	1,10	1,25	1,50	3	6	8	52800	110
7	2,5 : 1 + 10% вугілля	1,50	1,60	1,74	1	2	2	43150	115
8	2,5 : 1 + 10% пірокарбон	1,55	1,73	1,84	1	1	2	35400	115

Для стабілізації систем використовували дисперсне вугілля різного ступеня метаморфізму. Фізико-хімічні та екологічні характеристики одержаних дисперсних систем визначали в лабораторних умовах (таблиця 2) і при проведенні дослідно-промислових випробувань на пілотній установці (таблиця 3).

Таблиця 2

Фізико-хімічні, експлуатаційні та екологічні характеристики композиційного палива на основі вторинних паливних ресурсів

Зразок	Ефектив на в'язкість, Па·с	Седимента- ційна стійкість, доба	Ступінь вигорання паливної складової (%)	Теплотворна здатність (кДж/кг)	Питомі викиди SO <sub>2</sub> , кг/ГДж
Вихідна суміш рідкі продукти піролізу + нафтові шлами	0,45	8	100	38600	0,680
Вихідна суміш + 20 % вугілля марки «Г»	0,86	19	99,5	43250	0,720
Вихідна суміш + 20 % відходи вугілля марки «Т»	1,05	23	98,0	41500	0,560
Вихідна суміш + 20 % буре вугілля	0,95	22	98,5	42000	0,640
Вихідна суміш + 20 % антрацит	0,75	14	99,3	41200	0,660
Вихідна суміш + 20 % пірокарбон	1,25	28	96,5	44500	0,700

Таблиця 3

Екологічні характеристики спалювання стандартного палива і палив запропонованого складу

Зразок	Викиди забруднюючих речовин, мг/м <sup>3</sup>	Температура газів, °С
Паливний мазут	NO <sub>2</sub> – 7,86 CO – 545,3 SO <sub>2</sub> – 0	318
Суспензія на основі вугілля «Г»	NO <sub>2</sub> – 12,81 CO – 193,9 SO <sub>2</sub> – 5,33	536
Суспензія на основі вугілля «Г» + Са(ОН) <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub> – 9,05 CO – 175,2 SO <sub>2</sub> – 0	523
Суспензія на основі вугілля «Т»	NO <sub>2</sub> – 16,23 CO – 492,9 SO <sub>2</sub> – 6,33	424
Суспензія на основі бурого вугілля	NO <sub>2</sub> – 8,37 CO – 112,1 SO <sub>2</sub> – 0	376
Суспензія на основі антрациту	NO <sub>2</sub> – 2,05 CO – 606,3 SO <sub>2</sub> – 3,00	486
Суспензія на основі пірокарбону	NO <sub>2</sub> – 18,11 CO – 691,46 SO <sub>2</sub> – 5,67	498

Як відомо, рідкі продукти піролізу містять в собі значну кількість сполук сульфуру, що зумовлено використанням сірки при проведенні вулканізації гуми. При проведенні спалювання таких продуктів в атмосферне повітря будить викидатись значні кількості сірчистого ангідриду, що негативно позначиться на екологічній ситуації та суттєво може звужити сферу застосування отриманих суспензій як палива.

Враховуючи, що ряд карбонатів не розчиняється у неполярних, органічних розчинниках можна рекомендувати їх введення до складу вугільної суспензії для поглинання оксидів сульфуру, без ризику значного підвищення в'язкості дисперсної системи.

Проведені дослідження підтвердили більшу екологічну безпечність спалювання вторинних паливних ресурсів у вигляді усередненого за складом рідкого композиційного палива (вугільних суспензій) з введенням до їх складу добавок, здатних вловлювати кислотоутворюючі гази. Це дає можливість рекомендувати їх для використання на діючих теплоелектростанціях. До часу створення розгалуженої мережі трубопроводів можливо приготування композиційного палива безпосередньо на електростанціях.

**Висновки.** Встановлено, що введення до нафтових відходів рідких продуктів піролізу гуми дозволяє зменшити їх в'язкість та підвищити температуру спалаху, що дає можливість застосовувати такі суміші як паливо або дисперсійне середовище для отримання суспензійного вугільного палива. Для отримання вугільних суспензій можна низькокалорійні енергоносії (відходи вуглезбагачення, буре вугілля). Враховуючи високий сумарний вміст паливної складової в'язкість отриманих систем можна легко регулювати шляхом зміни концентрації твердої фази. Седиментаційна стійкість досліджених сумішей нафтові відходи – рідкі продукти піролізу обернено пропорційна в'язкості таких систем. Для підвищення стійкості до розшарування доцільно вводити до складу суміші дисперсне вугілля. Показано, що експлуатаційні вугільних суспензій на органічного дисперсійного середовища (ступінь вигорання паливної складової, теплотворна здатність) значно вищі, ніж при безпосередньому спалюванні низькокалорійного вугілля. Введення карбонатів лужних та лужноземельних металів до вугільних суспензій дозволяє значно скоротити викиди сірчистого ангідриду. При



цьому не відбувається зростання в'язкості отриманих дисперсних систем.

#### Список літератури

1. Вдовиченко В.С., Мартинова М.И., Новицкий Н.В., Юшина Г.Д. Энергетическое топливо СССР (ископаемые угли, горючие сланцы, торф, мазут и горючий газ) : Справ. – М. : Энергоатомиздат, 1991. – 184 с.
2. Лысенко А.Н., Кесова Л.А., Литовкин В.В., Николенко Н.Г. Бурый уголь – добыча и применение в современных условиях // Энергетика : економіка, технології, екологія. – 2002. – №3. – С. 21–24.
3. Основні положення енергетичної стратегії України на період до 2003 р. Ухв. Кабміном Укр. від 15.03.06. – Київ : Мінпаливенерго України, 2006. – 129 с.
4. Егурнов О.І., Соколик В.М., Литвин Б.В., Борук С.Д., Вінклер І.А., Дригулич П.Г., Троценко А.В. Шляхи підвищення теплотворної здатності твердого брикетованого палива // Збагачення корисних копалин. Науково-технічний збірник, –2010–Випуск 43(84) – С. 165 – 169.
5. Урьев Н.Б. Высококонцентрированные дисперсные системы. - М: Химия, - 1980 - 360 с.
6. Дегтяренко Т.Д., Завгородний В.А., Макаров А.С., Борук С.Д. Адсорбция лигносульфонатов на поверхности частиц твердой фазы высококонцентрированных водоугольных суспензий // Химия твердого топлива - 1990. - N1. - С.92-97.

УДК 622.234

**Н.О. ХОМИЧ**

*Дніпродзержинський державний технічний університет  
м. Дніпродзержинськ, Дніпропетровська обл., Україна*

**ВИЛУГОВУВАННЯ МЕТАЛІВ ІЗ ХВОСТОСХОВИЩ, ЯКІ МІСТЯТЬ ВІДХОДИ  
ГІРНИЧОРУДНИХ ПІДПРИЄМСТВ, МІКРОБІОЛОГІЧНИМ МЕТОДОМ**

*Сьогодні в Україні неперервно зростають обсяги відходів гірничодобувної галузі. Їх накопичення у шламо- та хвостосховищах призводить до забруднення поверхневих та підземних вод, повітря, ґрунтів і становить екологічну загрозу для населення.*

*Ключові слова: хвостосховища, відходи, вилуговування металів, збагачення руд. біогеотехнологія, сульфатредуючі бактерії.*

**Н.О. ХОМИЧ**

**ВЫЩЕЛАЧИВАНИЕ МЕТАЛЛОВ ИЗ ХВОСТОХРАНИЛИЩ,  
СОДЕРЖАЩИХ ОТХОДЫ ГОРНОРУДНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ,  
МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИМ МЕТОДОМ**

*Сегодня в Украине непрерывно растут объемы отходов горнодобывающей отрасли. Их накопление в шламо-и хвостохранилищах приводит к загрязнению поверхностных и подземных вод, воздуха, почв и является экологической угрозой для населения.*

*Ключевые слова: хвостохранилища, отходы, выщелачивание металлов, обогащение руд. биотехнология, сульфатредуцирующие бактерии.*

**N. KHOMICH**

**LEACHING METALS FROM TAILINGS, CONTAINING WASTE MINING  
COMPANIES, BY MICROBIOLOGICAL METHOD**

*Today in Ukraine steadily growing volume of waste mining industry. Their accumulation in the slud and tailing results topollution of surface and groundwater, air, soil and is an environmental threat to the population.*

*Keywords: tailings, waste, leaching of metals, ore enrichment, bioheotehnology, sulfate-reducing bacteria.*

**Вступ**

Хімічна небезпека в Україні пов'язана із наявністю об'єктів, що використовують небезпечні хімічні речовини, із забрудненням довкілля та утворенням відходів. Головними причинами виникнення надзвичайних ситуацій, пов'язаних із небезпечними хімічними речовинами та незадовільною екологічною ситуацією, залишаються: зношення основних фондів підприємств, застарілі і недосконалі технології виробництва, що призводить до накопичення значних обсягів відходів; експлуатація складів, полігонів твердих та токсичних відходів з порушенням вимог чинного природоохоронного законодавства; недосконала нормативно-правова база галузі тощо.

Абсолютна більшість підприємств усіх галузей промисловості працює на технічно застарілому обладнанні, споживаючи велику кількість природних ресурсів, у тому числі мінеральної сировини, виробництво супроводжується утворенням великої кількості відходів і побічних продуктів, які не утилізуються, складуються у відвалах, хвостосховищах.

Загальний обсяг відходів на цей час становить понад в 35 млрд. тонн. Обсяг їх щорічного утворення сягає 780-800 млн. тонн. Переважну їх частку (понад 75%) становлять промислові відходи - розкривні супутні породи, шлами - продукти збагачення корисних копалин, металургійні шлаки тощо. Найбільша їх кількість утворюється на підприємствах гірничо-

металургійної, хімічної промисловості та енергетики[1].

Загальна площа сховищ виробничих відходів в Україні перевищує 30 тисяч гектарів. Із загальної кількості хвостосховищ — 70% (154) належать до вугільної промисловості, 19% (42) — підприємствам металургійної і хімічної промисловості, 11 % — підприємствам будівельної індустрії.

За результатами господарської діяльності гірничорудних підприємств станом на 2011 рік, у хвостосховищах накопичено понад 2,6 млрд. тонн відходів збагачування, 250 млн. тонн шлаків, серед них 30 млн. тонн шлаків, які є цінними вторинними матеріальними ресурсами. Рівень переробки відходів гірничо-металургійної галузі сягає 35-40 %, однак майже повністю переробляються лише залізозмісні шлами.

Результати виробничої діяльності гірничо-хімічних підприємств призвели до значної деградації довкілля України, надмірного забруднення поверхневих і підземних вод, повітря і земель, нагромадження відходів виробництва. Крім того, більшість цих об'єктів становлять екологічну небезпеку для людей, проживаючих у зоні їх колишньої діяльності. Зволікання з усуненням наявних ризиків становить реальну загрозу техногенних катастроф та надзвичайних ситуацій, унеможливлення проживання населення на цих та прилеглих територіях.

#### **Завдання та мета дослідження**

Зараз чітко виокремлюються два основних напрямки використання мінеральної сировини. Перший напрямок полягає у підвищенні ступеня використання природних ресурсів існуючих і нових підприємств. Другий - у створенні безвідходних і маловідходних виробництв, пов'язаних з технологіями, спрямованими на максимальну утилізацію відходів.

З огляду на роль відвалів і хвостосховищ як екологічних і мінерально-сировинних чинників протягом останніх років проводиться їх активне дослідження. Накопичені технологічні відходи епотенційноувеликотоннажною сировиною. Постійно з'являються нові технології, що дозволяють краще розділяти компоненти відходів для подальшої їх ефективної переробки. Промисловість ставить нові вимоги до сировини, до того ж, відомі джерела мінералів збіднюються і виснажуються. Це викликає необхідність розробки «вторинних родовищ» з метою отримання рідкісних елементів та іншої цінної сировини.

Добування корисних копалин відкритим способом супроводжується видачею на поверхню землі розкритих порід. Далі, в процесі переробки (збагачення) рудомісткої маси, відокремлюють відходи з малим відсотком необхідного мінералу. На всіх гірничо-збагачувальних комбінатах способи збагачення руд принципово однакові і полягають у тому, щоб за допомогою магнітної сепарації з послідовно подрібнюваної руди видалити породу, отримавши, таким чином, руду з максимальним відсотком заліза чи іншого мінералу. Після збагачення залізних руд на збагачувальних фабриках отримують основний продукт - концентрат і побічний - відходи збагачення. Ці відходи складають 45- 50% загального обсягу сирової руди, яка переробляється і в процесі вдосконалення технології збагачення відбуватиметься зміна їх зернового складу.[2]

Хвостосховища містять мінеральні речовини у подрібненому стані. Значна частина мінеральних часток знаходиться у розкритому (мономінеральному) стані. Їх вміст у відходах збагачення окремих ділянок хвостосховищ досягає значень, характерних для рудних покладів первинних руд, які розробляються гірничозбагачувальними комбінатами. Таким чином, у межах хвостосховищ існують значні за об'ємом техногенні поклади комплексної мінеральної сировини, яка потребує збагачення різними методами з метою вилучення з неї декількох різновидів металевих і неметалевих корисних копалин.

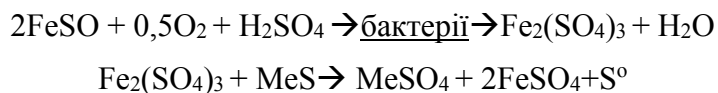
Деякі мінерали мають дуже високий рівень енергії кристалічних решіток і піддаються

хімічному вилуговуванню. Завданнями, на вирішення яких спрямовано дослідження, є збільшення вилучення мінералів з техногенних відходів, зниження витрати хімічних реагентів, підвищення екологічності процесу вилуговування і переробки видобутих металів.

### Результати дослідження

Для інтенсифікації процесу вилуговування металів застосовують мікробіологічне вилуговування – один з напрямків біогеотехнології, заснований на вибіркового вилученні хімічних елементів з багатокомпонентних сполук за допомогою їх розчинення мікроорганізмами у водному середовищі. Бактеріальне вилуговування можна використовувати привсіх способах вилуговування, не пов'язаних з підвищеним тиском і температурою. Бактеріальне вилуговування поєднується з вилуговуванням слабкими розчинами сірчаної кислоти бактеріального хімічного походження, а також розчинами, що містять органічні кислоти, білки, пептиди, полісахариди т.д.

Здатністю переводити метали в розчинні сполуки володіють різні бактерії. Проте найбільш широко для бактеріального вилуговування застосовують сульфатредукуючі бактерії: *Thiobacillus ferrooxidans*, здатні окисляти сульфідні мінерали і закисне залізо до окисного (так звані залізобактерії), і *Th. thiooxidans* (так звані сіркобактерії) тощо. Використання в процесі мікробіологічного вилуговування суспензії бактерій *Th. ferrooxidans*, *Th. thiooxidans* дозволяє скоротити час і збільшити ефективність процесу вилуговування металів. Оптимальна температура для розвитку іонових бактерій 25-35°C, рН від 2 до 4. Вони є хемоавтотрофами, тобто єдиним джерелом енергії для їх життєдіяльності є процес окислення закисного заліза, сульфідів різних металів і елементарної сірки. Ця енергія витрачається на засвоєння вуглекислоти, що виділяється з атмосфери або, в даному випадку, з руди. *Th. ferrooxidans* окислюють сульфідні мінерали до сульфатів прямим і непрямим шляхом (коли мікроорганізми окислюють сірчанокисле залізо до окисного, що є сильним окислювачем і розчинником сульфідів) [3]:



Використання *Th. ferrooxidans* дозволяє вилуговувати залізо, мідь, цинк, уран та інші метали. Найважливішим фактором – швидка регенерація сірчанокисло-окисного залізатіоновими бактеріями, що в деяких випадках прискорює процеси окислення і вилуговування. На можливість використання сульфатредукуючих бактерій в утворенні вторинних сульфідів у родовищах вказує також їх значне поширення у природі.

Існуючі сховища відходів мінеральної сировини представляють собою складний об'єкт – техногенне родовище за гірничотехнічними, інженерно-геологічними і гідрогеологічними умовами. Їхній гранулометричний склад представлений фракціями від 0,075 мм до 0,15-0,16 мм. Вологість понад 55-60%, щільність мінеральної частки від 1,19 до 1,6-1,7 т/м<sup>3</sup>. По периметру такі сховища огорожені греблями. Поблизу греблі складені, як правило, крупнозернисті хвости, подалі – дрібнозернисті.

В даний час окислені руди і численні сховища техногенних відходів – відвали, шламо-і хвостосховищ залучаються до відпрацювання способами чанів, купчастого і підземного вилуговування цінних компонентів.

Загалом, спосіб полягає в вилуговуванні металів техногенних відходів з витягом металів з розчинів, доукрепленні збіднених розчинів витравлюють агентом. Вилуговування міді ведуть в декілька стадій розчинами з підвищеним окислювально-відновним потенціалом.

Збіднений розчин перед доукрепленням витравлюють агентом доводять до рН 4-5 і обробляють кисневмісним газом, наприклад повітрям.

У руді при наявності O<sub>2</sub> і бактерій відбуваються процеси окиснення сульфідних мінералів, які

переходять з нерозчинних сполук в розчинні.

Найбільша швидкість бактеріального вилуговування досягається при оптимальних для цих бактерій рН 1,5-2,0, температурі 30 °С та високій концентрації бактерій  $10^9$ - $10^{10}$  кл./мл. Використовують п'ятиденну культуру. Аерація здійснюється газовою сумішшю повітря і озону за допомогою компресора.

Далі розчин надходить на цементацийну або інші установки (сорбція, екстракція) для вилучення металів.

Швидкість окиснення сульфідних мінералів у присутності бактерій зростає в сотні, тисячі разів, а в присутності  $Fe^{2+}$  - приблизно в  $2 \cdot 10^5$  разів у порівнянні з хімічним процесом. Селективність процесу бактеріального вилуговування кольорових металів визначається як кристало-хімічними особливостями сульфідів, так і їх електрохімічною взаємодією.

Головні показники процесу: ступінь вилучення металу; час вилуговування; залишковий вміст металу в залишку руди.

### Висновки

З урахуванням вищеведеного, розробка і удосконалення технологій відпрацювання вмісту діючих та законсервованих (нефункціонуючих) хвостосховищ на різних переробних виробництвах має досить актуальне значення і є важливим напрямком науково-пошукових і проектних розробок.

Завданнями, на вирішення яких спрямовано дослідження, є збільшення вилучення мінералів з техногенних відходів, зниження витрати хімічних реагентів, підвищення екологічності процесу вилуговування і переробки видобутих металів.

У якості рішення в роботі запропоновано можливість застосування мікробіологічного методу вилуговування металів із хвостосховищ. Це дає помітний екологічний та економічний ефект. Адже витрати на вилучення металів для геотехнологічних методів (купчасте вилуговування з попереднім дробленням руди, осадження, електроліз) складають близько третини від суми витрат на звичайні методи.

Проте, геотехнологічні методи видобутку корисних копалин слід розглядати не як конкуруючі з традиційними, а як доповнюючі їх. Ці методи доцільно застосовувати на об'єктах, де значно більший ефект може бути отримано за рахунок масштабності виробництва на відвалах забалансових руд і хвостів збагачення. Вилуговування металів дозволяє зменшити темпи залучення в експлуатацію нових родовищ, приносить прибуток і забезпечує повноту використання надр.

### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. <http://www.mns.gov.ua> «Національна доповідь про стан техногенної та природної безпеки в Україні у 2012 році».

2. Бондаренко С.В., Моисеєнко В.В., Бондаренко Г.Н. Комплексное использование минерально-сырьевых ресурсов горно-обогатительных комбинатов Украины // Вопросы химии и химической технологии (научно-технический журнал). - Вып. 5 - Днепропетровск: Издательство УГХТУ, 2003. - с. 29-32.

3. Большая советская энциклопедия. — М.: Советская энциклопедия. 1969-1978.

УДК536.24; 628.81.

В.В. Бондаренко, Д.В. Кожемяка, А.С. Гавриш

### **ПРО КЛАСИФІКАЦІЮ ТЕПЛОБМІННИКІВ-КОНДЕНСАТОРІВ ТА ІНТЕНСИФІКАЦІЮ ТЕПЛОБМІНУ**

*Анотація – Останнім часом зріс інтерес вчених до вивчення високо інтенсивних процесів теплообміну в теплообмінниках-конденсаторах. Розглянута класифікація конденсаторів. Використання комплексних нових методів обробки поверхонь дозволяє збільшити коефіцієнт тепловіддачі та теплопередачі в теплообмінних апаратах.*

*Ключові слова – теплообмін, теплопередача, нанотехнології, ліо- та гідрофобні поверхні.*

### **О КЛАССИФИКАЦИИ ТЕПЛОБМЕННИКОВ-КОНДЕНСАТОРОВ И ИНТЕНСИФИКАЦИИ ТЕПЛОБМЕНА**

*Аннотация – За последнее время возрос интерес ученых к изучению высокоинтенсивных процессов теплообмена в теплообменниках-конденсаторах. Рассмотрена классификация конденсаторов. Использование комплексных новых методов обработки поверхностей позволяет увеличить коэффициент теплоотдачи и теплопередачи в теплообменных аппаратах.*

*Ключевые слова – теплообмен, теплопередача, нанотехнологии, лио- и гидрофобные поверхности.*

### **ABOUT CONDENSATION HEAT EXCHANGERS CLASSIFICATION AND HEAT TRANSFER INTENSIFICATION**

*Annotation – Last time has increased interest of scientists to study highly intensive heat exchange at condensation heat exchange apparatus. Heat exchangers classification is considered. Using of new complex methods of surfactants to surface protection is considered. This increases the heat exchange and heat transfer coefficients in heat exchange apparatus.*

*Key words – heat exchange, heat transfer, nanotechnology, lyo- and hydrophobic surfaces.*

#### **Вступ**

Останнім часом зростає інтерес вчених різних країн до створення і використання в промислових масштабах сучасних багатофункціональних покриттів теплообмінних поверхонь. Цьому сприяє зростання можливостей нанотехнологій, які дозволяють синтезувати новітні композиції з елементами органічних сполук, до цього числа також належать поверхнево-активні речовини (ПАР). Компоненти яких дозволяють захищати теплообмінне обладнання від корозійно-ерозійних процесів [1-2].

Конденсатори отримали широке розповсюдження в різних установках промислової теплоенергетики. Конденсація водяної пари, як найпоширенішого робочого тіла в промисловості, має достатню інтенсивність та представляє особливий інтерес для дослідження. З метою інтенсифікації теплообміну в поверхневих теплообмінних апаратах (ТОА) застосовують різні способи зниження термічного опору конденсату. Руйнування конденсаційної плівки та забезпечення безпосереднього контакту пари з поверхнею теплообміну досягається застосуванням поверхнево-активних речовин, які сприяють створенню і підтримці краплинної конденсації. Сама по собі металева теплообмінна поверхня є в більшості випадків гідрофільною. В окремих випадках у краплинному або псевдо краплинному режимах може бути сконденсована лише перша невеличка порція пари, потім настає заливання теплообмінної поверхні і конденсація триває в плівковому режимі. Процес краплинної конденсації є високо інтенсивним процесом теплообміну при якому значення коефіцієнтів тепловіддачі в кілька разів перевищують описані Нуссельтовським рішенням

значення коефіцієнтів тепловіддачі для плівкової конденсації.

### 1 Існуючі конструкції конденсаторів

Конденсаторами традиційно називають технологічні теплообмінні апарати, в яких реалізуються процеси фазового перетворення різних середовищ за рахунок охолодження (відводу прихованої теплоти конденсації) іншими середовищами [3-4]. Все різноманіття конструкцій конденсаторів може бути розділене на декілька груп за наведеними нижче ознаками. За схемою руху циркулюючих середовищ конденсатори, як і інші теплообмінні апарати, можуть бути регенеративними і рекуперативними. Регенеративні апарати діють періодично. Спочатку потік охолоджувальної речовини проходить через насадку, охолоджуючи її. Далі потоки перемикаються і через насадку пропускається пара, яка віддає їй теплоту і конденсується. Після нагрівання насадки процес повторюється. Даний спосіб має кілька суттєвих недоліків: процес конденсації досить енергоємний (у більшості речовин прихована теплота конденсації значна в порівнянні з теплоємністю матеріалу насадок), тому перемикання доводиться виконувати дуже часто; конденсат не може повністю стекти з насадки, отже, стане імовірним контакт первинного і вторинного теплоносіїв. При цьому, навіть якщо обидва теплоносія взаємно нерозчинні і хімічно неактивні, відбуватиметься їх обопільне забруднення; даний процес погано піддається автоматизації.

З цих причин регенеративні конденсатори в промисловості майже не використовуються. У порівнянні з ними в рекуперативних апаратах відбувається постійний спільний рух робочого та охолоджуючого середовищ, розділених поверхнею теплообміну. Даний процес позбавлений описаних вище недоліків і тому отримав найбільш широке розповсюдження. За напрямком руху середовищ рекуперативні апарати діляться на супутні (прямоточні), проти точні, перехресні та комбіновані.

Згідно з іншою схемою класифікації, за схемою руху циркулюючих середовищ конденсатори поділяються на апарати змішування і поверхневі. У конденсаторі змішування пара безпосередньо контактує з охолоджуючим агентом (найчастіше водою або повітрям). Залежно від способу відведення конденсату та газів, які не конденсуються, теплообмінники змішування діляться на вологі та сухі. Поверхневі конденсатори в даному випадку будуть відповідати описаним вище рекуперативним теплообмінникам.

**Таблиця 1. Класифікація конденсаторів з відводом тепла в зовнішнє середовище**

Тип	Підтип 1	Підтип 2	
Повітряні	Вільним рухом повітря		
	З примусовим рухом повітря		
Повітряно-водяні	Зрошувальні		
	Випарникові		
Водяні	Кожухотрубні	вертикальні(КТВ)	
		горизонтальні(КТГ)	
	Елементні		
	Двохтрубні (труба в трубі)		
	Панельні	панельно-занурені	
		панельно-пакетні	
Пластинчаті			

За родом охолоджуючої речовини конденсатори можна розділити на апарати з відведенням теплоти в зовнішнє середовище і з утилізацією тепла. При відведенні теплоти в зовнішнє середовище в якості охолоджуючого агента зазвичай виступає повітря чи вода, відповідно конденсатори конструктивно поділяються на апарати повітряного або водяного

оохолодження. При утилізації теплоти в якості оохолоджуючого агента може виступати практично будь-яка речовина, наприклад одна з речовин технологічної схеми, яка вимагає нагріву. З усього різноманіття існуючих конструкцій промислових конденсаторів найбільш поширені апарати з відводом тепла в зовнішнє середовище як більш універсальні і менш вимогливі до конкретних умов технологічного процесу. Існує безліч технічних рішень таких апаратів. Їх класифікація по конструкції наведена в табл. 1.

Важливою ознакою класифікації конденсаторів є наявність і вид ребер. Оребрення використовується в основному в конденсаторах, де в якості теплообмінної поверхні виступають труби. Причому, оребрення розташовується, як правило, із зовнішнього боку труб, що обумовлено міркуваннями спрощення виготовлення апаратів. Класифікація конденсаторів за типом зовнішнього оребрення наведено в табл. 2.

**Таблиця 2. Класифікація конденсаторів по типу зовнішнього оребрення**

Тип	Підтип 1	Підтип 2	Підтип 3	Підтип 4	
Гладкі					
Оребрені	Дротові трубні				
	Листотрубні (панельні)	Щитові	Односторонні (однолистові)		
			двосторонні (дволистові)		
	Прокатно-зварні				
	З плоскими ребрами	Литі			
		Накатні			
		Навивні			
		Насадні	Круглі		
	Прямокутні		На одну трубу		
		На всі труби			

Відзначимо, що існують спеціальні моделі апаратів [3-4] із оребренням всередині труб. Однак, по конструкції ребер вони практично однакові: оребрення являє собою 8 - або 10-канальний сердечник із міді, алюмінію або сплавів кольорових металів, запресований всередині сталевий труби. Різниця може становити тільки в наявності або відсутності внутрішнього зв'язку між каналами, що реалізується шляхом змикання або не змикання ребер в центрі сердечника.

## 2 Інтенсивність теплообміну в конденсаторах

Порівняльний опис існуючих типів апаратів показує можливість їх застосування для ведення процесів повної або часткової конденсації [5-6]. Для оцінки ефективності конденсації необхідно розглянути і порівняти вплив на неї режимних параметрів роботи апарату. При цьому необхідно враховувати, що деякі параметри являються визначальними, а решта - залежними від них. Фактично при управлінні робочим процесом промислового апарату можливо міняти певні величини. До них відносять геометричні параметри та конструктивні особливості; робоче середовище, в т.ч. можливі добавки; початковий тиск і витрату середовища. Від цих величин залежать щільність теплового потоку  $q$ , швидкість руху робочого середовища  $W$  та ін. Швидкість руху теплоносіїв, в свою чергу, визначає і температуру робочої речовини  $t_p$ . Ця температура визначає основні теплофізичні параметри: теплоємність  $c_p$ , коефіцієнт динамічної в'язкості  $\mu$  і коефіцієнт теплопровідності  $\lambda$ ; вхідну температуру оохолоджуючої речовини (охолодоносія)  $t_{в1}$ , витрату і режим подачі вторинного теплоносія. Разом з  $t_p$  ці величини визначають температурне поле, що виникає в апараті, в т.ч. температуру стінки  $t_{ст}$ , температуру границі розподілу фаз  $t_{гр}$ . Вищенаведені величини



визначають фізичні характеристики конденсатних утворень. Весь комплекс розглянутих величин впливатиме на значення середнього коефіцієнта теплопередачі в різних апаратах-теплообмінниках.

Розглянемо вплив вищенаведених параметрів на ефективність процесу конденсації в конденсаторах із активними гідро газодинамічними режимами руху теплоносіїв і "традиційної" конструкції. Для цього попередньо визначимо найбільш ефективний тип "традиційного" апарата для подальшого використання в якості зразка для порівняння. Для оцінки впливу конструктивних параметрів існуючих теплообмінних апаратів на ефективність процесів теплопередачі, які відбуваються у них, роздивимося табл. 3, де представлені зведені дані по середньому значенню коефіцієнта теплопередачі в різних теплотехнічних апаратах і теплообмінниках [3-4].

**Таблиця 3. Значення середнього коефіцієнта теплопередачі в різних теплообмінниках**

Процес теплопередачі	k, Вт/(м <sup>2</sup> ·°С)
Від газу до газу (пластинчасті ТОА із вільним рухом середовищ)	10-25
Від газу до газу (будь-які ТОА з примусовим рухом середовищ)	20-50
Від газу до води (панельний повітряний теплообмінник)	60
Від газу до води (любі ТОА із примусовим рухом газу)	50-100
Від води до води (теплообмінники із рухом води по трубкам)	500 - 700
Від води до води (пластинчастий теплообмінник)	1000-1200
Від водяної пари, яка конденсується, до масел (горизонтальний кожухотрубний конденсатор)	~ 350
Від водяної пари, яка конденсується, до води (горизонтальний кожухотрубний конденсатор)	2900 - 3000
Від аміаку, який конденсується, до води (горизонтальний кожухотрубний конденсатор)	700-1000
Від фреону, який конденсується, до води (горизонтальний кожухотрубний зрошувальний конденсатор)	700-930
Від аміаку чи фреону, який конденсується, до повітря (повітряний конденсатор)	-30
Від аміаку, що випаровується, до холодоносія (кожухотрубний випарник типу ВКТ)	-3500
Від аміаку, що випаровується, до холодоносія (панельний випарник)	2300-3500
Від фреону, що випаровується, до холодоносія (кожухотрубний випарник із гладкими сталевими трубами)	2300-4650
Від фреону, що випаровується, до холодоносія (кожухотрубний випарник із мідними трубами накатаного оребрення)	4650-6400
Від фреону, що випаровується, до холодоносія (внутрішньо трубний випарник типу ВТВР)	2300-11000

Таким чином, із конструктивних критеріїв, що впливають на ефективність теплопередачі, можна виділити: організацію примусового руху середовищ, що особливо ефективно проявляється у випадку теплообміну з газом (повітрям); оребрення поверхні; застосування пластинчастих апаратів в порівнянні з іншими типами у разі теплообміну без

фазового переходу; застосування кожухотрубних і вертикальних апаратів в порівнянні з іншими типами в разі реалізації процесу фазового переходу.

Відзначимо, що теплопередача в конденсаторах із активними гідро газодинамічними режимами руху теплоносіїв істотно перевершує відповідні величини для традиційних типів апаратів. Для сучасного підприємства головним завданням є проведення технологічного процесу з максимальною продуктивністю, мінімальними трудовими та енергетичними затратами. Особливо актуальними є питання енергозбереження в основних технологічних процесах, де великий відсоток технологічного часу припадає на процеси теплообміну. Ці процеси проходять у теплообмінній апаратурі на межі “середовище - стінка теплообмінника”, де концентрується до 98 % термічного опору [3]. Для ефективної роботи теплообмінної апаратури необхідно, щоб коефіцієнт теплопередачі  $k$  був максимальний, а рух рідини у ній здійснювався в турбулентному режимі, при якому передача тепла проходить інтенсивніше, ніж при ламінарному і перехідному режимах.

### 3 Особливі умови процесу конденсації

Конденсація являє собою процес із значними питомими тепловими потоками. Його достатньо складно суттєво інтенсифікувати. Тому, на режимах роботи із максимальними тепловими навантаженнями в промислових теплотехнічних апаратах однією із ключових умов є саме стабільність. Наявність активних гідро газодинамічними режимів руху теплоносіїв надає можливість отримати максимальні гранично допустимі величини коефіцієнтів тепловіддачі при конденсації.

До особливих умов руху теплоносіїв із фазовим перетворенням, які не враховуються теоретичними моделями, відносяться випадки об'ємної та поверхневої краплинної конденсації. Конденсація, як і кипіння, відноситься до процесів із високою інтенсивністю. Її достатньо складно досліджувати із метою інтенсифікації роботи апаратів, які працюють на граничних режимах. Такі режими роботи обладнання із максимальним навантаженням, також складно підтримувати стабільними. Застосування апаратів із активними гідро газодинамічними режимами руху теплоносіїв ставить велике коло задач при гранично можливих максимальних коефіцієнтах тепловіддачі при конденсації. До них відносять задачі як традиційної в більшості випадків плівкової, так і краплинної, об'ємної та комбінованої конденсації. Визначним чинником буде саме теплопередача ТОВА.

На ефективність теплопередачі може значним чином впливати об'ємна та поверхнева краплинна конденсація. В об'ємі апарату рухається насичена або перегріта пара. При русі пара або паро газова суміш розширюється. В наслідок цього відбувається падіння її тиску і температури, і тим самим створюється деяке пересичення. В пересиченій парі навіть за умови відсутності сторонніх ядер конденсації починається утворення зародків рідкої фази за рахунок флуктуацій густини. Такі зародки будуть молекулярними комплексами. Вони можуть зростати лише коли перевищать деякий критичний розмір, який визначається зовнішніми умовами. Рівновага зародок-середовище буде нестійка. В подальшому можливим є розвиток зародків конденсації, або їх розпад.

Геометричні та енергетичні характеристики конденсаційних утворень залежно від конкретики процесу можуть відрізнятися одне від одного на декілька порядків [7]. Такий підхід ґрунтується на емпіричних співвідношеннях і залежить від характеристик конкретного процесу. Різноманіття параметрів конденсації, як на макро так і на мікро рівні, вимагає застосування інших підходів для опису цього процесу. Наприклад, розгляд теорії коагуляційного зростання краплин. Співіснування різних конденсатних утворень, і як

наслідок різних режимів конденсації: краплинної, плівкової і змішаної, дозволяє широко варіювати техніко-економічні показники теплотехнічного обладнання.

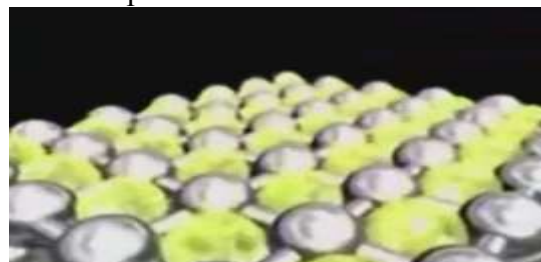
Останнім часом зростає інтерес до створення і використання в промислових масштабах ще й сучасних багатофункціональних покриттів теплообмінних поверхонь. Цьому сприяє зростання можливостей нанотехнологій, які дозволяють синтезувати новітні композиції з елементами органічних сполук, компоненти яких дозволяють захищати теплообмінне обладнання від корозійно-ерозійних процесів і мають, так звані, трибосистемні властивості [1-2]. Речовини, отримані за допомогою нанотехнологій із трибосистемними властивостями не вимиваються, не вимагають обов'язкової додаткової захисної обробки поверхні теплообміну, самі здійснюють захист, відновлення, реставрацію і консервацію оброблюваних матеріалів, зберігають газо-паропроникність, і відносяться до класу комплексних (композиційних) матеріалів.

Також для підвищення ефективності конденсації можуть застосовуватись й інші підходи. Наприклад, незначна вібрація покращує стікання і збір конденсату, вона також може спонукати виникнення краплинного режиму. Оброблення поверхонь теплообміну дає змогу виготовляти більш компактні апарати при незначному зростанні металоємності. Серед методів інтенсифікації теплообміну перевага надається тим, які призводять до технічних удосконалень і не потребують значних нових технологічних процесів. Такий підхід є перспективним напрямком розвитку і вдосконалення існуючих технологій.

#### 4 Особливості трибосистемних покриттів

Пошук ефективних способів захисту поверхонь ведеться за певними напрямками: застосування нових ерозійно стійких матеріалів та покриттів, розробка оптимальних конструкцій, застосування зовнішніх впливів, наприклад, аерації, катодного захисту, використання електричних та електромагнітних полів, зміна властивостей рідини шляхом використання спеціальних добавок та ін. Для замкнених контурів одним з найбільш ефективних способів боротьби із ерозією є використання різноманітних поверхнево-активних речовин (ПАР). Ведення незначної кількості високомолекулярних сполук суттєво впливає на зміну в'язкості, поверхневого натягу та інших властивостей теплоносія. Захисна дія ПАР пояснюється теорією в'язко-еластичності полімерів та змінами в характері обтікання поверхонь. Однак, єдиної думки щодо механізму захисної дії ПАР дотепер не існує. Вплив ПАР є багатофакторним і залежить від природи речовини, характеру течії, властивості робочої рідини і т.д.

Для покриттів поверхонь характерними є певні фізико-хімічні властивості. Властивості та склад ліофобних зносостійких покриттів залежать від технології їх створення. При створенні новітніх поверхонь важливим є отримання так званих трибосистем (Рис. 1). Для цього необхідне дотримання балансу між притоком енергії та її віддачею в навколишнє середовище. Трибосистема є відкритою термодинамічною системою. Активні компоненти композиції забезпечують анізотропію механічних властивостей заново сформованого пласту із збереженням основного призначення теплообмінної поверхні.



а) нанесення багатофункціонального гідрофобізатора, б) утворення трибо системи  
Рисунок 1 - Формування захисної поверхні під дією ПАР

Позитивний градієнт механічних властивостей поверхонь забезпечує ліо- та гідрофобність. Якщо порушується баланс, то система відреагує властивістю самоорганізації. Трибосистема або руйнує старі зв'язки, або утворює нові, шляхом структурного ускладнення. Поверхневі пласти накопичують, або віддають енергію, що призводить до зміни як механічних, так і теплофізичних характеристик. При цьому можливе утворення особливого стану речовини - трибоплазми, яка є нестійкою і може повернутись до вихідного стану речовини. Проходження зміни агрегатних станів може відбуватись із утворенням радикальних, іонних та іонно-радикальних структур. Кінцевим результатом таких перетворень є формування особливих покриттів із продуктів трибохімічних реакцій. В результаті відбувається добування кристалічної решітки металевих теплообмінних поверхонь під дією сил когезії та адгезії.

Комплексний підхід до створення та експлуатації трибосистемних покриттів товщиною від 1 до 100 нм дозволяє попередити, або мінімізувати корозійно-ерозійні процеси. Основою цього є синергетичні ефекти взаємного впливу активних агентів та матеріалів, які вони захищають. Взаємодія полімерних речовин із поверхнею дозволяє утворювати єдиний монолітний міцний пласт, який може бути зруйнований лише механічним шляхом (Рис. 1). При цьому їх утримування на теплообмінній поверхні здійснюється за рахунок сил адгезії, шляхом утворення моно- чи полімолекулярного пласту, або при проникненні на певну глибину, можлива комбінація різних механізмів. Створення новітніх захисних поверхонь базується на так званих відкритих термодинамічних трибосистемах, для яких дотримується баланс між притоком та віддачею енергії. Активні компоненти композиції утворюють особливу модифікацію, яка забезпечує анізотропію механічних властивостей заново сформованої поверхні - прошарку третього тіла із збереженням основного покриття.

Універсальність трибосистемних покриттів полягає в їх однаковій, або сумірній ефективності для чорних і кольорових металів. Синергетичні ефекти взаємного впливу активних агентів та матеріалів, які вони захищають, належить розглядати як такі, що здатні самостійно розвиватись та еволюціонувати. Наявність активних компонентів забезпечує здатність утворювати специфічний прошарок третього тіла. Трибосистема створює умови для ліо- та гідрофобізації. Вони можуть проявлятись через так званий ефект лотоса: крапля дотикається поверхні тільки в декількох точках, стягується за рахунок поверхневого натягу до сферичної форми и при самих незначних кутах нахилу чи за рахунок динамічної дії парового потоку вільно видаляється. Таким чином, забезпечується режим якісної краплинної конденсації із високими коефіцієнтами тепловіддачі, який може підтримуватись достатньо тривалі проміжки часу: від декількох місяців до декількох років. Проведений аналіз та результати експериментальних досліджень вказують на перспективність використання таких підходів в конденсаційному та іншому теплотехнічному обладнанні.

### **Висновки**

Розглянута можливість реалізації процесу конденсації за умови активних гідро газодинамічних режимів руху теплоносіїв. Проведене оглядове порівняння різних типів теплообмінних апаратів. Показано, що активні гідро газодинамічні режими руху теплоносіїв мають ряд переваг по комплексу характеристик порівняно із іншими режимами.

Розглянуті існуючі дослідження теплообміну при конденсації. Проаналізовані можливі шляхи підвищення інтенсивності теплообміну при конденсації пари. Встановлено, що конденсація активного гідро газодинамічного потоку теплоносія якісно відповідає, так званому, традиційному процесу, наприклад, на циліндричних, або на плоских поверхнях.

Нові можливості нанотехнологій дають можливість створення нових систем - так званих трибосистем, які утворюють моно або полі молекулярний шар полімера з поверхнею.

Застосування багатофункціонального покриття дозволяє отримати якісну краплинну конденсації водяної пари з високими значеннями коефіцієнтів тепловіддачі. Нанопокриття теплообмінних поверхонь мають властивість самоорганізації, утворюють довговічний мономолекулярний прошарок, який може мати властивості кераміки. Нанотехнології ведуть до створення надзвичайно чистих поверхонь, які мають властивість самоочищення і в перспективі необмежений термін використання.

### Література

1. Baudrit J.V, Ballestero M.S and Martinez J.M, Study of the Relationship between Nanoparticles of Silica and Thermoplastic Polymer (TPU) in Nanocomposites // *Journal Nanotechnology Progress International (JONPI)*. , 2009. - Issue 1, P. 24-34.
2. *Journal of Nanofluids*, 2012, - Vol. 1, No. 2 (December 2012), Vol. 1, No. 1 (June 2012).
3. Процессы и аппараты химической промышленности / П.Г. Романов, М.И. Курочкина, Ю.Я. Мозжерин и др. – Л.: Химия, 1989. – 560 с.
4. Теплообменные аппараты холодильных установок / Под общей ред. Г.Н. Даниловой. – Л.: Машиностроение, 1986. – 303 с.
5. Кириллов А.И., Рис В.В., Смирнов Е.М. Численное моделирование турбулентного течения и теплообмен в трубе с ленточным завихрителем // Труды ИРХТ. Москва, 26-30 окт. 1998г., Т.6: Интенсификация теплообмена. – М.: Издательство МЭИ, 1998. – С.132-136.
6. Ляндберг А.Р., Латкин А.С. Вихревые теплообменники и конденсация в закрученном потоке. – Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ, 2004. – 149с.
7. Исаченко В.П. Теплообмен при конденсации. – М.: Энергия, 1977. – 239 с.

УДК 550.832:662.767.2

**Ремез Н.С., Осіпова Т.А.**

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ И ПРОЦЕССА  
ВЫДЕЛЕНИЯ СВАЛОЧНОГО ГАЗА С ПОЛИГОНОВ ТБО**

*Анотація. У статті розглядається моделювання виходу біогазу з полігонів ТПВ. Були побудовані залежності обсягу біогазу від часу на кількох полігонах України. У статті також наводиться порівняння вимірної і розрахованої, в результаті моделювання, температури в тілі полігону.*

*Ключові слова: біогаз, полігон ТПВ, викиди, температура, відходи.*

**Ремез Н.С., Осіпова Т.А.**

**МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ ТА ПРОЦЕСУ ВИДІЛЕННЯ  
ЗВАЛИЩНОГО ГАЗУ З ПОЛІГОНІВ ТПВ**

*Аннотация. В статье рассматривается моделирование выхода биогаза с полигонов ТБО. Были построены зависимости объема биогаза от времени на нескольких полигонах Украины. В статье также приводится сравнение измеренной и рассчитанной, в результате моделирования, температуры в теле полигона.*

*Ключевые слова: биогаз, полигон ТБО, выбросы, температура, отходы.*

**Remez N., Osipova T.**

**MATHEMATICAL SIMULATION OF TEMPERATURE AND GASE EMISSION  
PROCESSES FROM LANDFILLS**

*Abstract. The article considers modeling of biogas yield from the landfills. The dependence of biogas from time were built at several landfills in Ukraine. The article also provides a comparison of the measured temperature and the simulated temperature in the landfill.*

*Key words: biogas, landfill, emission, temperature, methanogenesis, waste.*

Landfill is a source of biogas. More than 10 million tons of waste are generated annually in Ukraine. As a result of anaerobic fermentation each ton of waste can allocate 120 ... 200 m<sup>3</sup> of biogas, and total outlet of biogas from all landfills of Ukraine is up to 400 million m<sup>3</sup>. The main component of biogas is methane. It has 21 times more greenhouse effect than carbon dioxide. Biogas can be used as fuel for cars and for cogeneration units that produce both electricity and heat.

The process of decomposition of organic compounds in waste in mesophilic anaerobic conditions, leads to the formation of biogas, significantly affecting the "greenhouse effect." 40-50% of the total amount of methane is produced by human activities, with more than 20% is formed in landfills. Biogas can migrate outside the landfill into the ground and the atmosphere under the influence of overpressure, which causes a negative impact on the environment.

Recent researches show that carrying out a large number of measurements is very difficult in practice. It requires high financial and time costs as well as high accuracy and integrity of research. So there is need for modeling of temperature in the body of the landfill and the prediction of biogas volume.

The purpose of of research - prediction of temperature and output of landfill gas from the landfill.

Setting the research - mathematical simulation of temperature in the body of landfill and landfill gas output, and comparing the results with the experimental ones.

Mathematical simulation is the most convenient and low-cost method of gas generation volume prediction. Usually mathematical model of the first-order decay is used for this simulation. It includes first order decay rate constant  $k$ , total methane potential  $L_0$ , the annual burial rate  $M_i$ .

$$Q_{CH_4} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=0,1}^1 kL_0 \left( \frac{M_i}{10} \right) \cdot e^{-kt_{ij}} \quad (1)$$

Total methane potential  $L_0$  and first order decay rate constant  $k$  depend on the number and fractional composition of waste, landfill conditions (humidity, temperature, pH, the presence of inhibitory substances, etc.), operating conditions (the presence of pre-sorting, landfill shape, compaction degree of waste, the presence of the upper gas-tight layer and other).  $L_0$  is in the range 0 ... 312 m<sup>3</sup> / t of waste, and  $k$  - 0,001 ... 0,4 year<sup>-1</sup>. For the calculation of biogas program was used LandGEM - Landfill Gas Emissions Model, Version 3.02, developed by US Environmental Protection Agency. The simulations were carried out for the Mariupol, Chernigov and Boryspil polygons.

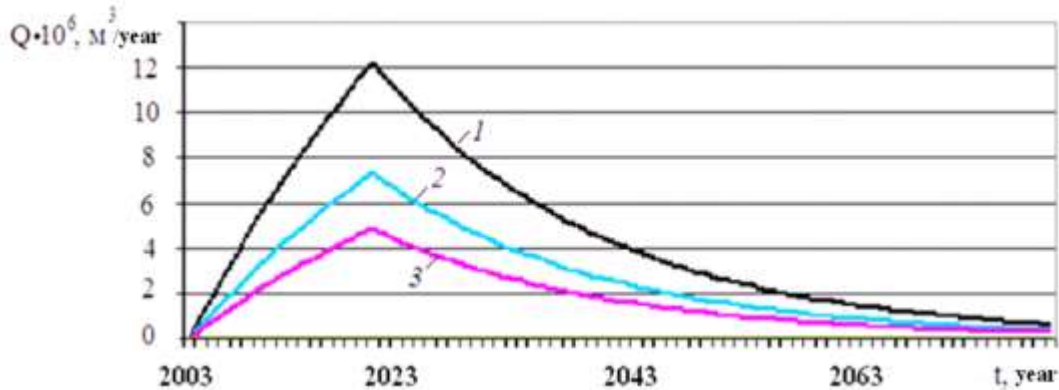


Fig.1. The dependence of biogas from time on the Boryspil landfill: 1 - the total output of biogas, 2 - output of methane, 3 - output CO<sub>2</sub>.

The figure shows the dependence of biogas emissions from time in Boryspil landfill. The figure shows that at first there is a growth of biogas emissions within the time, and the maximum generation of biogas accounts for 2019, which corresponds to the stage of active methanogenesis and it is possible to receive  $7,3 \cdot 10^6$  m<sup>3</sup> of methane per year. Further a decrease of volume of biogas was observed, which corresponds to the stage of stable methanogenesis. Predicted volumes of methane, calculated by 2143, are  $2,1 \cdot 10^8$  m<sup>3</sup>.

Chernihiv landfill is working since 1961. It should be noted that the landfill hasn't special protection of the environment. According to the scheme of sanitation of the city the landfill should have operated only up to 1997. But because of the absence of alternative waste disposal, it is still functioning. Currently, the area under the waste at the landfill is almost exhausted, while approximately 185 thousand tons of waste are placed there every year.

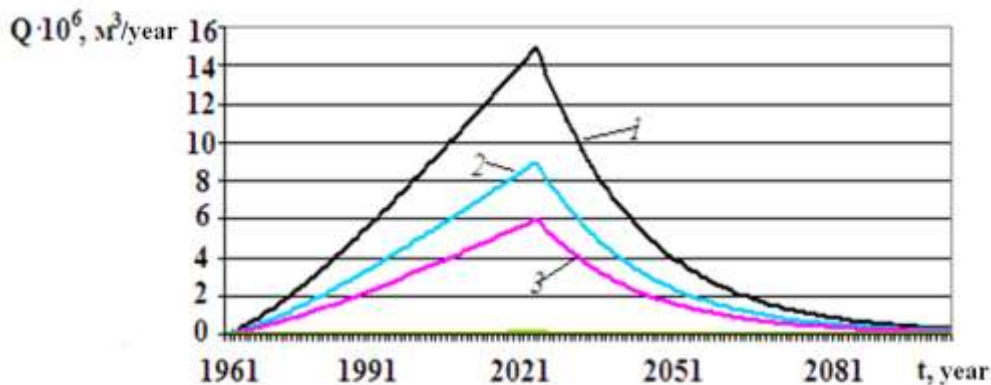


Fig.2. The dependence of biogas from time on the Chernihiv landfill: 1 - the total output of biogas, 2 - output of methane, 3 - output CO<sub>2</sub>.

It is planned to drill 60 wells for the production of biogas and construction of a 5-km-long pipeline to transport gas from the landfill to the boiler. Implementation of the project will ensure the reduction of gase emission. Moreover, it will allow to use the gas produced in the landfill for heating of one of the districts of Chernihiv with 12 thousand inhabitants. The project can be partially financed from the budget for projects realized under the Kyoto Protocol.

For modeling of temperature in the body of the landfill the heat conduction equation was used. The initial conditions are given in the form of the temperature distribution in the initial period of time. Boundary conditions describe the behavior of the heat flux at the boundaries. The integration of the initial-boundary value problem is solved numerically using an implicit finite difference scheme. Simulation of the temperature in the body of the landfill can be provided using the heat equation of parabolic type, which includes  $\lambda(T)$  and  $Q(z)$  which are the functional dependence on temperature  $T$  and humidity

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left( \lambda(T) \frac{\partial T}{\partial z} \right) + Q(z) \quad (2)$$

The initial conditions of the problem can be defined as the temperature distribution in the initial period  $t = 0$ :

$$T(z, 0) = T_0(z), \quad (3)$$

or in the form of humidity distribution:

$$W(z, 0) = W_0(z). \quad (4)$$

For the boundary conditions conditions of the 2nd kind are accepted, as they describe the behavior of the heat flux at the boundaries

$$\begin{aligned} \frac{\partial T}{\partial z} &= h_1(T - T_c), & z=0, \\ \frac{\partial T}{\partial z} &= h_2(T - T_z), & z=l, \end{aligned} \quad (5)$$

$T_c$  і  $T_z$  – ambient temperature for a given layer.

The researches on the existing landfill, located in Boryspil, Kyiv region were conducted. The experimental system for the collection of landfill gas consists of one vertical gas collection well. During the selection process composition, degree of decomposition of solid waste and humidity was estimated. In the drilled pit along the wall temperature sensors HTF 250 were mounted at a depth of about 1, 3, 6 and 8 m. The figure shows the experimental and simulated results of temperature changes in the Boryspil landfill.

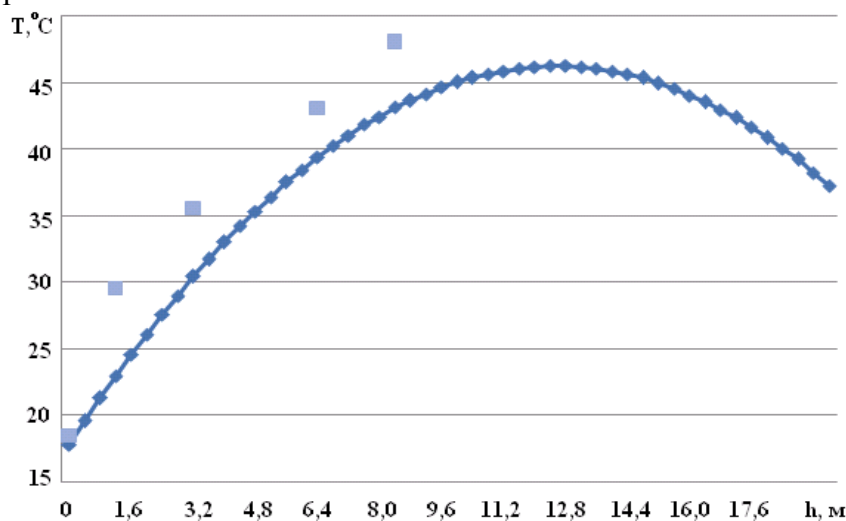


Fig.3.Simulation and experimental results of temperature changes in Boryspil landfill :

—◆— simulation results  
—■— experimental results.



Speaking about current situation, dumping of solid waste in landfills and polygons remains the main method of waste disposal in Ukraine. Biogas is released during the decomposition of household waste from landfills. Biogas is a valuable hydrocarbon fuel. The most effective way to reduce methane yield from landfills into the atmosphere, is to collect and use it. Since the measurement is an expensive process, there is a need for modeling of processes on landfills. We developed a method for calculating the temperature in the body of the landfill and biogas emissions from landfills. Comparing the results of experiments and mathematical modeling, we can conclude that they are practically the same.

УДК 621.314.222.600

**Притискач І.В.**, аспірант, **Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»**

### **ОЦІНЮВАННЯ НАВАНТАЖУВАЛЬНОЇ ЗДАТНОСТІ СИЛОВИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ З ВИКОРИСТАННЯМ СТОХАСТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ВИБОРУ**

*У статті вирішується задача вибору силових масляних трансформаторів за критеріями температури масла і найбільш нагрітої точки обмотки трансформатора з використанням різних моделей цих процесів. Наведено стохастичне оцінювання навантажувальної здатності силових масляних трансформаторів за критеріями допустимого їх нагрівання та термічного зносу ізоляції на основі термічних моделей їх нагрівання і моделей зносу ізоляції трансформаторів.*

### **ОЦЕНКА НАГРУЗОЧНОЙ СПОСОБНОСТИ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СТОХАСТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ВЫБОРА**

*В статье решается задача выбора силовых масляных трансформаторов по критериям температуры масла и наиболее нагретой точки обмотки трансформатора с использованием различных моделей этих процессов. Приведено стохастическое оценивание нагрузочной способности силовых масляных трансформаторов по критериям допустимого их нагрева и термической износа изоляции на основе термических моделей их нагрева и моделей износа изоляции трансформаторов.*

### **EVALUATION OF POWER TRANSFORMERS LOAD CAPACITY USING STOCHASTIC CHOOSING MODELS**

*In this paper presented the solution of power oil transformers selection problem using the criteria for oil temperature and the most heated point of the transformer using different models of these processes. Presented stochastic estimation of load capacity of power oil transformers according to the criteria of acceptable heating and thermal insulation deterioration from thermal models of heating and insulation of transformers models wear.*

#### **1. Загальні відомості**

Трансформатори є одним з найважливіших елементів електропостачальних систем (ЕПС). На даний час в ЕПС застосовують переважно силові масляні трансформатори. Їх висока ціна зумовлює необхідність якомога точнішого вибору трансформаторів, під яким розуміють вибір параметрів і параметрів режимів роботи трансформаторів. Існуючі детерміновані моделі вибору трансформаторів, які зараз використовують в інженерній практиці, часто приводить до неефективного їх використання (так, наприклад, завантаження діючих розподільних трансформаторів в нормальному режимі їх роботи рідко перевищує половину номінальної потужності трансформатора).

Загально визнано, що найбільш точними моделями вибору трансформаторів є стохастичні моделі, які базуються на моделюванні випадкових фізичних процесів в трансформаторі з використанням ймовірнісної вихідної інформації. Ці моделі розроблялись в кінці 80-х років минулого сторіччя, найбільш повно описані в [1] і успішно використовувались в проектній практиці [2]. Тому виникає доцільність оцінити навантажувальну здатність трансформаторів за різними критеріями з використанням нових термічних моделей і порівняти одержані результати з попередніми.

## 2. Постановка задачі досліджень

**Задачі досліджень:** порівняння результатів вибору силових масляних трансформаторів за критеріями температури масла і найбільш нагрітої точки (ННТ) обмотки трансформатора з використанням моделей цих процесів, наведених в ГОСТ 14209-85 та МГОСТ14209-97.

**Мета досліджень:** дослідити відмінності одержаних результатів і можливість узагальнення та уточнення результатів попередніх досліджень.

## 3. Розв'язання задачі досліджень

### 3.1 Термічні моделі нагрівання та зносу ізоляції трансформаторів

Загальним ГОСТ 14209-85 і МГОСТ14209-97 є спрощена триелементна термічна модель «обмотка – масло – навколишнє середовище». В загальному випадку для будь-якого  $i$ -го моменту часу пошук виразів для температур масла  $\theta_o(t_i)$  та найбільш нагрітої точки обмотки (ННТ)  $\theta_h(t_i)$  здійснюють у вигляді

$$\theta_o(t_i) = \theta_o(t_{i-1}) + \delta\theta_o(\delta t_i); \quad (1)$$

$$\theta_h(t_i) = \theta_o(t_i) + \delta\theta_{h-o}(\delta t_i), \quad (2)$$

де  $\theta_o(t_{i-1})$  – значення температури масла в кінці попереднього  $i-1$  часового інтервалу

$$\delta t_i = t_i - t_{i-1};$$

$\delta\theta_o(\delta t_i)$  – зміна температури масла на інтервалі  $\delta t_i$ ;

$\delta\theta_{h-o}(\delta t_i)$  – зміна перевищення температури ННТ обмотки над температурою масла на інтервалі  $\delta t_i$ .

У МГОСТ14209-97 [4] Постійна часу обмотки  $\tau_{o,o}$ , що в залежності від потужності трансформаторів змінюється від 3 до 15 хв., не береться в розрахунок, а значення коефіцієнта навантаження  $K^y$  миттєво досягає нового значення.

Також трансформатори за їх номінальною потужністю  $S_{т.ном}$  поділено на три групи:

1) розподільні – номінальна напруга до 35 кВ, вид охолодження – ON;

2) середньої потужності – номінальна потужність трифазних трансформаторів  $S_{т.ном} \leq 100$  МВ·А й однофазних  $S_{т.ном} \leq 33,3$  МВ·А;

3) великої потужності, у яких  $S_{т.ном} > 100$  МВ·А (трифазні).

Розрахункові формули температури ННТ трансформаторів у сталому тепловому режимі за будь-якого навантаження  $K$  залежать від виду охолодження.

Вид охолодження ON:

$$\theta_h = \theta_a + \vartheta_{o.ном}^B \left[ \frac{1 + RK^2}{1 + R} \right]^x + \vartheta_{h-o.ном} K^y. \quad (3)$$

Вид охолодження OF:

$$\theta_h = \theta_a + \vartheta_{o.ном}^H \left[ \frac{1 + RK^2}{1 + R} \right]^x + 2(\vartheta_{o.ном}^C - \vartheta_{o.ном}^H) K^y + \vartheta_{h-o.ном} K^y. \quad (4)$$

Вид охолодження OD: величина  $\theta_h$  визначається аналогічно до виду охолодження OF

з поправкою на зміну омичного опору обмоток від температури (якщо  $K > 1$ ) за формулою

$$\theta_{h.OD} = \theta_{h.OF} + 0,15(\theta_{h.OF} - \theta_{h.ном}). \quad (5)$$

Рекомендовані у стандарті [4] граничні значення температури і струму для різних режимів навантаження наведено в таблиці 1.

### 3.2 Імітація реалізацій температур трансформатора

Одержання сукупності реалізацій температур масла  $\theta_o(t)$  і ННТ обмотки  $\theta_h(t)$ , трансформатора здійснюють в наступній послідовності:

Таблиця 1. Граничні значення температури та струму для режимів навантаження, що перевищує номінальне

Тип навантаження	Розподільні трансформатори	Трансформатори середньої потужності	Потужні силові трансформатори
1	2	3	4
<b>Номінальний режим систематичних перевантажень</b>			
Струм, в.о	1,5	1,5	1,3
Температура найбільш нагрітої точки та металевих частин, що стикаються з ізоляційним матеріалом, °С	140	140	120
Температура масла у верхніх шарах, °С	105	105	105
<b>Режим систематичних тривалих аварійних перевантажень</b>			
Струм, в.о	1,8	1,5	1,3
Температура найбільш нагрітої точки і металевих частин, що стикаються з ізоляційним матеріалом, °С	150	140	130
Температура масла у верхніх шарах, °С	115	115	115
<b>Режим коротких аварійних перевантажень</b>			
Струм, в.о	2,0	1,8	1,5
Температура найбільш нагрітої точки і металевих частин, що стикаються з ізоляційним матеріалом, °С	–	160	160
Температура масла у верхніх шарах, °С	–	115	115

1. Імітують сукупність реалізацій  $I_v(t)$  навантажувального струму  $I(t)$  на інтервалі часу  $T_{\sigma}$  згідно [1].

2. Для кожної реалізації навантажувального струму обчислюють реалізації  $\theta_{o,v}(t)$  і  $\theta_{h,v}(t)$  з використанням тієї або тієї термічної моделі трансформатора.

3. Проводиться статистична обробка ансамблів реалізацій кожної з характеристик з одержанням їхніх статистичних характеристик.

Задаючись певними величинами цих квантилів, у процесі імітаційного моделювання можна підібрати такі пари параметрів розподілу навантажувального струму  $\bar{I}$ ,  $v[I]$ , що забезпечують ці квантилі.

Вхідними даними для моделювання є:

- кількість реалізацій  $N$ . В даному дослідженні це значення рівне 200;

- кількість  $n$  дискретних моментів часу, на які розбивається  $T_6$ ;
- час дискретизації  $\delta t_i$ ;
- ймовірність  $\alpha_\theta$  перевищення температурою масла і ННТ обмотки своїх допустимих максимальних значень  $\alpha_\theta = 0,05$  згідно [1];
- точність  $\varepsilon$ ;
- тип охолодження трансформатора;
- параметри трансформаторів згідно [3, 4];
- параметри трансформаторів за таблицею 1:
  - максимально допустима температура найбільш нагрітої точки  $\theta_{h,r,доп}$ , °С;
  - максимально допустима температура масла у верхніх шарах  $\theta_{o,r,доп}$ , °С.

Під час виконання дослідження розглядалися 3 варіанти термічних моделей трансформатора:

- 1 –термічна модель з врахуванням сталої часу обмотки, рівної 10 хв, і параметрів трансформаторів, наведених в цьому стандарті;
- 2 –термічна модель з врахуванням сталої часу обмотки, рівної 10 хв, та параметрів трансформаторів, наведених в МГОСТ 14209-97;
- 3 – спрощена термічна модель трансформатора без врахування сталої часу обмотки та параметрів трансформаторів згідно МГОСТ 14209-97.

На рисунках 1–4 наведено криві  $\frac{\bar{I}}{I_{ном}} = f(v[I])$  для розподільних трансформаторів з типом охолодження *ONAN*, а також трансформаторів середньої і великої потужностей типів *ON*, *OF* та *OD* відповідно, які отримано ІМ за  $\alpha_\theta = 0,05$ ,  $\theta_{o,доп} = \theta_{o,ном} = \theta_a + \vartheta_{o,ном}$  і  $\theta_{h,доп} = \theta_{h,ном} = \theta_a + \vartheta_{h,ном}$ . Номери кривих на цих рисунках відповідають вказаним номерам застосованих термічних моделей нагрівання. Вибір  $\alpha_\theta = 0,05$  обґрунтовано в [1].

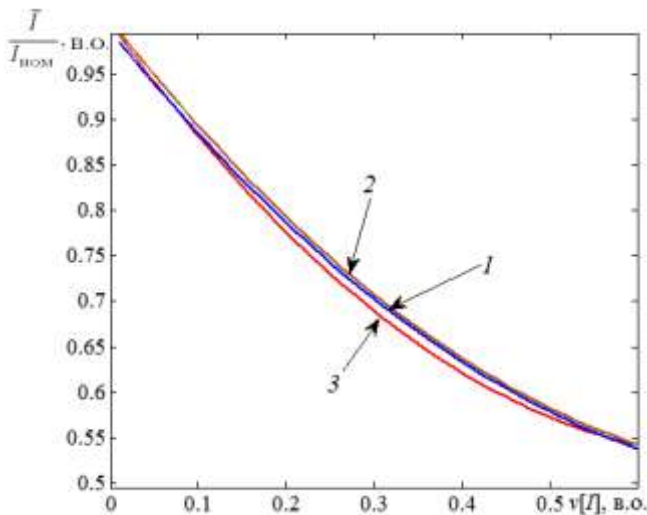


Рис.1. Криві навантажувальної здатності для трансформаторів з охолодженням *ONAN*

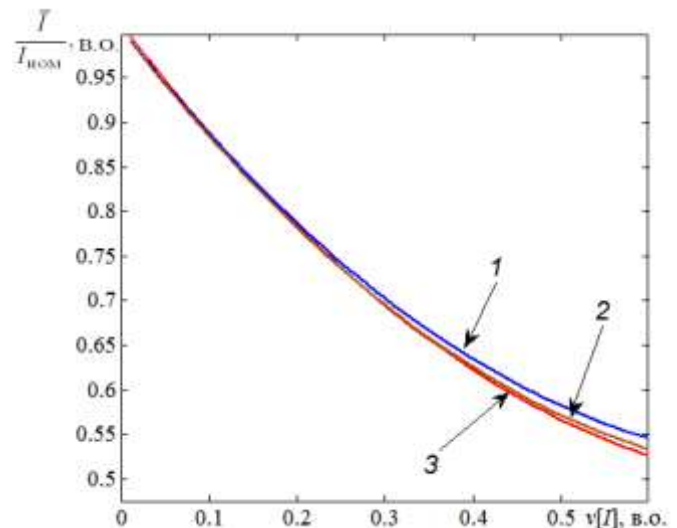


Рис.2. Криві навантажувальної здатності для трансформаторів з охолодженням *ON*

Розглянемо криві (рис. 1), отримані для трансформаторів з типом охолодження *ONAN*. Найбільші допустимі параметри розподілу навантажувального струму  $\bar{I}$ ,  $v[I]$  (найбільшу навантажувальну здатність трансформаторів) дає застосування 2-ої термічної моделі з

врахуванням сталої часу обмотки та параметрів трансформаторів, наведених в МГОСТ 14209-97. Однак відмінності між цими параметрами з застосуванням всіх трьох моделей у всьому діапазоні зміни коефіцієнта варіації не перевищують 2 %. Практично аналогічна відмінність параметрів  $\bar{I}$ ,  $\nu[I]$  спостерігається для трансформаторів з охолодженням типу *ON* (рис. 2).

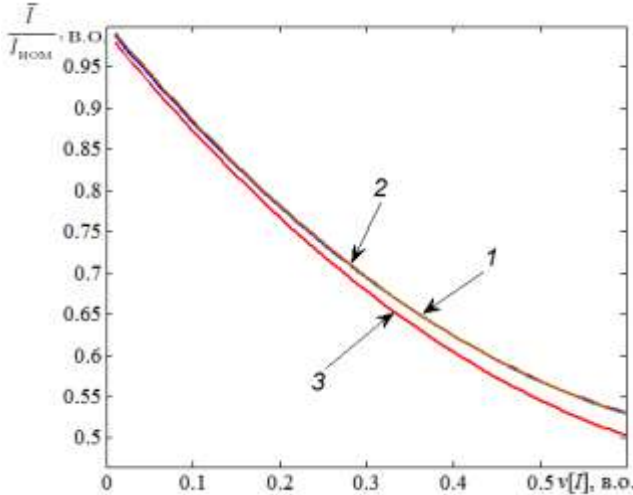


Рис.3. Криві навантажувальної здатності для трансформаторів з охолодженням *OF*

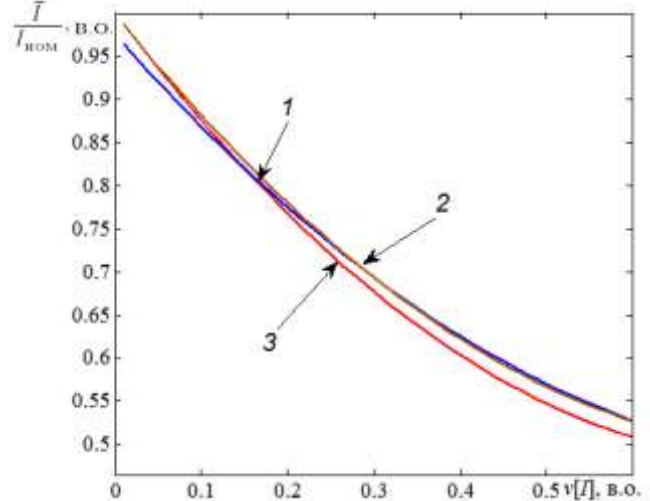


Рис.4. Криві навантажувальної здатності для трансформаторів з охолодженням *OD*

Для трансформаторів з типом охолодження *OF*(рис.3) відмінності параметрів  $\bar{I}$ ,  $\nu[I]$  у разі застосування різних термічних моделей трансформаторів становлять не більше 6% і збільшуються з збільшенням коефіцієнта варіації  $\nu[I]$ . Найбільшу навантажувальну спроможність отримуємо у разі використання 1-ої та 2-ої термічної моделі трансформаторів. Практично аналогічна відмінність параметрів  $\bar{I}$ ,  $\nu[I]$  спостерігається для трансформаторів з охолодженням типу *OD* (рис. 4), за винятком того, що ця відмінність досягає 5%. Причому найменшу навантажувальну спроможність цих трансформаторів забезпечує використання 3-ї спрощеної термічної моделі трансформатора без врахування сталої часу обмотки та параметрів трансформаторів згідно МГОСТ 14209-97.

На рис.5 наведено криві граничних значень  $\frac{\bar{I}}{I_{ном}} = f(\nu[I])$  для всіх типів трансформаторів в номінальному режимі систематичних перевантажень, які отримано ІМ за  $\alpha_{\theta} = 0,05$ ,  $\theta_{о.доп} = \theta_{о.r}$  і  $\theta_{h.доп} = \theta_{h.r}$  (величини  $\theta_{о.r}$  і  $\theta_{h.r}$  згідно таблиці 1).

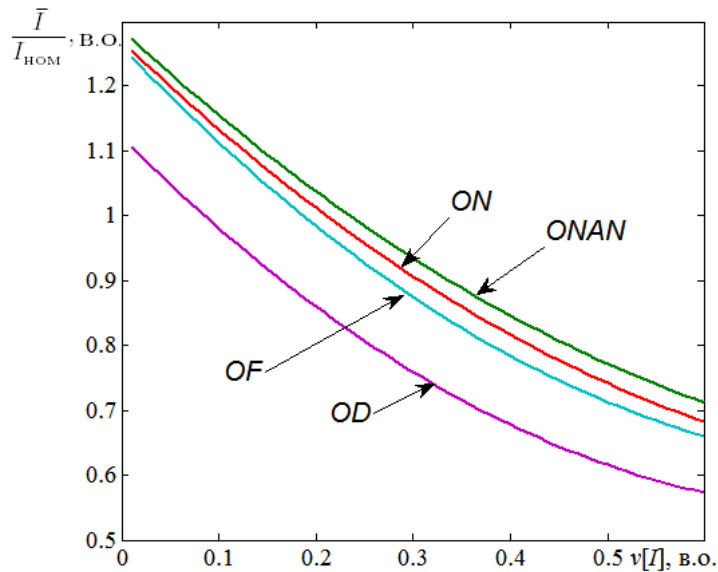


Рис.5. Криві навантажувальної здатності для всіх типів трансформаторів в номінальному режимі систематичних перевантажень

### Висновки

1. Спрощена термічна модель нагрівання трансформатора (без врахування сталої часу їх обмоток), що наведена в МГОСТ 14209-97, забезпечує достатню точність (з незначним резервом) в розрахунках теплових балансів в трансформаторах.

2. Криві допустимих параметрів навантажувального струму трансформаторів (рис. 1–4) рекомендуються до використання в інженерній практиці для вибору параметрів розподільних трансформаторів та параметрів їх режимів за умовами допустимих нагрівання.

### Перелік посилань

1. **Денисенко М.А.** Спеціальні питання електропостачання. Частина 1 [Текст] навч. посіб. / М.А. Денисенко. – К.: НТУУ «КПІ», 2009. – 288 с.
2. **Projektierungsvorschrift** “Stochastische Bemessung von Drehstromoltransformatoren nach technische -ökonomischen Kriterien / J. Hoffmann, M.A. Denysenko, H. Mund. – HG: VEB Elektroprojekt und Anlagenbau, Berlin. – PV 1 – 14. 04.85.
3. **ГОСТ 14209-85.** Трансформаторы силовые масляные общего назначения. Допустимые нагрузки.
4. **МГОСТ 14209-97.** Руководство по нагрузке силовых масляных трансформаторов. Дата введения 2002.01.01.

УДК 62-83-52.003

**О.М. Закладний, к.т.н., О.О. Закладний, к.т.н., Т.Ю. Оборонов, аспірант**  
**ОЗНАКИ АВАРІЙНИХ РЕЖИМІВ РОБОТИ СИНХРОННИХ ДВИГУНІВ**

*У роботі розглянуто ознаки аварійних режимів, які впливають на енергоефективність синхронних двигунів. Вибрані ознаки призначені для використання в системах функціонального діагностування енергоефективності синхронних двигунів*

*Ключові слова: синхронний двигун, асинхронний режим, коротке замикання, обрив фази*

**А.Н. Закладной, к.т.н., О.А. Закладной, к.т.н., Т.Ю. Оборонов, аспирант**  
**ПРИЗНАКИ АВАРІЙНЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ СИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ**

*В работе рассмотрены признаки аварийных режимов, влияющих на энергоэффективность работы синхронных двигателей. Выбранные признаки предназначены для использования в системах функционального диагностирования энергоэффективности синхронных двигателей*

*Ключевые слова: синхронный двигатель, асинхронный режим, короткое замыкание, обрыв фазы*

**A. Zakladnyi, O. Zakladnyi, T. Oboronov**

**SYMPTOMS EMERGENCY MODES OF OF SYNCHRONOUS MOTORS**

*In this work the symptoms of emergency operation that affect the energy efficiency of a synchronous motor. Selected features are intended for use in diagnosing functional efficiency synchronous motors*

*Keywords: synchronous motor, asynchronous mode, short circuit, open circuit phase*

**Вступ.** На гірничовидобувних і металургійних підприємствах синхронні двигуни (СД) працюють у важких умовах: велика кількість пилу, підвищена вологість, висока температура навколишнього середовища і часто повторюване максимальне навантаження. Такі специфічні умови експлуатації призводять до того, що аварійний вихід з ладу електродвигунів складає близько 30%. Це свідчить про недосконалість систем захисту електродвигунів, що дозволяли б вивести машину в ремонт з мінімальним економічним збитком.

**Мета роботи.** Метою роботи є визначення ознак аварійних режимів роботи синхронних двигунів

**Викладення основного матеріалу.** Асинхронний режим у синхронному електродвигуні виникає внаслідок повної або часткової втрати збудження цього двигуна. Повна втрата збудження відбувається у випадках: помилкового відключення пускача, обриву або к.з. в силовому колі обмотки збудження двигуна, пошкодження збуджувача або елементів схеми кіл збудження тощо. В залежності від характеру несправності обмотка збудження двигуна, який перейшов у асинхронний режим, може виявитися розімкнутою, замкнутою накоротко або на резистор (гасильний, для самосинхронізації або обмотки збуджувача).

Часткова втрата збудження може статися в разі роботи двигуна без автоматичного регулятора збудження і неправильних дій персоналу при перерозподілі активних і реактивних навантажень між ним та іншими працюючими двигунами, при деяких ушкодженнях в колах збудження тощо.

Фізичний процес переходу в асинхронний режим відбувається в наступній послідовності: при зникненні або значному зменшенні струму в обмотці збудження двигуна зменшуються магнітний потік збудження і відповідний йому синхронний електромагнітний момент на валу двигуна. Для деякого значення струму збудження величина синхронного



електромагнітного моменту стає меншою обертаючого моменту турбіни і двигуна, який продовжуючи залишатися в мережі, випадає із синхронізму. Для підтримки магнітного поля двигун починає споживати струм з мережі. Внаслідок порушення рівноваги між моментом, що обертає турбіни і електромагнітним (гальмівним) моментом двигуна починає збільшуватися частота обертання агрегату вище синхронної. Регулятор турбіни при цьому зменшує впуск пари в турбіну і прагне зберегти нормальну частоту обертання, внаслідок чого активне навантаження агрегату дещо знижується.

Асинхронний режим роботи двигуна супроводжується наступними змінами показань приладів: струм статора збільшується і коливається з частотою ковзання біля деякого середнього значення; напруга статора знижується тим більше, чим більше навантаження машини; в обмотці ротора протікає змінний струм, ватметр реактивної потужності вказує напрямок потужності з мережі до двигуна.

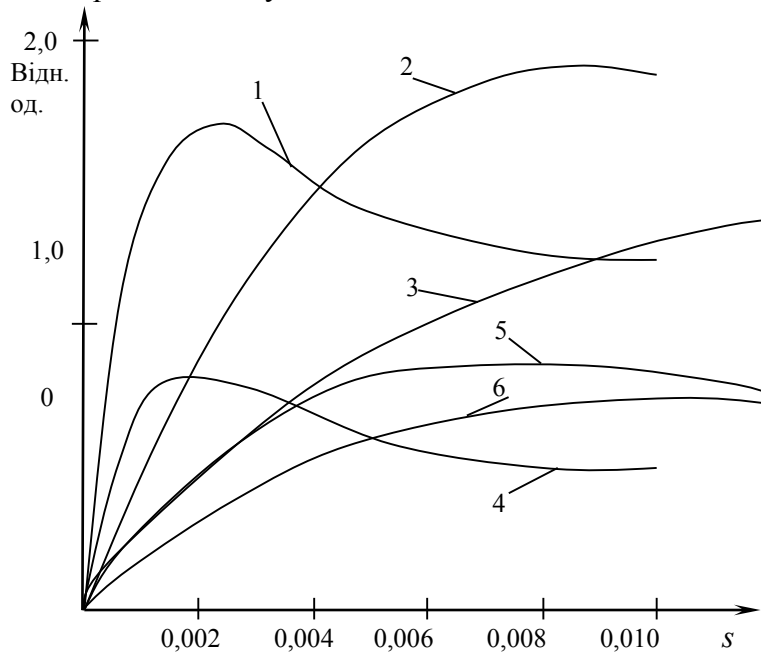


Рис.1. Розрахункові характеристики асинхронних моментів двигунів для різних станів обмотки збудження і схем підключення до мережі: 1 і 4 - ОЗД замкнута на джерело збудження, 2 і 5 - ОЗД замкнута на резистор (гасильний або самосинхронізації); 3 і 6 – для розімкнутої ОЗД

*Трифазні симетричні КЗ.* Струми фаз різко зростають (струм КЗ може перевищувати пусковий струм двигуна), фазні й лінійні напруги зменшуються. Між струмами й відповідними напругами встановлюється зсув відмінний від зсуву в нормальному режимі. Вектори струмів і напруг є симетричними й урівноваженими, у них відсутні складові зворотних і нульових послідовностей.

При зниженні напруги різко зменшується обертальний момент двигуна ( $M \equiv U^2$ ), фазні обмотки статора перегріваються й згорають. Ударні струми являють велику небезпеку – викликаючи значні зусилля між струмопровідними частинами устаткування та руйнуючи його й викликаючи нагрівання, що у багато разів перевищує термічну стійкість ізоляції

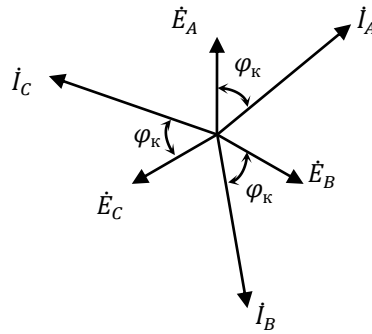


Рис. 2 Векторна діаграма ЕРС і струмів трифазного КЗ

*Двофазні (міжфазні) КЗ в одній точці.* Струми значно перевищують номінальний струм двигуна. Якщо КЗ відбувається при навантаженні, то в неушкодженій фазі протікає лише струм навантаження, а в uszkodжених фазах струм навантаження накладається на струми КЗ, збільшуючи повний струм у одній фазі та зменшуючи в іншій. Фазні напруги в місці КЗ вищі нуля, одна міжфазна напруга знижується до нуля, а значення двох інших в 1,5 рази перевищують фазну. Вектори струмів і напруг утворюють несиметричну врівноважену систему, мають складові прямої і зворотної послідовностей, але не містять складових нульової.

Результуючий момент двигуна визначається різницею моментів, обумовлених полями прямої і зворотної послідовностей. При ковзанні  $s=1$  результуючий момент дорівнює нулю. У міру росту швидкості момент двигуна залишається незначним, двигун може зупинитися і перегрітися. Найбільш важкий режим роботи двигуна настає при металічному КЗ, коли напруги прямої й зворотної послідовностей однакові й дорівнюють  $0,5U_H$ . Для мереж без компенсації різниця фазових кутів опорів навантаження й мережі не перевищує  $55 - 60^\circ$ .

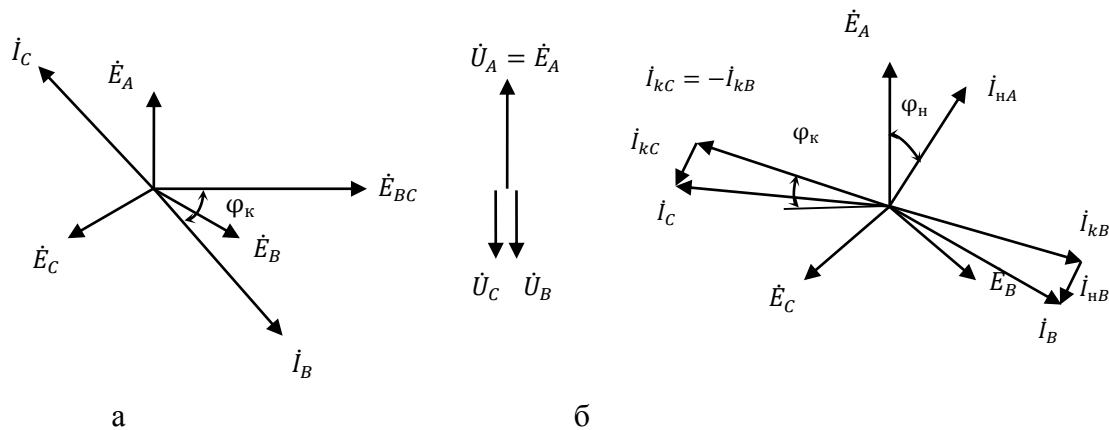


Рис. 3. Векторна діаграма ЕРС і струмів та діаграма напруг при двофазному КЗ без урахування навантаження (а), векторна діаграма ЕРС і струмів із урахуванням навантаження (б)

*Двофазні КЗ на землю.* Значення струмів uszkodжених фаз, міжфазних напруг залишаються такими само, як і при звичайному двофазному замиканні. Струм нульової послідовності відсутній. Ушкоджені фази в місці металічного КЗ вимушено набувають потенціалу землі. З'являється напруга нульової послідовності. Нейтраль системи (трансформатора) одержує відносно землі зсув  $0,5$  ЕРС, а напруга неушкодженої фази зростає до  $1,5$  ЕРС. Сильне зниження міжфазних і фазних напруг uszkodжених фаз (у місці КЗ до нуля) і поява складових нульової послідовності не лише у фазних напругах, але й струмах. Напруга між uszkodженими фазами дорівнює нулю. Напруга неушкодженої фази залишається

нормальною. Міжфазні напруги між uszkodженими фазами й неушкодженою знижуються до фазної напруги. Вектори струмів і напруг несиметричні й неврівноважені, з'являються складові прямої послідовності, зворотної і нульової

Через різке зниження напруги в місці КЗ (режим має найменше значення напруги прямої послідовності) цей вид uszkodжень після трифазного КЗ є найважчим з точки зору збереження стійкості енергосистеми й споживачів.

Обрив фази живильної мережі

*Однофазні КЗ на землю.* Характеризуються протіканням великих струмів сумірних зі струмами міжфазних КЗ. Ушкоджена фаза в місці КЗ вимушено набуває потенціалу землі. Струми й напруги несиметричні і неврівноважені, внаслідок чого з'являються складові прямих, зворотних і нульових послідовностей.

Однофазні КЗ є найчастішим видом uszkodжень у мережах із глухо заземленими нейтраліями, що характерно для мереж напругою до 1кВ. Замикання фази на землю в мережі 380 В становить небезпеку для двигуна й характеризуються протіканням значних струмів сумірних зі струмами міжфазних КЗ.

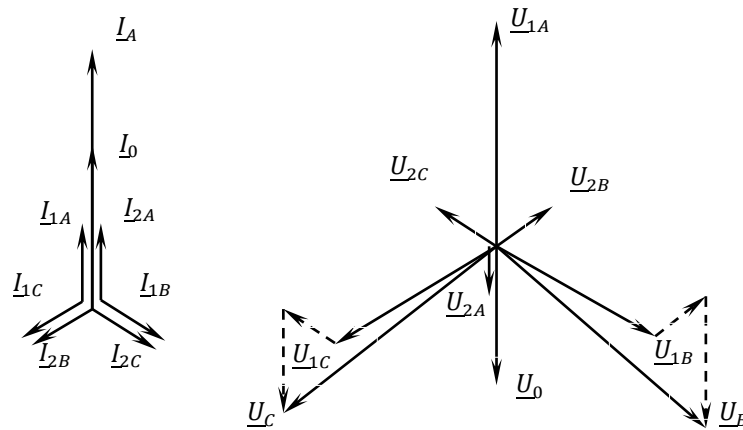


Рис. 4. Векторні діаграми струмів і напруг при однофазному КЗ трансформатора

*Однофазні виткові замикання.* Такі замикання є несиметричними uszkodженнями, що призводять до спотворення діаграми струмів і напруг. Різко зростає струм прямої послідовності, струм зворотної послідовності лишається практично без зміни. Коротке замикання всього 3-5% витків однієї фази обмотки статора СД призводить до неприпустимого перегрівання, що викликає руйнування ізоляції.

Знижується момент обертання двигуна, і він перегрівається. Ступінь зниження моменту залежить від співвідношення потужностей uszkodженого двигуна й живильної мережі, відносного числа витків, що замкнулися і т. ін. При виткових замиканнях двигун слід негайно вимкнути.

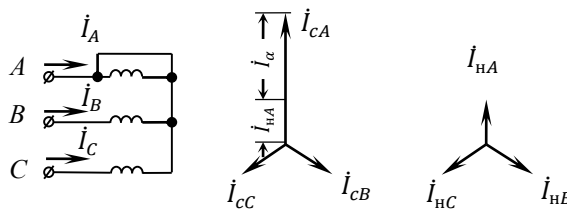


Рис. 5. Схема й векторні діаграми струмів при замиканні всіх витків фази А

*Обрив фази живильної мережі.* Дві сполучені послідовно обмотки двигуна виявляються

включеними на лінійну напругу. При загальмованому роторі напруга на неушкоджених фазах дорівнює половині лінійної, а напруга на ушкодженій фазі – нулю. Якщо втрата фази відбулася до вмикання двигуна, то пусковий струм становить 86% від пускового при трифазному живленні, тобто понад 5 раз перевищує номінальний. За короткий час такий струм перегріє обмотки. У випадку втрати фази після вмикання двигуна в роботу величина струму збільшується на 75%.

В однофазному режимі в обмотці статора протікає однофазний струм, що створює пульсуюче магнітне поле. Воно змінюється в часі, але не переміщується по колу статора. Якщо втрата фази відбулася до включення двигуна в мережу, то він не може запуститися навіть за відсутності навантаження на валу. При переході двигуна із трифазного режиму роботи в однофазний на ходу утвориться обертальний момент. Якщо швидкість двигуна близька до номінальної, обертальний момент достатній для продовження роботи з невеликим зниженням швидкості.

### **Висновок**

В роботі розглянуті ознаки аварійних режимів, які впливають на енергоефективність роботи синхронних двигунів. Вибрані ознаки призначені для використання в системах функціонального діагностування енергоефективності синхронних двигунів. На основі розглянутого матеріалу можна зробити висновок, що існує сім аварійних режимів синхронних двигунів які суттєво впливають на їх роботу. Найбільш небезпечним є асинхронний режим, оскільки тривала робота двигуна в цьому режимі може призвести до виходу з ладу робочого механізму, що потребує значних витрат на відновлення та ремонт і може створити небезпеку для обслуговуючого персоналу. Також значну небезпеку являє собою режим трифазного короткого замикання, який призводить до перегрівання та згоряння обмоток статора.

### **ЛІТЕРАТУРА**

1. Сыромятников И. А. Режимы работы асинхронных и синхронных двигателей // Под ред. Л. Г. Мамиконянца. 4-е изд., Перераб. и доп. М.: Энергоатомиздат, 1984
2. Семёнов А.С. Моделирование режима пуска синхронного двигателя электропривода насоса ГрАТ-4000 // Наука в центральной России: Научно-производственный периодический журнал. 2012. – №2. – С. 23-27.
3. Гимоян Г.Г. Релейная защита горных электроустановок / Г.Г. Гимоян. – [2-е изд.]. - М.: Недра, 1978. - 349 с.

**РОЗДІЛ В**  
**УПРАВЛІННЯ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИМИ КОМПЛЕКСАМИ**

УДК 62-83-52.003

Закладний О.М., Закладний О.О., Оборонов Т.Ю., Сівцова Т.О.  
**МОДЕЛЬ ДІАГНОСТУВАННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ СИНХРОННОГО  
ДВИГУНА**

*Розроблено методику діагностування енергоефективності синхронного двигуна, що показала високу відповідність результатів розрахунків параметрів синхронного двигуна експериментальним даним виробника. Контролюючи в реальному часі поточні експлуатаційні параметри синхронного двигуна, а також враховуючи якість напруги живлення, можливо приймати обґрунтовані рішення щодо його подальшої експлуатації.*

**Ключові слова:** Діагностична модель, діагностичні параметри, первинні діагностичні параметри, показники якості електроенергії, схема заміщення, параметри енерговикористання.

**МОДЕЛЬ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ  
СИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ**

*Разработана методика диагностирования энергоэффективности синхронного двигателя, которая показала высокое соответствие результатов расчетов параметров синхронного двигателя экспериментальным данным производителя. Контролируя в реальном времени текущие эксплуатационные параметры СД и, учитывая качество напряжения питания, возможно принимать обоснованные решения по его дальнейшей эксплуатации.*

**Ключевые слова:** Диагностическая модель, диагностические параметры, первичные диагностические параметры, показатели качества электроэнергии, схема замещения, параметры энергопотребления.

**SYNCHRONOUSMOTORENERGY-EFFICIENTDIAGNOSTICMODEL**

*The technique of diagnosing energy efficiency synchronous motor, which showed high correlation of the results of calculations of parameters of synchronous motor, the experimental data of the manufacturer. By monitoring the real-time current operating parameters of DM and, given the quality of the supply voltage may make informed decisions about its continued operation.*

**Key words:** Diagnostic model, diagnostic parameters, the primary diagnostic parameters, indicators of the quality of electric power, the equivalent circuit, the power consumption.

**Вступ.** Одним з актуальних завдань енергозбереження є підвищення ефективності електроспоживання електромеханічних систем з синхронним електроприводом (СЕП). Ці системи мають значні резерви економії енергії, оскільки оснащені ним машини і установки є одними з найбільш енергоємних споживачів електроенергії [1].

**Метою роботи** є розробка методики діагностування енергоефективності СЕП, яка за рахунок контролю в реальному часі його поточних експлуатаційних параметрів дозволяє визначати неефективні режими роботи і приймати обґрунтовані рішення щодо його подальшої експлуатації.

**Матеріали і результати досліджень.** Розроблена діагностична модель для визначення енергетичної ефективності роботи СЕП враховує якість напруги живлення.

Як первинні діагностичні ознаки приймаємо миттєві значення напруг  $u(t)$  і струмів  $i(t)$ . Миттєві значення струму і напруги з урахуванням вищих гармонік

$$u(t) = U_0 + U_{1m} \sin(\alpha t + \psi_{u1}) + U_{2m} \sin(2\alpha t + \psi_{u2}) + \dots + U_{km} \sin(k\alpha t + \psi_{ku}),$$

$$i(t) = I_0 + I_{1m} \sin(\alpha t + \psi_{i1}) + I_{2m} \sin(2\alpha t + \psi_{i2}) + \dots + I_{km} \sin(k\alpha t + \psi_{ku}).$$

Формування діагностичних ознак. Визначається частота  $f$ . Діюче значення напруги та

струму:  $U = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2(t) dt}$ ,  $I = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2(t) dt}$ .

Діюче значення напруги і струму для гармонічних коливань:

$$U = \frac{1}{\sqrt{2}} U_m \approx 0,707 U_m, \quad I = \frac{1}{\sqrt{2}} I_m \approx 0,707 I_m,$$

де  $U_m = \max(u(t))$ ,  $I_m = \max(i(t))$  амплітудне значення напруги та струму відповідно.

Діюче значення напруги і струму з урахуванням вищих гармонік:

$$U = \sqrt{U_0^2 + U_1^2 + U_2^2 + \dots + U_k^2}, \quad I = \sqrt{I_0^2 + I_1^2 + I_2^2 + \dots + I_k^2}.$$

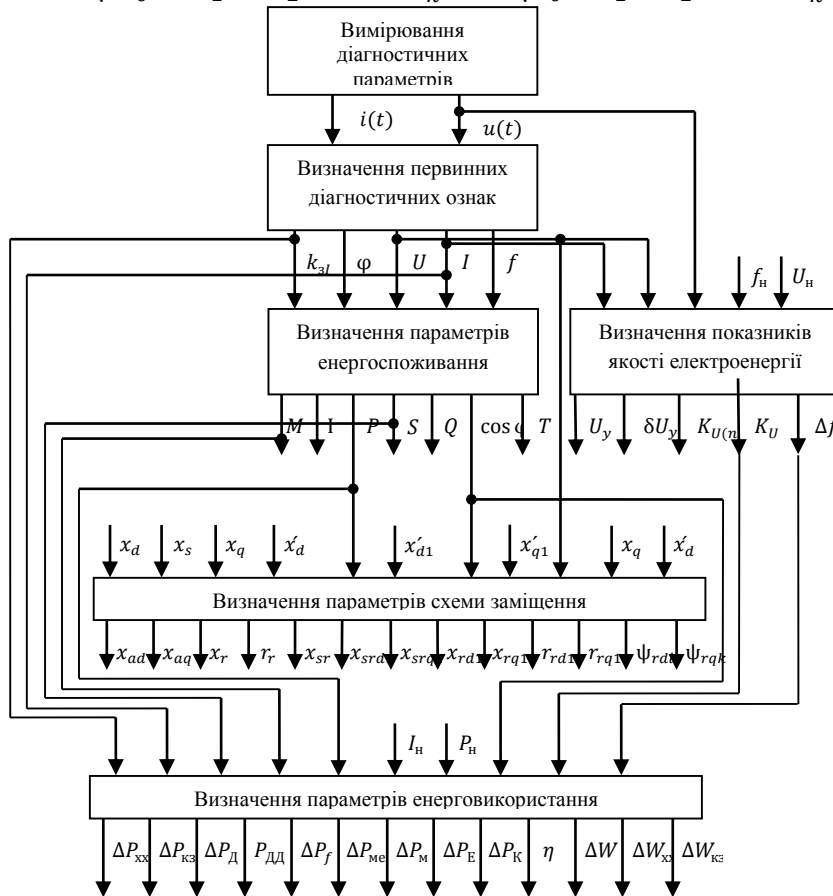


Рис. 1 Структурна схема моделі діагностування енергоефективності синхронного двигуна

Діюче значення напруги і струму для гармонічних коливань:

$$U = \frac{1}{\sqrt{2}} U_m \approx 0,707 U_m, \quad I = \frac{1}{\sqrt{2}} I_m \approx 0,707 I_m,$$

де  $U_m = \max(u(t))$ ,  $I_m = \max(i(t))$  амплітудне значення напруги та струму відповідно.

Діюче значення напруги і струму з урахуванням вищих гармонік:

$$U = \sqrt{U_0^2 + U_1^2 + U_2^2 + \dots + U_k^2}, \quad I = \sqrt{I_0^2 + I_1^2 + I_2^2 + \dots + I_k^2}.$$

Визначається коефіцієнт завантаження по струму двигуна  $k_{3I} = \frac{I}{I_H}$ .

Визначаються показники якості електричної енергії (ГОСТ 13109-97).

Вимірюється усталене відхилення напруги  $\delta U_y$ . Для кожного  $i$ -го спостереження за період часу, що дорівнює 24 год, обчислюється діюче значення кожної міжфазної напруги основної частоти  $U_{(1)i} = \frac{1}{3} (U_{ABi} + U_{BCi} + U_{CAi})$ .

Обчислюється значення усередненої напруги  $U_y$  як результат усереднення  $N$  спостережень напруг  $U_{(1)i}$  за інтервал часу 1 хв за формулою  $U_y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N U_{(1)i}^2}{N}}$ .

Обчислюється значення усталеного відхилення напруги  $\delta U_y$  у відсотках:  $\delta U_y = \frac{U_y - U_n}{U_n} \cdot 100$ .

Несинусоїдальність напруги. Вимірювання коефіцієнта  $n$ -ї гармонійної складової напруги  $K_{(n)i}$  здійснюється для міжфазних (фазних) напруг. Для кожного  $i$ -го спостереження за період часу, що дорівнює 24 год, визначається діюче значення напруги  $n$ -ї гармоніки  $U_{(n)i}$ .

Обчислюється значення коефіцієнта  $n$ -ї гармонійної складової напруги  $K_{U(n)i}$  у відсотках як результат  $i$ -го спостереження  $K_{U(n)i} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (K_{U(n)i})^2}{N}}$ , де  $N \geq 9$ .

Обчислюється значення коефіцієнта спотворення синусоїдальності кривої напруги  $K_{U_i}$  у відсотках як результат  $i$ -го спостереження  $K_U = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N K_{U_i}^2}{N}}$ , де  $N \geq 9$ .

Вимірювання відхилень частоти  $\Delta f$  здійснюються таким чином:  $\Delta f = f_y - f_n$ , де  $f_n$  – номінальне значення частоти, Гц.

Визначаються діагностичні параметри енергоефективності – параметри процесу енергоспоживання. Визначається кут зсуву  $\varphi$  в кожній фазі двигуна. При роботі електропривода в сталому режимі зі сталими або повільно змінними навантаженнями середнє значення коефіцієнта потужності:  $\cos \varphi = \frac{W_a}{W_n} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i t_i}{\sum_{i=1}^n S_i t_i}$ .

Активна потужність (середнє за період значення миттєвої потужності):

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T p(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^T u(t)i(t) dt.$$

Споживані повна  $S$ , активна  $P$  і реактивна  $Q$  потужності двигуна:

$$S = S_A + S_B + S_C = 3U_\phi I = \sqrt{3}UI; P = P_A + P_B + P_C = 3U_\phi I \cos \varphi = \sqrt{3}UI \cos \varphi;$$

$$Q = Q_A + Q_B + Q_C = 3U_\phi I \sin \varphi = \sqrt{3}UI \sin \varphi.$$

Потужність спотворень обумовлена протіканням гармонік струму, що не збігаються за частотою з напругою мережі. Середнє арифметичне миттєвої потужності, пов'язаної з цими гармоніками, за період також дорівнює нулю, однак і вони викликають додаткові втрати енергії в мережі. Середня потужність спотворення двигуна  $T = \sqrt{S^2 - P^2 - Q^2}$ .

**Вторинні діагностичні ознаки.** Визначення параметрів схеми заміщення для СД, представленої в осях  $d$  і  $q$  (рис. 2) [2].



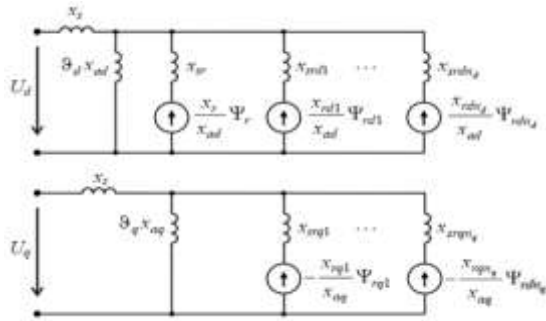


Рис. 2. Схема заміщення синхронного двигуна

Реактивний опір взаємної індукції по осях  $d$  і  $q$   $x_{ad} = x_d - x_s$ ,  $x_{aq} = x_q - x_s$ .

Активний та індуктивний опір контуру збудження

$$x_r = \frac{x_{ad}^2}{x_d - x_d'} r_r = \frac{x_r}{\omega_s T_r} x_{sr} = x_r - x_{ad} = x_{ad} \left( \frac{x_{ad}}{x_d - x_d'} - 1 \right).$$

Опір розсіяння демпферних контурів в осях  $d$  і  $q$  визначається на основі схем заміщення

$$x_{srd1} = \frac{1}{\frac{1}{x_{d1}' - x_s} - \frac{1}{x_{ad}} - \frac{1}{x_{sr}}}, x_{srq1} = \frac{1}{\frac{1}{x_{q1}' - x_s} - \frac{1}{x_{aq}}}, x_{rd1} = x_{ad} + x_{srd1}, x_{rq1} = x_{aq} + x_{srq1}.$$

Активні опори еквівалентних демпферних контурів оцінюються на основі перехідних параметрів двигуна за формулами  $r_{rd1} = \frac{(x_{rd1} x_d - x_{ad}^2) x_{d1}'}{\omega_s x_d x_d' T_{d1}}$ ,  $r_{rq1} = \frac{x_{rq1} x_q - x_{aq}^2}{\omega_s x_q T_{q1}}$ .

Формула для розрахунку  $r_{rd1}$  виконується, якщо дотримано співвідношення  $r_{rd1} \gg r_r$ , що справедливо для потужних явнополюсних синхронних машин і може розглядатися як припущення для неявнополюсних синхронних машин у разі наближеного заміщення ротора двома еквівалентними демпферними контурами.

Визначаються початкові значення потокозчеплень обмотки збудження і демпферних контурів  $\psi_{r di} = \frac{x_{ad}}{x_{r di}} E_{\delta q}$ ,  $\psi_{r q k} = \frac{x_{aq}}{x_{r q k}} E_{\delta d}$ .

Визначення робочих параметрів і побудова статичних характеристик СД.

Корисний момент на валу  $M_2 = \frac{P_2}{\Omega}$ , при  $\Omega = 2\pi n = \text{const}$  лінійно залежить від  $P_2$ .

Момент холостого ходу  $M = \frac{\Delta P_{\text{мех}} + \Delta P_f + \Delta P_d}{\Omega}$ .

Електромагнітний момент  $M = \frac{P}{\Omega} = \frac{P_2 + \Delta P_{\text{мех}} + \Delta P_f + \Delta P_d}{\Omega}$ .

Повний струм визначається активною та реактивною складовими. Перша створює момент двигуна (активну потужність), друга – магнітний потік [3].

Електромагнітна потужність на валу СД  $P = M \omega$ .

Паразитні втрати визначаються втратами на гістерезис і вихрові струми в режимі холостого ходу і під навантаженням. Вони залежать від навантаження  $\Delta P_d = \Delta P_{\text{дн}} k_2^2$ , де  $\Delta P_{\text{дн}} = 0,005 P_H$  – додаткові втрати в номінальному режимі.

Додаткові втрати в обмотках і сердечниках двигуна обумовлені несиметрією  $\Delta P_{\text{НСМ}}$  і несинусоїдальністю  $\Delta P_{\text{НС}}$  напруги живлення  $\Delta P_{\text{дд}} = \Delta P_{\text{НСМ}} + \Delta P_{\text{НС}}$ .

Втрати потужності на збудження, Вт  $\Delta P_f = \frac{r_f I_f^2}{\eta_f} = \frac{U_f I_f}{\eta_f}$ .

Механічні втрати потужності  $\Delta P_{\text{мех}}$  складаються з втрат на вентиляцію машини і на тертя в підшипниках ротора і охолоджуючий газ, щітках і контактних кільцях. Механічні втрати в загальному вигляді залежать від частоти обертання ротора  $\Delta P_{\text{мех}} = C_1 n^\alpha$ .

Електромагнітна потужність  $P_{\text{мех}} = \Delta P_1 - \Delta P_f - \Delta P_{\text{мех}} - \Delta P_d$ .

Магнітні втрати потужності  $\Delta P_m$ , що складаються з втрат на гістерезис (перемагнічування) і на вихрові струми  $\Delta P_m = \Delta P_v + \Delta P_h = C_2 f_1^{1,5}$ .

Електричні втрати потужності в обмотці якоря, Вт,  $\Delta P_E = mrI^2$ .

Втрати в живильному кабелі залежать від опору дроту  $R_{\Pi}$  і повного струму  $I_{\Pi}$ :

$$\Delta P_K = 3I_{\Pi}^2 R_{\Pi}$$

Повні або сумарні втрати потужності в машині

$$\Sigma \Delta P = \Delta P_f + \Delta P_{\text{мех}} + \Delta P_d + \Delta P_m + \Delta P_E + \Delta P_K$$

Постійні втрати або втрати холостого ходу  $\Delta P_{\text{хх}} = \Delta P_f + \Delta P_{\text{мех}} + \Delta P_m$ .

Коефіцієнт завантаження синхронного двигуна  $k_3 = \frac{P_2}{P_{2H}} = \frac{I}{I_H}$ .

Змінні втрати або втрати короткого замикання  $\Delta P_{\text{кз}} = mrk_3^2 I_H^2 = k_3^2 \Delta P_{\text{кн}}$ .

Залежність ККД від коефіцієнтів завантаження  $k_3$  (рис. 3) і потужності  $\cos \varphi$ :

$$\eta = 1 - \frac{\Delta P_{\text{хх}} + k_3^2 \Delta P_{\text{кн}}}{k_3 S_H \cos \varphi + \Delta P_{\text{хх}} + k_3^2 \Delta P_{\text{кн}}}$$

Коефіцієнт погіршення потужності через несиметрію напруги, у відносних одиницях:

$$k_P = \frac{100 - k_{2U}^2}{100}$$

Номинальна потужність з урахуванням несиметрії напруги:  $P_H' = P_H k_P$ .

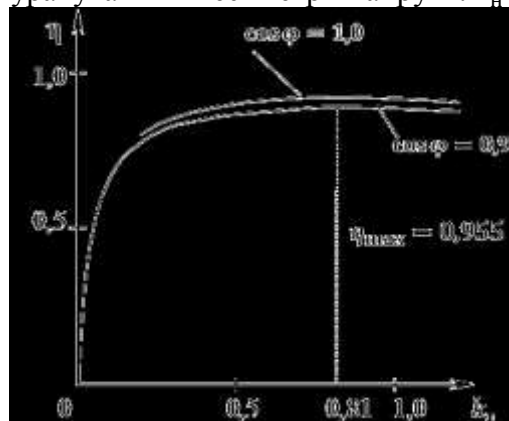


Рис. 3 Залежність ККД від коефіцієнтів завантаження і потужності

Коефіцієнт завантаження СД за потужністю:  $k_{3P} = \frac{P}{P_H} = \frac{P}{P_H k_P}$ .

Втрати енергії за цикл  $T_{\text{ц}} \Delta W = \int_0^{T_{\text{ц}}} \Delta P dt = \int_0^{T_{\text{ц}}} \Delta P_{\text{хх}} dt + \int_0^{T_{\text{ц}}} \Delta P_{\text{кз}} dt = \Delta W_{\text{хх}} + \Delta W_{\text{кз}}$ , де  $\Delta W_{\text{хх}}, \Delta W_{\text{кз}}$  – втрати енергії, обумовлені відповідно постійними і змінними втратами потужності.

При роботі двигуна з циклічними навантаженнями втрати енергії

$$\Delta W = \int_0^{T_{\text{ц}}} \Delta P(t) dt \approx \sum_{i=1}^n \Delta P_i t_i,$$

де  $\Delta P_i, t_i$  – втрати потужності і час роботи при навантаженні  $k_{3i} = \frac{I_i}{I_H}$ ;  $n$  – число значень навантаження на окремих ділянках;  $\sum_{i=1}^n t_i = T_{\text{ц}}$  – тривалість циклу.

Енергія, що споживається з мережі за цикл виробничого механізму,  $W = \int_0^{T_{\text{ц}}} \Delta P(t) dt$ .

Перевірка методики здійснюється для двигунів серії СД2 основного виконання, типу СД2-85/45-604. Ця серія характеризується стабільними параметрами двигунів. У розрахунках прийнято, що двигун живиться номінальною напругою стандартної частоти. Результати

перевірки наведено в табл. 1.

Таблиця 1 Результати розрахунків залежностей ККД і коефіцієнта потужності від завантаження

$K_3$		0,5	0,75	1,0	1,25
Паспортні дані		91,2	95,4	95,2	92,3
КПД	Значення	91,8	95,2	95,0	91,7
	Похибка, %	-0,65	0,21	0,21	0,65
Паспортні дані		0,82	0,91	0,9	0,88
cosφ	Значення	0,79	0,89	0,9	0,85
	Похибка, %	3,65	2,2	0,00	3,41

**Висновки.** Аналітична перевірка і результати розрахунків на ЕОМ в середовищі MATLAB залежностей ККД, коефіцієнта потужності і робочих параметрів СД промислової серії СД2 показали високу відповідність результатів розрахунків експериментальним даним виробника. Відносна похибка розрахунку параметрів і характеристик СД за методикою функціонального діагностування не перевищує 7%, що цілком достатньо для інженерної практики.

#### Література

1. Закладной О.А. Функциональнодиагностирование энергоэффективности электромеханических систем: Монография / О.А. Закладной. – М.: Издательство «Либра», 2013. – 195 с.
2. Мелешкина Г.А. Устойчивость энергосистем. / Мелешкина Г.А., Меркурьев Г.В. // Монография. Книга 1: СПб.: НОУ «Центр подготовки кадров энергетики», 2006. – 369.
3. Сыромятников И. А. Режимы работы синхронных и синхронных двигателей // Под ред. Л. Г. Мамиконянца. 4-е изд., Перераб. и доп. М.: Энергоатомиздат, 1984.

УДК 62-503

**О. В. Данілін, О.М. Чугунов, К.С. Осипова**

**АДАПТИВНА СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ ВІТРОГЕНЕРАТОРНОЮ  
УСТАНОВКОЮ З СИНХРОННИМ ГЕНЕРАТОРОМ.**

*У даній статті досліджується управління вітряною електростанцією, як ізольованим джерелом живлення. Для управління була прийнята адаптивна система управління. Адаптивне управління полягає в зміні властивостей системи залежно від заданих параметрів і попередньої динамічної поведінки системи. Тому такий алгоритм особливо ефективний для нелінійних систем. У досліджуваній системі контролюються напруга і частота на виході генератора, шляхом зміни напруги обмотки ротора і перемикання швидкості коробки передач. Математична модель імітує динамічну поведінку горизонтально-осьової турбіни, і ґрунтується на дискретизації повітряного потоку. Було доведено, що адаптивна система управління забезпечує необхідний контроль вихідних змінних під дією зовнішніх факторів. Можна зробити висновок, що система управління є надійною і придатною для вітрових електростанцій з точки зору швидкості реакції на зміну параметрів.*

*Ключові слова: Система управління, синхронний генератор, вітрогенератор, адаптивне управління.*

**А. В. Данилин, А.Н. Чугунов, Е.С. Осипова**

**АДАПТИВНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ВЕТРОГЕНЕРАТОРНОЙ  
УСТАНОВКОЙ С СИНХРОННЫМ ГЕНЕРАТОРОМ.**

*В данной статье исследуется управление ветряной электростанцией, как изолированным источником питания. Для управления была принята адаптивная система управления. Адаптивное управление заключается в изменении свойств системы в зависимости от заданных параметров и предварительного динамического поведения системы. Поэтому такой метод особенно эффективен для нелинейных систем. В исследуемой системе контролируются напряжение и частота на выходе генератора, путем изменения напряжения обмотки ротора и переключения скорости коробки передач. Математическая модель имитирует динамическое поведение горизонтально-осевой турбины, и основывается на дискретизации воздушного потока. Было доказано, что адаптивная система управления обеспечивает необходимый контроль выходных переменных под действием внешних факторов. Можно сделать вывод, что система управления является надежной и пригодной для ветровых электростанций с точки зрения скорости реакции на изменение параметров.*

*Ключевые слова: Система управления, синхронный генератор, ветрогенератор, адаптивное управление.*

**A. Danilin, A. Chugunov, E. Osipova**

**ADAPTIVE CONTROL SYSTEM OF WINDGENERATOR WITH SYNCHRONOUS  
GENERATOR.**

*This article examines the control system of wind power as an isolated power supply. To control adopted adaptive control system. Adaptive control system is to change the properties of the system based on pre-defined parameters and dynamic behavior of the system. Therefore, this algorithm is particularly effective for nonlinear systems. In the studied system are controlled voltage and frequency at the output of the generator by changing the rotor winding voltage and switching speed*

*gearbox. A mathematical model simulating the dynamic behavior of horizontal-axis turbines, and is based on sampling air flow. It has been shown that adaptive control system provides the necessary control output variables under the influence of external factors. It can be concluded that the control system is robust and suitable for wind power in terms of responsiveness to changing parameters.*

*Keywords: Control system, synchronous generator, wind turbine, adaptive control.*

У даній статті досліджується управління вітряною електростанцією, як ізольованим джерелом живлення. Установа складається з вітрових турбін, які з'єднані з синхронним генератором через коробку передач, і системи управління. Запропоновано моделі вітряних турбін і генератора. Для управління була прийнята адаптивна система управління.

Вітрові електростанції виробляють електроенергію за рахунок енергії переміщення повітряних мас. Основними частинами вітрової електростанції є вітрова турбіна, генератор і система управління. Вітрова турбіна перетворює кінетичну енергію вітру в механічну енергію обертання ротора, потім генератор перетворює цю енергію в електричну.

Алгоритм управління повинен зменшувати вплив зміни швидкості вітру і зміни електричного навантаження. Адаптивне управління полягає в зміні властивостей системи залежно від заданих параметрів і попередньої динамічної поведінки системи. Тому такий алгоритм особливо ефективний для нелінійних систем. У досліджуваній системі контролюються напруга і частота на виході генератора, шляхом зміни напруги обмотки ротора і перемикання швидкості коробки передач.

#### **Модель горизонтально-осьової вітрової турбіни.**

Математична модель імітує динамічну поведінку горизонтально-осьової турбіни, і ґрунтується на дискретизації повітряного потоку. Розглядаються аеродинамічні характеристики лопатей в залежності від кута припливного потоку. Тяга і крутний момент діють на лопаті  $dr$  на відстані  $r$  від ротора:

$$\begin{cases} dT = \rho \pi r \sigma (1 - a)^2 V_0^2 C_L (\cos \phi / \sin^2 \phi) [1 + (C_D / C_L) \tan \phi] dr \\ dT = \rho \pi r^2 \sigma (1 + a)^2 \Omega r^2 C_L (\cos \phi / \sin^2 \phi) [1 - (C_D / C_L) (1 / \tan \phi)] dr \end{cases} \quad (1)$$

де  $\sigma = A_b / A$  співвідношення міцності;  $A$  і  $A_b$  ротор і загальна площа лопаті, відповідно;  $\rho$ ,  $a$ ,  $a'$ , представляють щільність повітря, осьові і тангенціальні індуковані коефіцієнти швидкості і кута припливу відповідно. Нарешті,  $\Omega$  це кутова швидкість ротора,  $C_L$  і  $C_D$  відповідно, підйомна сила і опір лобового аеродинамічного профілю та початкова швидкість вітру  $V_0$ . Використовуючи формулу. (1), крутний момент вітрової турбіни та потужності, відповідно,

$$\begin{aligned} Q_T &= \int_{R_{min}}^{R_{max}} dQ \\ P &= \Omega Q_T \end{aligned} \quad (2)$$

де  $R_{min}$  та  $R_{max}$  являють собою внутрішній і зовнішній радіуси ротора, відповідно. Коефіцієнт потужності вітрових турбін оцінюється за формулою.

$$C_p = P / (1/2) \rho A V_0^3 \quad (3)$$

У даній роботі застосовується трилопатева вітрова турбіна з горизонтальною віссю обертання. Її зовнішні ( $R_{max}$ ) і внутрішні ( $R_{min}$ ) радіуси ротора 5 м и 0,5 м відповідно. Стандартні умови:  $V_0 = 10$  м/с;  $P = 22$  кВт; співвідношення швидкостей  $A = 0.5 \Omega D_{max} / V_0 = 7$ .

#### **Модель синхронного генератора**

Теоретична модель збалансованої обмотки для статора і ротора разом із збалансованим зовнішнім навантаженням дозволяють здійснювати фазовий аналіз синхронного генератора. Отже, можна вивести рівняння для обмоток статора і ротора в системі координат d-q:

$$\begin{cases} v_f = r_f i_f + L_{ff}(di_f/dt) - (3/2)L_{af}(di_d/dt) \\ v_d = -r_a i_d + L_{af}(di_f/dt) - L_d(di_d/dt) + L_q i_q \omega \\ v_q = -r_a i_q - L_q(di_q/dt) + (L_{af} i_f - L_d i_d) \omega \end{cases} \quad (4)$$

де  $r_a$  і  $r_f$  це внутрішній опір статора і ротора, відповідно,  $L_d$  і  $L_q$  це синхронні індуктивності відповідно до вісей d та q.  $L_{af}$  взаємна індуктивність обмоток статора і ротора,  $L_{ff}$  це самоіндукція ротора,  $\omega$ - кутова частота;  $v_f$  і  $i_f$  напруга і струм обмотки ротора,  $v_d, v_q, i_d$  змінні зв'язані з фазою напруги і струму.

**Адаптивна система управління.**



Рисунок 1. Схема адаптивного управління

Схема адаптивного управління зображена на рис. 1. Система являє фізичну систему, яка може бути чисельно змодельована за допомогою відповідної математичної моделі. Оцінка параметра є невід'ємною частиною адаптивного алгоритму. Справді, шляхом подання вхідних і вихідних даних система оцінки параметрів дає точні лінійні моделі в кожен момент часу. Закон керування визначає необхідні вхідні змінні управління на основі значень на виході і їх порівнянні згідно з розрахунком.

У наступних підрозділах описаний алгоритм моделювання вітроелектростанції. Схема управління закону застосовуватиметься до лінеаризованої моделі. Загальний вигляд керованої системи може бути представлений у виді змінних:

$$X = f(X, U) \quad (5)$$

де  $X$  і  $U$  являють собою вектори контрольованих і керуючих змінних відповідно. Рівняння першого порядку розкладене в ряд Тейлора при  $X = 0$  і  $U = U_0$ .

$$X = CX + D\Delta U \quad (6)$$

$$\text{Де, } C = \begin{bmatrix} \frac{df_1}{dx_1} & \frac{df_1}{dx_2} & \dots & \frac{df_1}{dx_n} \\ \frac{df_2}{dx_1} & \frac{df_2}{dx_2} & \dots & \frac{df_2}{dx_n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{df_n}{dx_1} & \frac{df_n}{dx_2} & \dots & \frac{df_n}{dx_n} \end{bmatrix}, D = \begin{bmatrix} \frac{df_1}{dU_1} & \frac{df_1}{dU_2} & \dots & \frac{df_1}{dU_n} \\ \frac{df_2}{dU_1} & \frac{df_2}{dU_2} & \dots & \frac{df_2}{dU_n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{df_n}{dU_1} & \frac{df_n}{dU_2} & \dots & \frac{df_n}{dU_n} \end{bmatrix} \quad (7)$$

Слід зазначити, що рівняння (6) справедливо тільки при нескінченно малих  $X$  і  $\Delta U$ .

Рівняння (6) може бути апроксимоване з урахуванням тимчасового інтервалу між  $t - \Delta t$  та  $t$ :

$$(8)$$

$$X_t = A_{t-\Delta t}X_{t-\Delta t} + B_{t-\Delta t}\Delta U_{t-\Delta t}$$

Класичні системи контролю включають використання математичних або емпіричних моделей керованої системи, наприклад, передаточної функції. З іншого боку, справжня методика оцінки А і В складається на основі вхідних і вихідних даних. Алгоритм найменших квадратів в рекурсивній формі використовується в якості онлайн оцінки параметрів А і В у першу чергу через свою простоту і дуже високу швидкість збігання.

Метою адаптивного управління є зменшення асимптотичної похибки до нуля.

$$\xi_t = X_t - X_t^* \quad (9)$$

де  $X^*$  це бажане значення у момент часу  $t$ . Похибку у момент часу  $t + \Delta t$  можна виразити як:

$$\xi_{t+\Delta t} = \theta_t \xi_t - X_{t+\Delta t}^* \quad (10)$$

При обмеженні  $\xi_{t+\Delta t} \rightarrow 0$  рівняння (10) можна записати у вигляді:

$$X_{t+\Delta t}^* = A_t X_t + B_t U_t \quad (11)$$

### Результати

У представленій роботі, модель починає роботу та досягає постійного режиму роботи. Під час пуску система управління гарантує необхідну послідовність станів системи для забезпечення безпечного режиму роботи.

У стаціонарних умовах, система управління протидіє зовнішнім впливам, щоб зберегти бажаний стаціонарний стан системи.

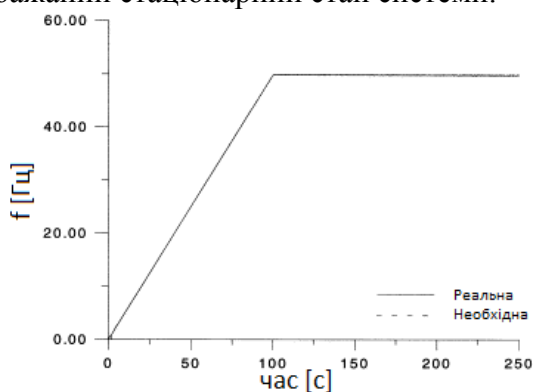


Рисунок 2. Вихідна частота

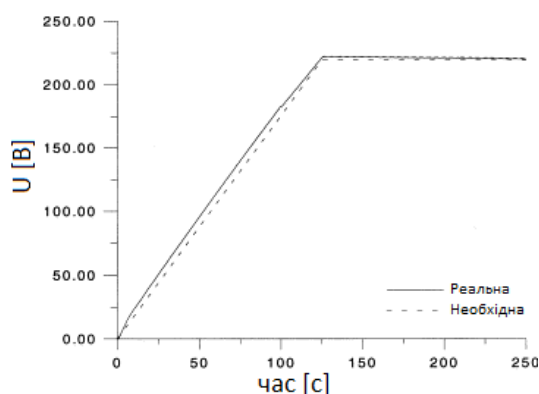
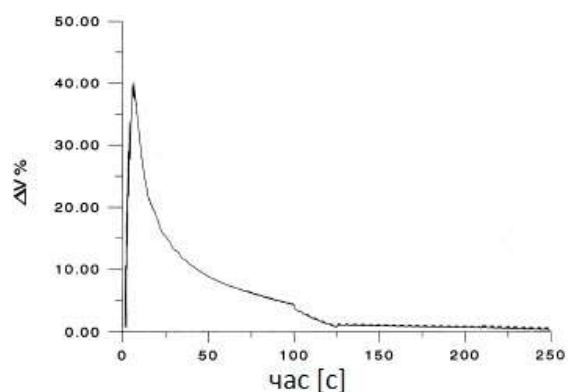
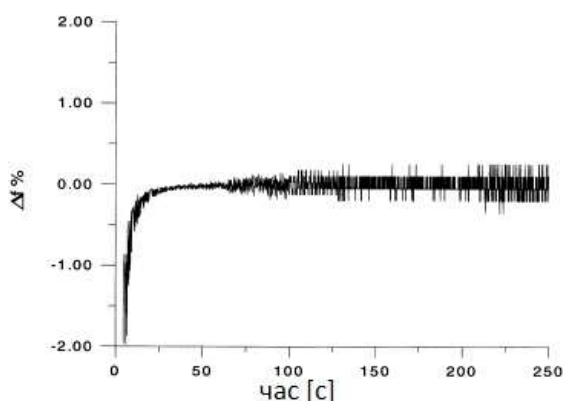


Рисунок 3. Вихідна напруга



Змінними, що регулюються є напруга та частота, а регулюючими змінними є напруга ротора  $v_f$  та статичний коефіцієнт передачі коробки передачі. Змінюються швидкості вітру від 10 до 11 м / с у інтервалі часу  $t = 150$  с до  $t = 180$  с. Порушення опору навантаження характеризується аналогічною хвилею, що зростає з 14 до 20 Ом у інтервалі часу  $t = 200$  сек до  $t = 230$  сек (див. також рис. 2 та 3). На Рис. 4 та 5 зображені частота та напруга на виході в залежності від часу.

На цих малюнках, пунктирні і суцільні лінії представляють, відповідно, обчислення частоти і коливання напруги. З цих даних, можна побачити, що цільовий вихід майже ідеально відповідає розрахунковим величинам у кожний момент часу. Такий же висновок можна зробити з рис. 4 і 5, які показують відсоток відстеження помилки за частотою і напругою вихідного сигналу відповідно. Зокрема, рис. 4 показує, що відсоток похибки частоти обмежений до  $-0,5$  і  $+0,5\%$ . Рис. 5 показує, що відсоток похибки вихідної напруги значний тільки в першій частині пуску і стає дуже малим при стаціонарному режимі.

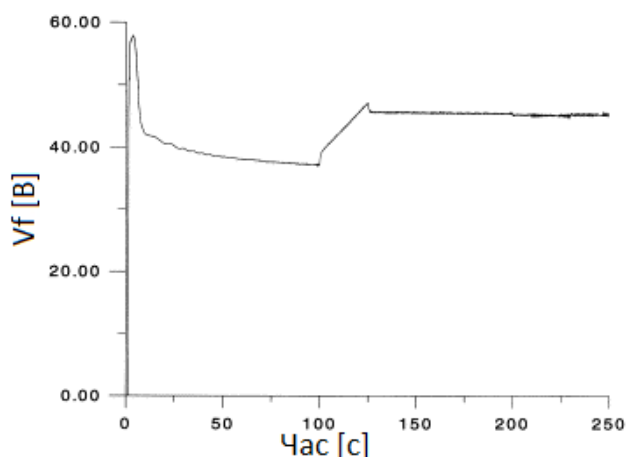


Рисунок 6. Напруга ротора

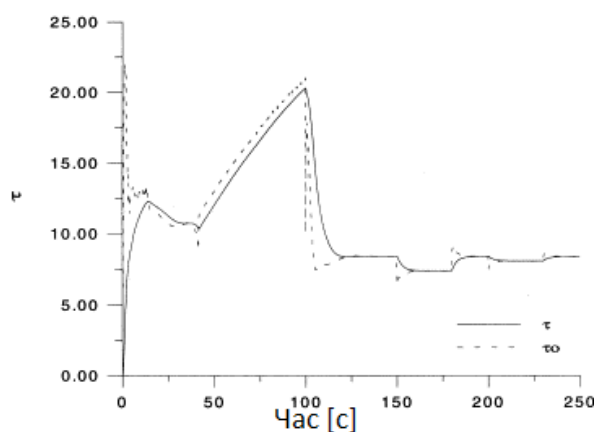


Рисунок 7. Передаточне відношення коробки передач

Рис.6 показує зміну напруги ротора  $v_f$  в часі і рис. 7 показує передаточне відношення коробки передач  $\tau_0$  (пунктирна лінія) і миттєві значення передавального відношення  $\tau$  (суцільна лінія) залежно від часу. Розбіжність доводить адаптивну природу і метод управління, який автоматично налаштовується, для врахування усіх нелінійностей і тимчасових відхилень системи контролю.

### Висновки

У даній роботі був використаний метод контролю продуктивності вітроелектростанції, яка виконана у вигляді ізольованої електростанції. Було доведено, що адаптивна система управління забезпечує необхідний контроль вихідних змінних під дією зовнішніх факторів. Можна зробити висновок, що система управління є надійною і придатною для вітрових електростанцій з точки зору швидкості реакції на зміну параметрів, врівноваження порушення стану і обмеження максимальної похибки.

### Список літератури

1. Dambrosio, L., and Fortunato, B., 1999, "One-Step-Ahead Adaptive Control of a Wind-Driven, Synchronous Generator System," *Energy*, 24, pp. 9–20.
2. Ефимов Д. В., Робастное и адаптивное управление нелинейными колебаниями. — СПб.: Наука, 2005. — 314с.
3. Тюкин И. Ю., Терехов В. А., Адаптация в нелинейных динамических системах, (Серия: Энергетика: от прошлого к будущему), Санкт-Петербург: ЛКИ, 2008. - 384 с.
4. K. J. Astrom and B. Wittenmark, *Adaptive Control*, Addison-Wesley, 1989, 2d ed. 1994.
7. Wilson RE, Lissaman PBS, Walker SN. *Aerodynamic performance of wind turbines*. Oregon State University, 1976.



8. Holme O. A contribution to the aerodynamic theory of the vertical axis wind turbine. Proceedings, International Symposium on Wind Energy Systems. Cambridge, U.K., 1976.- 4 p.
9. Strickland JH, Webster BT, Nguyen T. A Vortex Model of Darrieus Turbine: An Analytical and Experimental Study. ASME -WA/FE-6, 1979. - 79 p.
10. Patel, Mukund R. Wind and solar power systems. — Boca Raton: CRC Press Corp, 1999. — 351 p.

УДК 62-533.65

**А.В. Торопов, С.С. Великий, Добровольський А.В.**  
**ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ**  
**ТЕМПЕРАТУРЫ ПРИТОЧНОГО ВОЗДУХА С КАЧЕСТВЕННЫМ**  
**РЕГУЛИРОВАНИЕМ**

*В работе предложен подход к автоматическому определению параметров корректирующего устройства в системе стабилизации температуры приточной вентиляции с запорно – регулирующим клапаном. С помощью математического моделирования представлены преимущества использования систем с проведенной процедурой определения параметров регулятора, по сравнению с эмпирическими способами расчета коэффициентов корректирующих устройств.*

*Ключевые слова: система приточной вентиляции, ПД – регулятор, запорно – регулирующий клапан, параметрическая оптимизация, OPC – сервер*

**ПАРАМЕТРИЧНА ОПТИМІЗАЦІЯ СИСТЕМИ РЕГУЛЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ**  
**ПРИПЛИВНОГО ПОВІТРЯ З ЯКІСНИМ РЕГУЛЮВАННЯМ**

*У роботі запропоновано підхід до автоматичного визначення параметрів коригуючого пристрою в системі стабілізації температури припливної вентиляції з запірною - регулюючим клапаном. За допомогою математичного моделювання представлені переваги використання систем із проведеною процедурою визначення параметрів регулятора, в порівнянні з емпіричними способами розрахунку коефіцієнтів коригувальних пристроїв.*

*Ключові слова: система припливної вентиляції, ПД - регулятор, запірною - регулюючий клапан, параметрична оптимізація, OPC – сервер*

**PARAMETRIC OPTIMIZATION SYSTEM OF TEMPERATURE REGULATION OF**  
**FORCED AIR WITH QUALITATIVE REGULATION**

*An approach to the automatic determination of parameters of the control device in the system temperature stabilization of forced ventilation with controlled valve is proposed. With the help of mathematical modelling the advantages of using systems with determination procedure of controller parameters, compared with the empirical methods of calculation of the corrective devices are presented.*

*Keywords: system of forced ventilation, PD - regulator, controlled valve, parameter optimization, OPC – server*

**Введение.** В настоящее время все еще находят широкое применение системы качественного регулирования температуры приточного воздуха. Чаще всего они используются в установках с водяными калориферами, где количество теплоносителя изменяется с помощью запорно – регулирующих клапанов (КЗР). В системах с качественным регулированием скорость вентилятора подачи воздуха остается неизменной, а стабилизация температуры происходит за счет изменения угла открытия КЗР [1].

Существенной особенностью таких систем является интегральное свойство электропривода задвижки, которое затрудняет использование классических ПИД – регуляторов для стабилизации температуры. Это обусловлено тем, что внесение еще одного интегрирующего звена приведет к увеличению колебаний в переходных процессах, вплоть до появления режима периодических движений.

Одним из возможных подходов к решению вышеуказанных проблем является

применение ПД – регуляторов, сигнал с выхода которых подается на КЗР и интегрируется [2]. При этом корректирующее устройство с учетом динамики исполнительного механизма приобретает характеристики ПИ – регулятора, обеспечивающего приемлемое качество переходных процессов. В то же время недостатком использования ПД - регулятора является невозможность проведения процедуры автоматической настройки с использованием промышленных регулирующих устройств [3]. Дело в том, что в большинстве используемых промышленных ПИД – регуляторах технологического процесса математическая модель объекта управления описывается передаточной функцией вида:

$$W_o(p) = \frac{K_0 \cdot e^{-\alpha t}}{(T_1 p + 1)(T_2 p + 1)}, \quad (1)$$

где  $K_0, \alpha, T_1, T_2$  - коэффициенты, определяемые при проведении автоматической настройки.

Наличие интегрирующего звена в контуре управления приведет к неправильному определению параметров объекта и, следовательно, к неверному расчету параметров ПИД – регулятора. Таким образом, при использовании регуляторов температуры для объектов с КЗР инженеру – разработчику придется либо определять параметры ПД – регулятора эмпирическими методами в процессе наладки, либо использовать другие методы автоматического нахождения этих параметров.

В частности, эффективным способом поиска параметров корректирующего устройства является использование функциональных блоков приложения Simulink программного обеспечения MATLAB, которые обеспечивают поиск параметров регуляторов по заданному переходному процессу [4]. При этом в основном используются блоки «PID Controller» и «Signal Constraint». Сразу следует отметить, что использование блока «PID Controller» для системы регулирования температуры приточного воздуха с задвижкой является невозможным, поскольку этот блок работает только с линейными объектами. В то же время в модели системы приточной вентиляции содержатся существенные нелинейности, такие как ограничение на выходе регулятора, звено запаздывания сигнала, звено ограничения скорости перемещения задвижки [5]. Следовательно, для настройки ПД – регулятора целесообразно использовать блок «Signal Constraint».

**Задание и цель исследования.** Разработка и анализ возможности параметрической оптимизации контура регулирования температуры приточной вентиляции с КЗР при использовании программного обеспечения MATLAB и его приложения Simulink.

**Результаты исследования.** Математическая модель системы приточной вентиляции с КЗР, реализованная в приложении Simulink с использованием блока поиска коэффициентов регулятора, представлена на рис. 1.

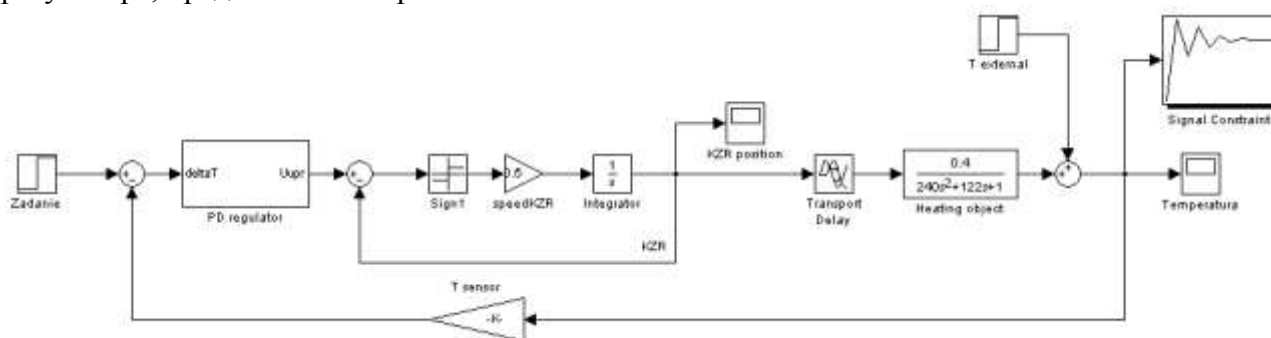


Рисунок 1. Математическая модель системы регулирования температуры приточного воздуха с КЗР.

Необходимо отметить, что при использовании блока «Signal Constraint» необходимо ввести первичные значения коэффициентов ПД – регулятора, которые будут впоследствии автоматически корректироваться, в зависимости от заданного графика переходного процесса. В командном окне программы MATLAB вводятся параметры ПД – регулятора, при которых обеспечивается устойчивость системы в целом, однако за счет ослабления коэффициента усиления разомкнутой системы имеет место существенное затягивание переходного процесса. График переходного процесса по температуре с ослабленным коэффициентом усиления системы представлен на рис.2. При этом на вход системы подавался ступенчатый сигнал задания, соответствующий температуре приточного воздуха, равной 32 градуса. Значение температуры окружающей среды принималось равным 15 градусов.

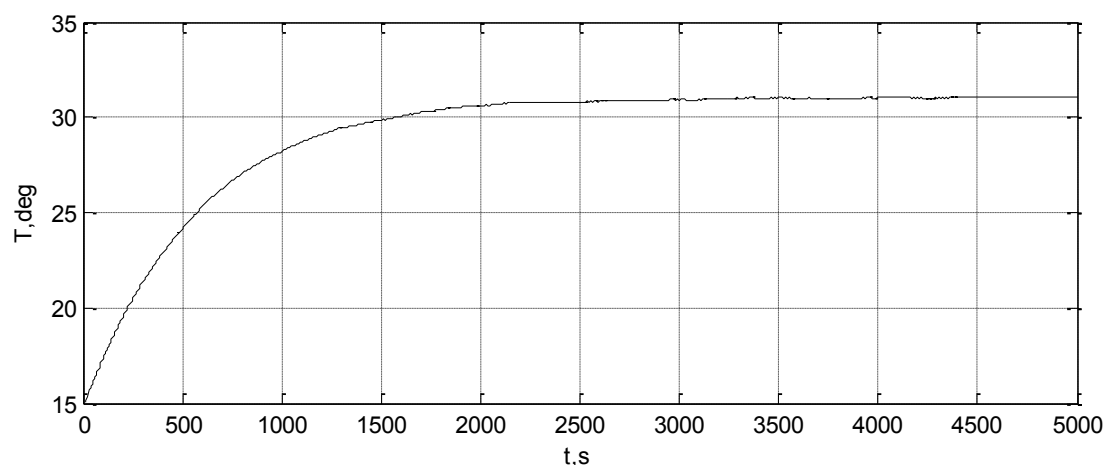


Рисунок 2. График переходного процесса по температуре при ослабленном коэффициенте усиления системы.

Далее запускается процедура поиска значений ПД – регулятора с помощью блока «Signal Constraint». При этом решение ищется в несколько последовательных итераций до нахождения заданного решения. В случае невозможности нахождения коэффициентов, обеспечивающих необходимое качество переходного процесса по температуре, необходимо изменить начальные значения ПД – составляющих и повторить процедуру поиска. Это обусловлено тем, что предложенная процедура обеспечивает поиск локального оптимума, то есть при существенном отклонении от глобального оптимума метод дает далеко не лучшее решение в целом. Демонстрационное окно для значений шага изменения коэффициентов регулятора, а также способа поиска оптимального решения представлено на рис.3.

При этом на каждом из этапов итерации происходит изменение графиков переходного процесса по температуре, которые можно видеть на рис.4. Можно видеть, что график входит в допустимую зону изменения выходной величины на седьмой итерации.

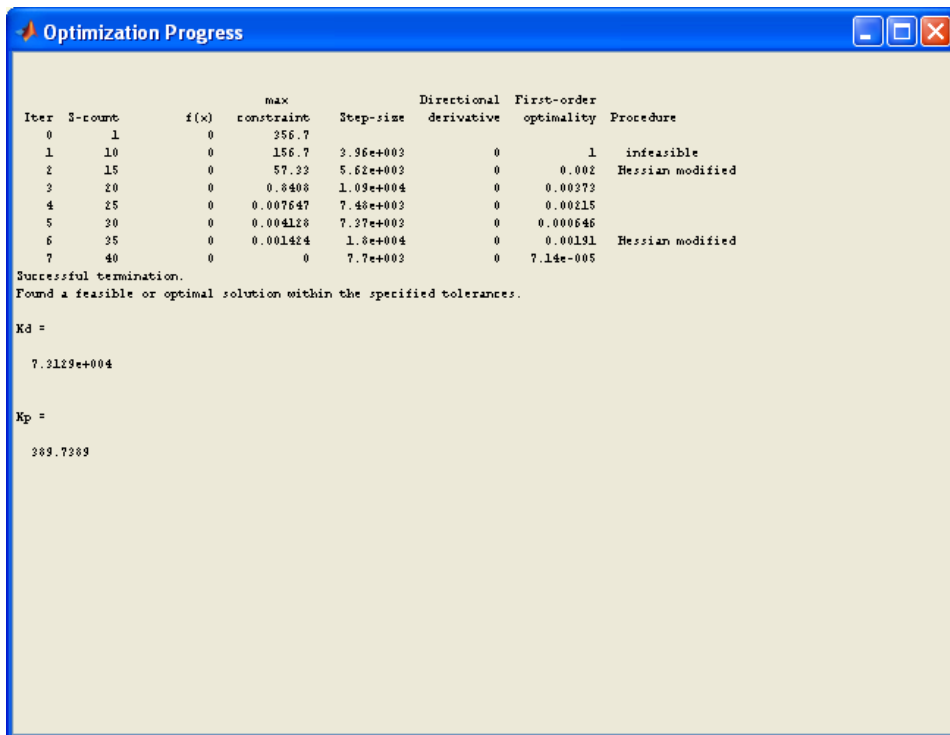


Рисунок 3. Демонстраційне вікно вивода параметрів процедури для послідовної оптимізації регулятора.

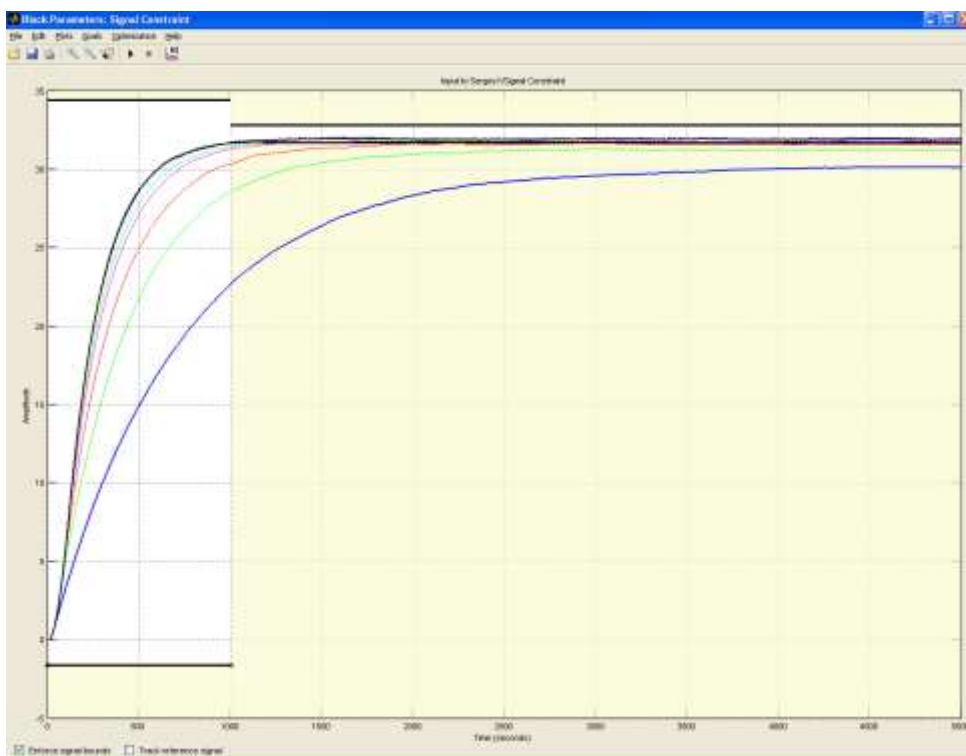


Рисунок 4. Графіки переходного процесу по температурі при послідовних ітераціях.

Графік переходного процесу по температурі при роботі системи приточної

вентиляции представлен на рис.5. Можно видеть, что время переходного процесса уменьшилось вдвое, при этом перерегулирование отсутствует, а колебания выходной величины находятся в допустимых пределах.

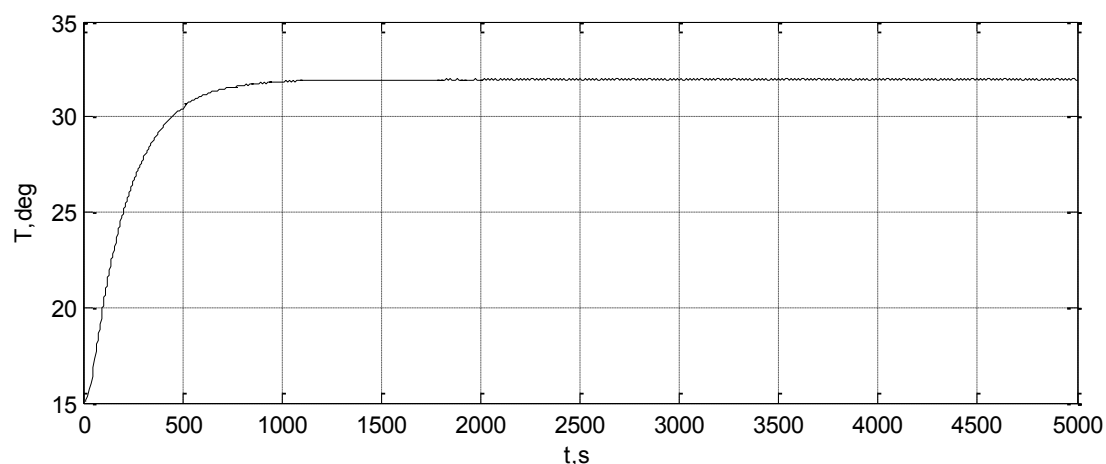


Рисунок 5. График переходного процесса по температуре в системе с скорректированными параметрами ПД-регулятора.

Данный подход может быть использован для реальных объектов с применением модулей ввода/вывода с последовательным интерфейсом связи и поддержкой технологии OPC. При этом выходное значение ПД-регулятора транслируется в OPC-сервер, а затем передается в прибор с аналоговым выходом для управления задвижкой. Аналогичным образом, текущее значение температуры принимается в OPC-сервер и обрабатывается в MATLAB.

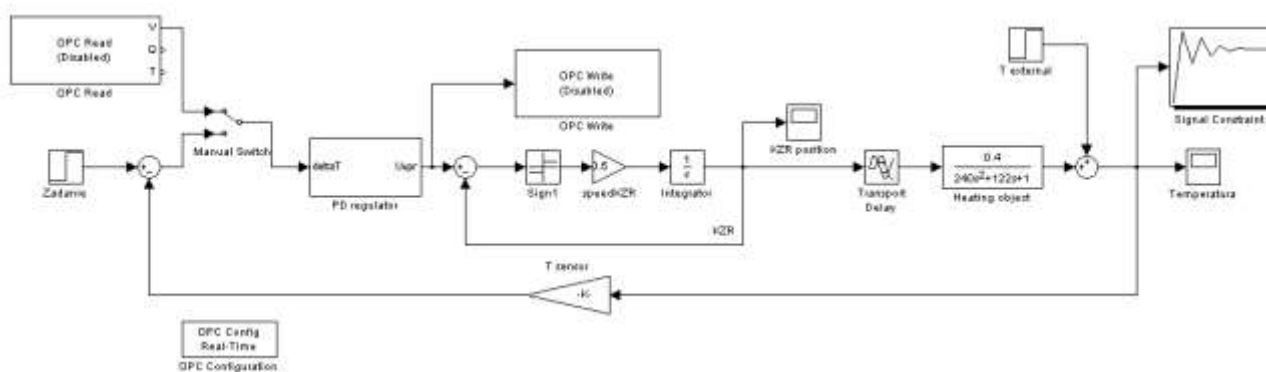


Рисунок 6. Структурная схема системы приточной вентиляции в MATLAB с применением OPC-сервера.

**Выводы.** Использование программного обеспечения MATLAB и его приложения Simulink позволяет обеспечить автоматическое определение параметров ПД-регулятора, используемого в системах стабилизации температуры при наличии КЗР в контуре управления. При этом вычисленное значение управляющего воздействия транслируется в OPC-сервер и передается на исполнительный механизм по последовательному интерфейсу. Дальнейшее развитие предложенного метода возможно за счет использования модели в MATLAB полученной модели как эталонной, а затем сравнения не только выходных координат, но также и внутренних переменных состояния.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Control valve handbook. Режим доступа: [www.documentation.emersonprocess.com/groups/.../cvh99.pdf](http://www.documentation.emersonprocess.com/groups/.../cvh99.pdf)
2. Слободян Р.Й. Типы регуляторов. Методика настройки регуляторов. Режим доступа: [http://kramtp.info/UserFiles/file/sp/TN-010\\_Pid\\_Tuning.pdf](http://kramtp.info/UserFiles/file/sp/TN-010_Pid_Tuning.pdf)
3. Измеритель ПИД-регулятор для управления задвижками и трехходовыми клапанами ОВЕН ТРМ12. Режим доступа: [http://www.owen.ru/uploads/re\\_trm12\\_m01\\_\\_1332.pdf](http://www.owen.ru/uploads/re_trm12_m01__1332.pdf)
4. Торопов А.В. Оптимизация контура стабилизации мощности резания роторного экскаватора с применением систем автоматизированного проектирования / А.В. Торопов, Т.Ю. Зубчевский // Материалы научно – технической конференции института энергосбережения и энергоменеджмента Национального технического университета Украины «КПИ» «Енергетика. Екологія. Людина». , Киев, 2012. – с. 58-63.
5. Кудин В.Ф. Квазиоптимальное керування системою приточної вентиляції з використанням сучасних комп'ютерних технологій/ В.Ф. Кудін, А.В. Торопов// Вісник університету «Україна», №8, Київ, 2010. – с. 174-178.

УДК 621.926

*С.В.Зайченко, к.т.н., доц., Шевчук Н.І., ст. викл., О.С.Коцур, студент*  
**МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ЗБАГАЧЕННЯ ПО МІЦНОСТІ**

*Розглянута нова схема сухого збагачення по міцності, яка передбачає силове відділення частин одного компоненту від іншого. Дана схема забезпечить покращення якості вугільної продукції за рахунок зменшення зольності видобутого вугілля, збільшення обсягів переробки вугілля насамперед на збагачувальних фабриках з високим технологічним рівнем.*

*Ключові слова: моделювання процес, сухе збагачення, вибіркоче дроблення.*

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОБОГАЩЕНИЯ ПО ПРОЧНОСТИ**

*Рассмотрена новая схема сухого обогащения по прочности, которая предусматривает силовое отделение частей одного компонента от другого. Данная схема обеспечит улучшение качества угольной продукции за счет уменьшения зольности добытого угля, увеличение объемов переработки угля прежде всего на обогатительных фабриках с высоким технологическим уровнем.*

*Ключевые слова: моделирование процесс, сухое обогащение, выборочное дробления.*

**SIMULATION OF ENRICHMENT IN STRENGTH**

*Considered a new scheme of dry enrich in strength, which involves forceful separation of parts of one component from another. This scheme will provide a better quality of coal products by reducing the ash content of extracted coal, increasing volumes of coal primarily to processing plants with a high technological level.*

*Keywords: modeling process, dry enrichment, selective crushing.*

**Вступ.** Постійне зростання цін на вуглеводневі енергоносії (газ і нафта) змушує звернути увагу на такі енергоносії, як водовугільні суспензії та водовугільні палива. Впровадження водовугільних палив забезпечує практичне повне згоряння (98%) і зниження шкідливих викидів в атмосферу. Основою водовугільних суспензій (ВВС) і водовугільних палив (ВВП) є наявність в паливі тонких вугільних частинок і рідкої фази – води. Тому однією з основних операцій підготовки сировини при виробництві ВВС і ВВП є дроблення і мелення вугілля. У зв'язку з цим можливе застосування збагачувальних машин в основу яких покладено принцип вибіркового дроблення цінного компонента по міцності [1, 2]

**Аналіз попередніх досліджень.** Корисна модель з патенту [3] належить до області збагачення вугілля та інших корисних копалин і може бути використана як устаткування для відокремлення корисної копалини від пустих порід, поданих у вигляді кускової гірської маси, за умови різниці у міцності між корисною копалиною та пустою породою. Недоліком даного пристрою є висока метало та енергоємність, а також високий рівень вібрації, спричинений конструктивними недоліками.

Запропонована конструкція пристрою усуває недоліки завдяки зміні конструкції інструмента вибіркового дроблення.



**Мета роботи. Вибір та обґрунтування конструктивних рішень породовибірки шнекової, яка буде забезпечувати якісне збагачення вугілля.**

**Матеріал і результати дослідження.** Авторами запропонована нова схема сухого збагачення по міцності, яка передбачає силове відділення частин одного компоненту від іншого. Принцип роботи машини збагачення по міцності представлений на рисунку 1. Шнекова машина виборчого дроблення працює таким чином. Гірська маса потрапляє на шнеки 1 з приймаючого лотка 3. Привід 2 приводить в рух шнеки 1, які обертаючись рухають шматки гірської маси в напрямі рухомого зуба 6. Гірська маса натискає на рухомий зуб 6, що приводить до його підйому і стискання пружини 7 в разі дії шматка породи з подальшим рухом породи уздовж шнеків 1 і скиданням в бункер породи 4. У разі взаємодії рухомого зуба 6 з цінним компонентом відбувається подрібнення і прокидання в бункер цінного компонента 5.

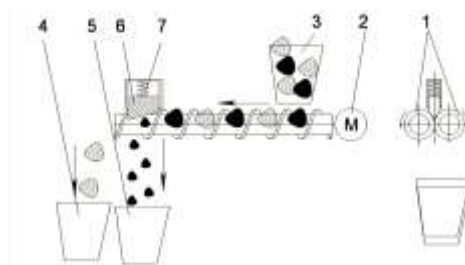


РИСУНОК 1 – СХЕМА ЗБАГАЧЕННЯ ВУГІЛЛЯ ПО МІЦНОСТІ

Розглянемо процес взаємодії гірської маси з робочими органами машини виборчого дроблення (рисунком 2). При дробленні вугілля рухомих зубом в зоні контакту нахиленої під кутом  $\alpha$  виникають нормальні  $p$  і тангенціальні  $\tau$  тиски. Прийемо, що нормальні  $p$  тиски дорівнюють міцності на стиск вугілля  $\sigma_y$ . Тоді силу притиснення пружини необхідну для дроблення вугілля можна знайти з умови рівноваги рухомого зуба:

$$\sum F_i^z = 0; -F + pS \cos(\alpha) - \tau S \sin(\alpha) = 0 \quad (1)$$

ДЕ  $S$  - ПЛОЩА КОНТАКТУ.

Зробимо допущення, що нормальна і тангенціальна складові контактного тиску пов'язані законом Кулона:

$$\tau = \mu p, \quad (2)$$

де  $\mu$  - коефіцієнт тертя гірської маси по поверхнях робочих органів.

Підставляючи 2 в 1 і вирішуючи щодо  $F$ :

$$F = \sigma_y S (\cos(\alpha) - \mu \sin(\alpha))$$

При взаємодії породи з рухомих зубом на нього діє нормальний тиск  $p$  рівний  $\sigma_y$  і тангенціальне  $\tau = \mu \sigma_y$ . З боку шнека на нього діють контактні тиск навивки  $p_{ш}, \tau_{ш}$  і контактні тиску з боку осі  $p_r, \tau_r$ .

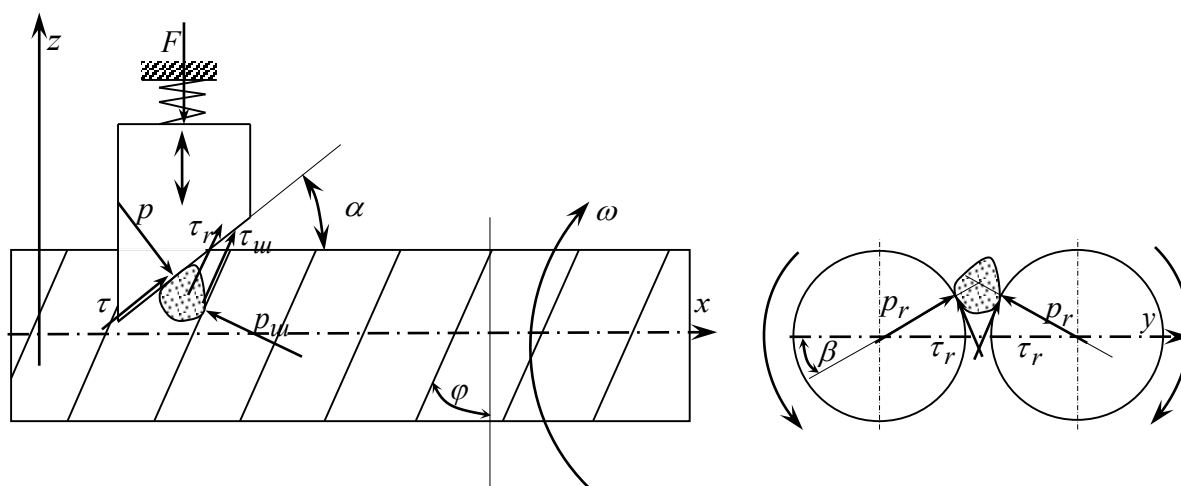


Рисунок 2 – Схема визначення контактних тисків

Складемо умову рівноваги шматка гірської породи:

$$\sum F_i^z = 0;$$

$$-S_1 p \cos(\alpha) + \mu S_1 p \sin(\alpha) + S_2 p_w \sin(\varphi) \cos(\beta) + \mu S_2 p_w \cos(\varphi) \cos(\beta) + S_3 p_r \sin(\beta) + \mu S_3 p_r \cos(\varphi) \sin(\beta) = 0$$

$$\sum F_i^x = 0;$$

$$S_1 p \sin(\alpha) + \mu S_1 p \cos(\alpha) - S_2 p_w \cos(\varphi) \cos(\beta) + \mu S_2 p_w \sin(\varphi) \cos(\beta) + \mu S_3 p_r \sin(\varphi) \cos(\beta) = 0$$

Прирівняємо площі контакту на увазі їх малої різниці  $S_1 = S_2 = S_3$  і висловлюючи  $p_w$  і  $p_r$  можна отримати контактні тиску взаємодії робочих органів з породою:

$$p_w = f_1(\sigma_y, \alpha, \beta, \varphi);$$

$$p_r = f_2(\sigma_y, \alpha, \beta, \varphi)$$

На рисунку 3 представлені розподілу контактних нормальних тисків і від кута підйому гвинта шнека  $\varphi$ . З аналізу графіків зміни нормальних контактних тисків  $p_w$  і  $p_r$  можливо зробити висновок про зворотно пропорційну залежність тиску між віссю шнека і породою від кута підйому гвинта і прямо пропорційною залежністю тиску між породою і витками шнека від кута підйому гвинта шнека.

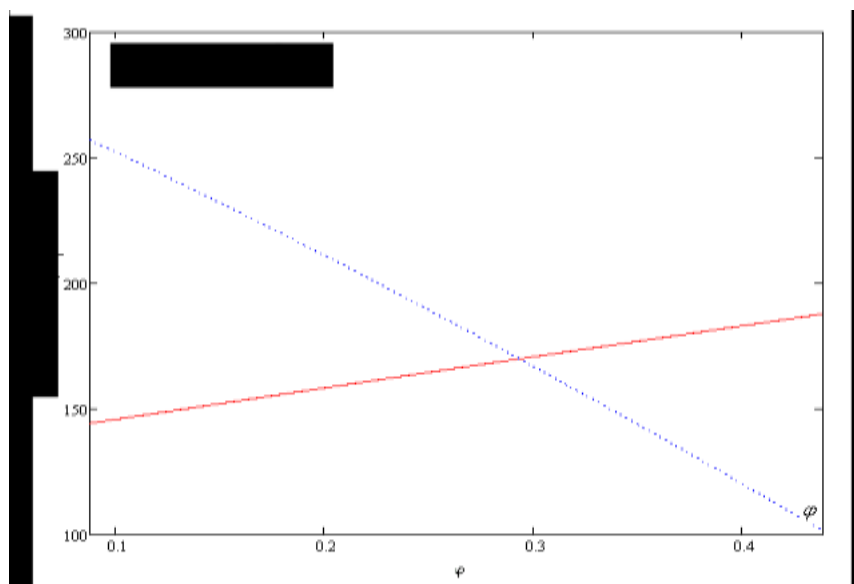


Рисунок 3 - Графік зміни нормальних контактних тисків:

..... -  $p_{шi}$  і — -  $p_r$

**Висновок.** Отримані залежності дозволяють встановити силові параметри процесу виборчого дроблення при збагаченні вугілля, які визначають основні параметри конструкції шнекової машини виборчого дроблення.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Самилін В., Білецький В. Спеціальні методи збагачення корисних копалин. - Донецьк: Східний видавничий дім, 2003. - 116 с.
2. Терентьев О.М. Основы переработки и обогащения полезных ископаемых. - Киев: Политехника, 2003 - 112 с.
3. Патент України UA 5221 кл.7B07B1/12,B07B1/16. Литвинов В.Г., Литвинова Н.Ф. - Оpubл. 15.02.2005 Бюл.№2.

УДК 621.311.1: 621.926.3

Мейта О.В., Полищук В.О., Гаращенко Г.С.

**МОДЕЛЬ ДРОБИЛЬНО-ПОМОЛЬНОГО КОМПЛЕКСА С НЕЙРОСЕТЕВЫМ РЕГУЛЯТОРОМ**

*Стаття присвячена питанням застосування апарату штучних нейронних мереж для побудови систем моніторингу та управління дробильно-помольним комплексом, з метою визначення та підтримки оптимального за електроспоживанням режиму роботи агрегатів подрібнення та помелу.*

*Ключові слова: дробильно-помольний комплекс, факторне поле, штучні нейронні мережі, шаровий млин.*

*Статья посвящена вопросам применения аппарата искусственных нейронных сетей для построения систем мониторинга и управления дробильно-помольным комплексом, с целью определения и поддержания оптимального по электропотреблению режима работы агрегатов измельчения и помола.*

*Ключевые слова: дробильно-помольный комплекс, факторное поле, искусственные нейронные сети, шаровая мельница.*

*The article is devoted the questions of application of artificial neural networks for the construction of the systems of monitoring and management a crush-milling complex, with the purpose of determination and support of the optimum after an electro-consumption mode of operations of aggregates of crushing and milling.*

*Keywords: crush-milling complex, factor field, artificial neural networks, ball mill.*

### **Вступлення.**

Системы управления с применением нейронных сетей представляют собой альтернативу системам управления, построенным согласно классическим методам управления. Такая возможность базируется на том, что нейронная сеть, состоящая из двух слоев и содержащая в скрытом слое произвольно большое количество узлов, может аппроксимировать любую функцию действительных чисел с заданной степенью точности.

На основании данных о электропотреблении, загрузке и качестве выходного продукта возможно построение нейронной сети для управления дробильно-помольным комплексом. Контролируемые параметры выступают в качестве выходного вектора, а соответствующие им значения регулируемых величин, параметров оборудования и измельчаемого вещества – входного вектора.

### **Цель и задачи исследования.**

Цель исследования – создание нейросетевого регулятора для управления дробильно-помольным комплексом. Для этого решаются задачи выбора структуры регулятора и его обучение.

При управлении на основе авторегрессии со скользящим средним регулятор представляет собой достаточно простую реконструкцию модели управляемого процесса. Недостатком модели является то, что модель должна быть задана в канонической форме пространства состояния, которая соответствует сопровождающая матрица, что может приводить к вычислительным погрешностям. Рассматриваемая авторегрессионная модель со скользящим средним является нелинейной дискретной моделью нелинейной динамической системы и представляется в форме

$$y(k+d) = N[y(k), y(k-1), \dots, y(k-n+1), u(k), u(k-1), \dots, u(k-n+1)] \quad (1)$$

где  $y(k)$  - выход модели;

$d$  - число тактов предсказания;

$u(k)$  - выход модели.

На этапе идентификации необходимо построить нейронную сеть для модели вида (1). Эта процедура может рассматриваться как процедура идентификации. Для проектировки следящей системы, обеспечивающей заданную траекторию вида

$$y(k+d) = y_r(k+d) \quad (2)$$

необходимо спроектировать нелинейный регулятор следующего общего вида

$$u(k) = G[y(k), y(k-1), \dots, y(k-n+1), y_r(k+d), u(k-1), \dots, u(k-m+1)] \quad (3)$$

При реализации такого регулятора с помощью нейронных сетей в процессе минимизации среднеквадратической ошибки он требует чрезмерных вычислений, поскольку использует динамический вариант метода обратного распространения ошибки. Для практического решения задачи слежения Нарендра и Макхопадхан предложили приближенную NARMA – модель с выделенной составляющей управления. Такая модель регулятора имеет вид:

$$y(k+d) = f[y(k), y(k-1), \dots, y(k-n-1), u(k-1), \dots, u(k-m+1)] + g[y(k), y(k-1), \dots, y(k-n-1), u(k-1), \dots, u(k-m+1)] \cdot u(k) \quad (4)$$

Преимущество этой формы состоит в том, что теперь текущее управление можно непосредственно вычислить, если известна желаемая траектория  $y_r$ , предыстория управления  $\{u(k-1), \dots, u(k-m+1)\}$ , а также предшествующие и текущие значения выхода  $[y(k), \dots, y(k-m+1)]$ :

$$u(k) = \frac{y_r(k+d) - f[y(k), y(k-1), \dots, y(k-n+1), u(k-1), u(k-1), \dots, u(k-m+1)]}{g[y(k), y(k-1), \dots, y(k-n+1), u(k-1), u(k-1), \dots, u(k-m+1)]} \quad (5)$$

Непосредственное применение этого соотношения для реализации регулятора затруднительно, поскольку управление  $u(k)$  зависит от текущего значения выхода  $y(k)$ . Поэтому уравнение (4.7) модифицируется следующим образом:

$$u(k+1) = \frac{y_r(k+d) - f[y(k), y(k-1), \dots, y(k-n+1), u(k-1), u(k-1), \dots, u(k-m+1)]}{g[y(k), y(k-1), \dots, y(k-n+1), u(k-1), u(k-1), \dots, u(k-m+1)]} \quad (6)$$

но при этом параметр предсказания должен удовлетворять условию  $d \geq 2$ .

На рис. 1. показана структура соответствующего регулятора в виде нейронной сети. Здесь следует обратить внимание на участки сети, которые выполняют аппроксимацию нелинейных операторов  $g$  и  $f$  в виде выходов  $\hat{g} = a_2(t)$  и  $\hat{f} = a_4(t)$ . Выходами регулятора являются сигналы  $y(t+1)$  и  $u(t+1)$ , последний реализован в виде обратной связи, а так же эталонный сигнал  $y(t+2)$ . Блоки задержки осуществляют запоминание соответствующих входа и выхода, а затем используются двухслойные нейронные сети, которые формируют оценки нелинейных операторов и вычисляют сигналы управления в форме (5) Общая структура системы с NARMA - регулятором показана на рис. 2 На схеме явным образом выделена эталонная модель, которая задает желаемый вид выходного сигнала управления процессом.

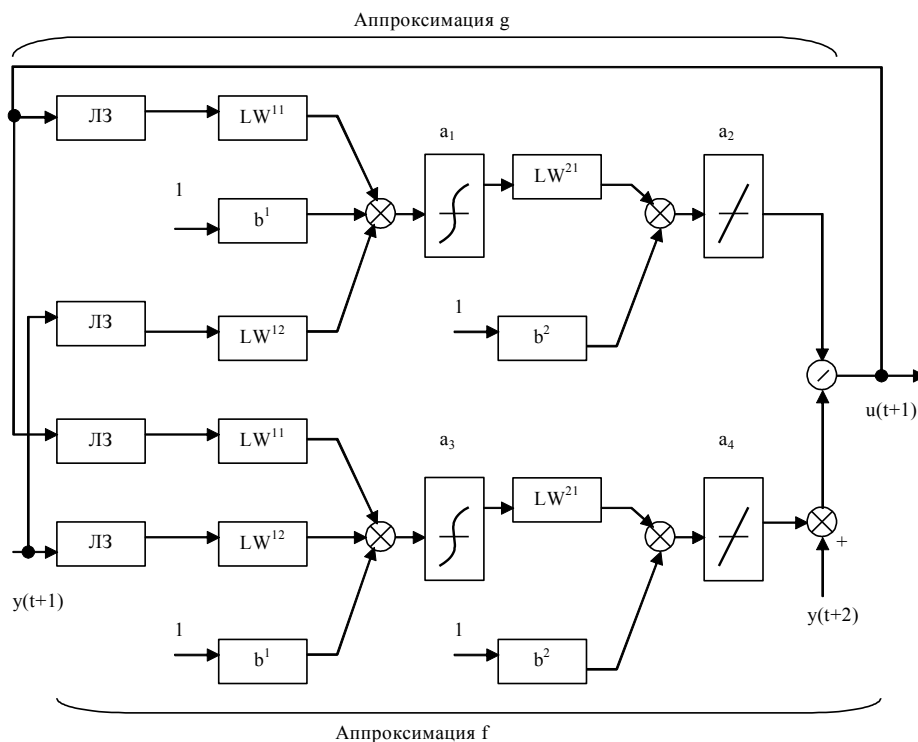


Рис. 1. Структура NARMA– регулятора в виде нейронной сети

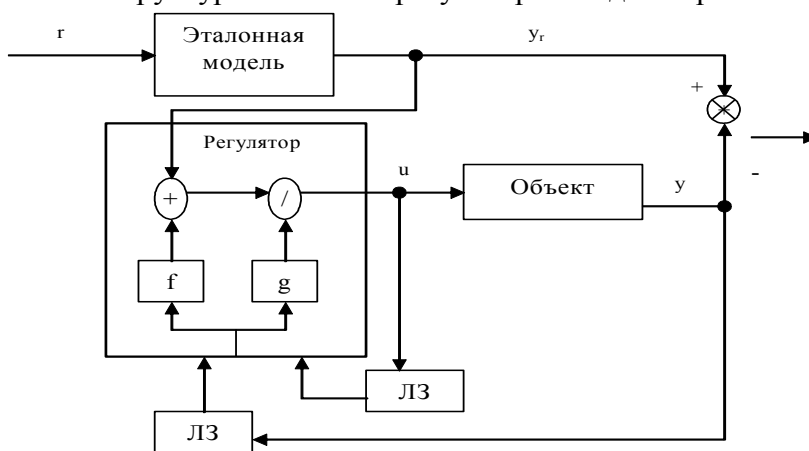


Рис. 2. Система с NARMA – регулятором

**Результаты исследований.**

Обучение Нейросетевого NARMA – регулятора, содержащего 10 нейронов в скрытом слое, на тренировочной последовательности проводилось в течении 100 циклов. Система с нейрорегулятором показана на рис.3 Структура блока «модель системы» отображена на рис.4. На рис.5 представлены графики ошибки для обучающей, тестовой и контрольной последовательностей. Результат работы системы с обученным регулятором представлен на рис.6 где кривая 1отображает входное воздействие; а кривая 2 – выходной сигнал.Сравнение графиков входного (случайного) сигнала и выхода системы показывает, что применение регулятора позволяет добиться более стабильной работы участка по выходному продукту, при случайных изменениях входного грузопотока.

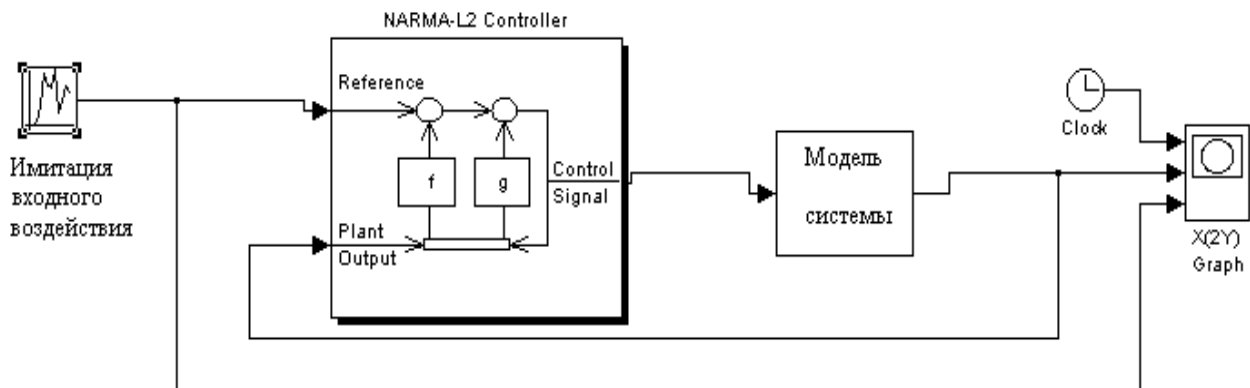


Рис.3. Система с NARMA – регулятором

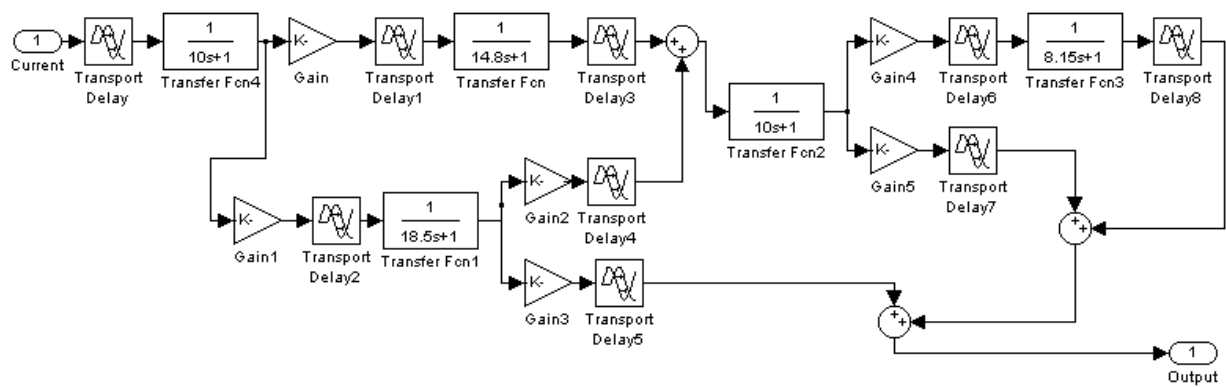


Рис.4. Модель участка дробления

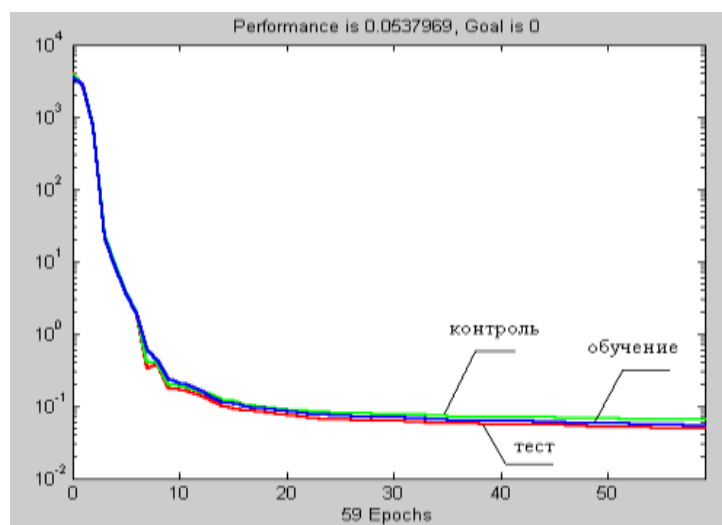


Рис. 5. Ошибка обучения, контрольной и тестовой последовательности для нейросетевого регулятора.

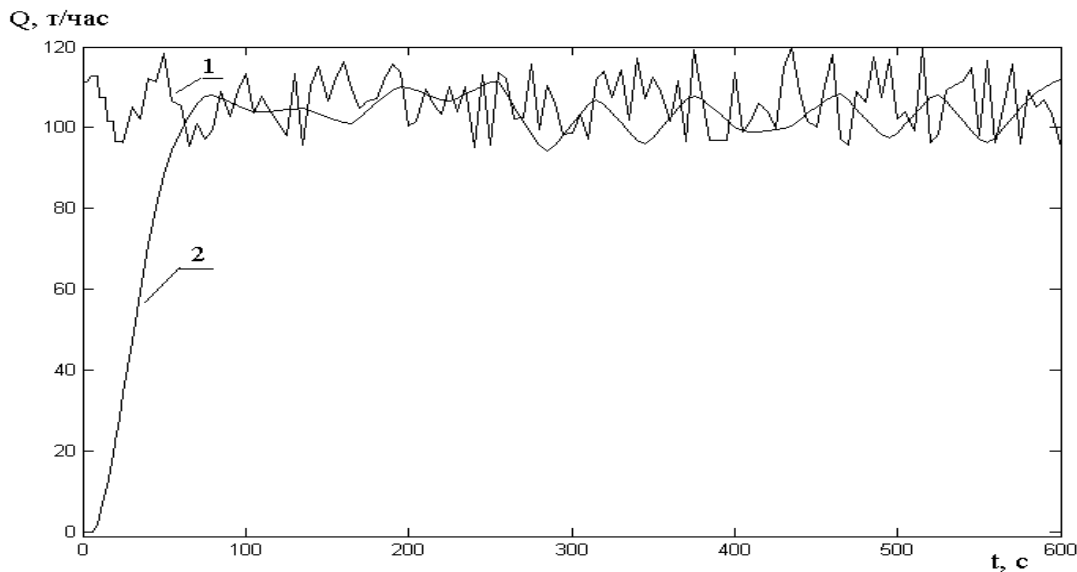


Рис.6. Вхідний і вихідний сигнали системи з NARMA – регулятором.

#### **Висновки.**

Исследована работа системы с использованием регулятора, выполненного на базе искусственных нейронных сетей. Анализ работы системы показывает, что применение настроенного нейроконтроллера позволяет достичь более стабильной работы участка по выходному продукту, в случае случайных изменений входного грузопотока, за счет чего снижается электропотребление комплекса. Вне зависимости от типа используемого в системе нейроконтроллера необходима процедура идентификации процесса, качество которой будет определять качество работы системы с контроллером. Для процедуры идентификации важны полнота и представительность обучающей последовательности. Процедура синтеза закона управления зависит от выбранной архитектуры регулятора.



УДК 622.23.05  
004.94

Р.В. Гранкін, доц. В.М.Сліденко

## ВПЛИВ ГЕНЕРАТОРА КОЛИВАНЬ НА НАФТОВУ СВЕРДЛОВИНУ

*У статті представлена схема руху хвилі по свердловині при депресійній дії за допомогою генератора коливань, що розташований на поверхні. Встановлена закономірність нарощування тиску в свердловині.*

## ВЛИЯНИЕ ГЕНЕРАТОРА КОЛЕБАНИЙ НА НЕФТЯНУЮ СКВАЖИНУ

*В статье представлена схема движения волны по скважине при депрессионном воздействия с помощью генератора колебаний, который расположен на поверхности. Установлена закономерность наращивания давления в скважине.*

## EFFECT OF THE OSCILLATOR AT AN OIL WELL

*The article shows a diagram of wave motion on the impact of depression in well with the oscillator, which is located on the surface. The regularity of pressure buildup in the well.*

**Вступ.** Одним з напрямків інтенсифікації нафтовидобутку є використання пристроїв імпульсно-хвильового впливу на нафтову свердловину без зупинки процесу видобутку. В наш час є приклади успішного використання гідродинамічних генераторів коливань, що дозволила збільшити ефективність окремих технологічних операцій на 50...150 %. Тому в останні десятиліття інтенсивно ведуться науково-дослідні і проектно-конструкторські роботи зі створення різноманітних конструкцій гідродинамічних генераторів.

**Метою роботи** є оцінка хвильового впливу генератора коливань та нафтову свердловину з визначенням характеристики нарощування тиску.

**Результати дослідження.** Генератор депресійної дії впливає на привибійну зону (ПЗ) шляхом підвищення тиску. Підвищення тиску у ПЗ створюється завдяки хвилі гідравлічного удару. Сам процес створення хвилі протікає на поверхні, після чого хвиля поширюється по свердловині до ПЗ. В ПЗ одна її частина витрачається на корисну роботу по створенню підвищеного тиску, інша – відбивається і повертається нагору до генератора.

Зауважимо, що ефект керованого впливу полягає не стільки у періодичному стрімкому підвищенні тиску, скільки у систематичному, багаторазовому впливі тиском на тріщини ПЗ для їх розширення та закріплення в такому розширеному стані.

Цей ефект впливу на ПЗ нафтової свердловини досягається багаторазовим використанням тієї частини хвилі, що відбивається і повертається. Є два шляхи такого використання – резонансний та не резонансний.

Перший шлях використання відбитої хвилі полягає у поступовому, ступінчатому, підвищенні амплітуди хвилі шляхом генерування нової хвилі відразу по прибутті відбитої. Таким чином поступово буде збільшено її величину до необхідної. Коли необхідний тиск на фронті ударної гідродинамічної хвилі буде досягнуто його підтримку можна забезпечити перейшовши на другий шлях використання відбитої хвилі - не резонансний.

Використання відбитої хвилі в не резонансному режимі - це періодичне генерування нової хвилі відразу по прибутті відбитої не кожного разу, а лише за необхідності підвищення тиску на її фронті.

Схему ділянок руху хвилі на свердловині зображено на рис. 1.

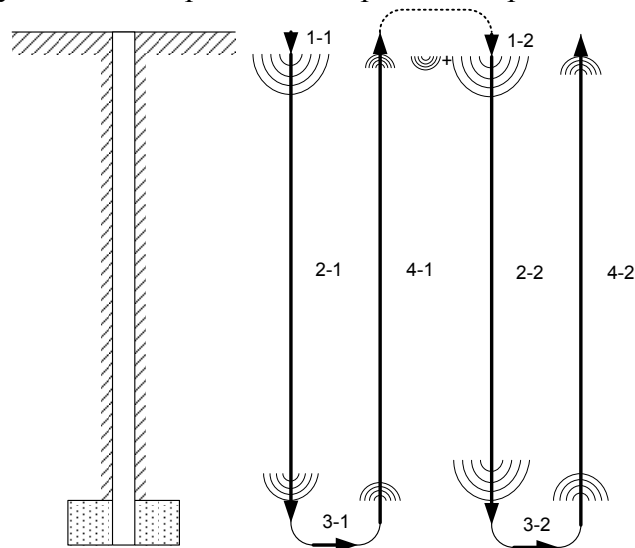


Рисунок 1 - Схема ділянок руху хвилі на свердловині

Моделюванням хвильового процесу встановлено, що характер нарощування тиску в свердловині за такої схеми наближений до лінійного (рис.2).

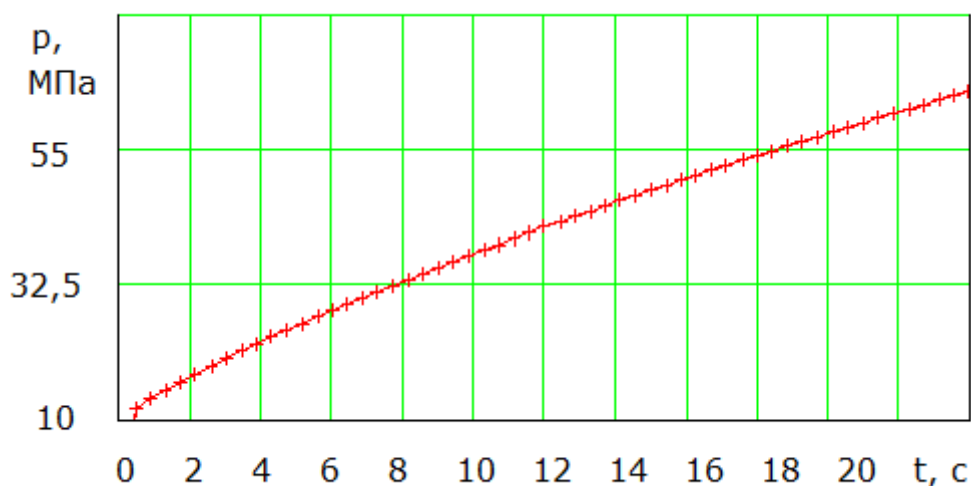


Рисунок 2 – Характеристика нарощування тиску в привибійній зоні

**Висновки.** Впровадження системи хвильового впливу дозволяє підвищувати тиск в свердловині за керованою характеристикою. Величина нарощування тиску за рахунок імпульсної дії лежить на рівні появи в колекторі пласта мікро- та макророзривів, що сприяє покращанню гідравлічного зв'язку пластової системи з свердловиною, а отже, сприяє підвищенню продуктивності нафтової свердловини.

УДК 522.512:622.23.05

В.М. Сандул, проф. С.П.Шевчук

### **ОБГРУНТУВАННЯ ПРАРАМЕТРІВ СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО ДІАГНОСТУВАННЯ ПРИСТРОЮ ІНТЕНСИФІКАЦІЇ НАФТОВИДОБУТКУ**

*У статті визначена доцільна стратегія резервування і відновлення імпульсно-хвильового пристрою інтенсифікації нафтовидобутку для забезпечення безвідмовного режиму функціонування в умовах агресивного середовища. Розроблена логічна схема для резервованої системи, за допомогою структурно-наслідкового аналізу розроблено алгоритм діагностування, визначені кількісні показники надійності такі як ймовірність безвідмовної роботи та коефіцієнт готовності, побудовано графіки функції готовності для резервованої та нерезервованої системи.*

### **ОБОСНОВАНИЕ ПРАРАМЕТРОВ СИСТЕМИ ТЕХНИЧЕСКОГО ДИАГНОСТИРОВАНИЯ УСТРОЙСТВА ИНТЕНСИФИКАЦИИ НЕФТЕДОБЫЧИ**

*В статье определена целесообразная стратегия резервирования и восстановления импульсно-волнового устройства интенсификации нефтедобычи для обеспечения безотказного режима функционирования в условиях агрессивной среды. Разработана логическая схема для резервируемой системы, с помощью структурно-следственного анализа разработан алгоритм диагностики, определены количественные показатели надежности такие как вероятность безотказной работы и коэффициент готовности, построены графики функции готовности для резервируемой и нерезервированной системы.*

### **JUSTIFICATION PARAMETERS OF THE SYSTEM OF TECHNICAL DIAGNOSTIC FOR APPLIANCE WHICH IMPROVE OIL PRODUCTION**

*An expedient strategy of reserving and recovering of pulse-wave pulse-wave appliance for oil intensification is worked out, the strategy being aimed at providing a steady operation mode in a hostile environment conditions. Logic circuit for reservation system is designed, using structure-effect analysis algorithm diagnosis is developed, also defined quantitative indicators of reliability such as probability and availability factor, the graphics of ready functions for the reserved and unreserved systems are built.*

**Вступ.** Одним з напрямків інтенсифікації нафтовидобутку є використання пристроїв імпульсно-хвильового впливу на нафтову свердловину без зупинки процесу видобування. При цьому важливим є проведення безперервного діагностування пристроїв імпульсно-хвильового впливу з метою визначення їх технічного стану і проведення корекції параметрів інтенсифікації, що дозволяє вирішувати проблему запобігання раптовим аварійним ситуаціям.

**Завдання та мета дослідження.** Розробити комп'ютерну систему технічного діагностування для контролю параметрів інтенсифікації видобутку нафтової свердловини.

При діагностуванні основна задача зводиться до визначення мінімальної сукупності контрольованих параметрів, що перевіряються, для характеристики технічного стану об'єкта та розробки алгоритмів діагностування на основі структурно-наслідкового аналізу.

Для вирішення питань діагностики застосовувалися логічні (допускові) методи.

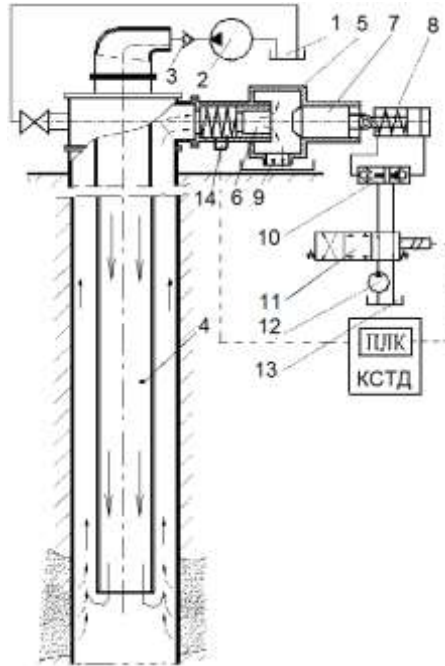


Рисунок 1 – Схема установки імпульсно-хвильового пристрою інтенсифікації нафтовидобутку (ПІН).

На схемі (рис. 1) зображено гідропривод насосного агрегата з баком 1, насосом 2 та зворотним клапаном 3. Подача ПАР від насоса 2 здійснюється через колону 4 насосно-компресорних труб. На поверхні також встановлено імпульсно-хвильовий депресатор (ІХД) 5, який включає підпружинене сідло 6 та бойок 7, що приводиться в дію гідроциліндром 8. Імпульсний злив рідини здійснюється в ємність 9. Керування гідроциліндром 8 здійснюється додатковим гідро-приводом, який включає гідрозамок 10, електрогідорозподілювач 11, гідронасос 12 та бак 13. В гідравлічній лінії, яка має зв'язок з затрубним простором, встановлений вимірювальний блок 14 з датчиками тиску та температури. Датчики мають інформаційний зв'язок з програмованим логічним контроллером (ПЛК), який входить до складу КСТД.

Схема (рис.1) використовується для побудови логічної моделі ПІН (рис. 2).

Для не резервованої та резервованої систем знайдено коефіцієнт готовності за формулами (1) та (2) відповідно:

$$K_{\Gamma}^{np} = \frac{\mu}{\lambda + \mu} \quad (1)$$

$$K_{\Gamma}^p = \frac{\mu^2}{(\lambda + \mu)^2} + \frac{2 \cdot \lambda \cdot \mu}{(\lambda + \mu)^2} = \frac{\mu \cdot (2 \cdot \lambda + \mu)}{(\lambda + \mu)^2} \quad (2)$$

Також знайдено ймовірність безвідмовної роботи  $P_i(t) = e^{-\lambda_i \cdot t}$  та інтенсивність відмов  $\lambda$  всього пристрою інтенсифікації нафтовидобутку. Формули розрахунків та результати зведені в Таблиці 1.

Таблиця 1 – Формули та кількісні значення показників надійності резервованої та

нерезервованої систем.

	Формули	Розрахункові значення
Резервована система	$P_{1-8} = P_1 \cdot P_2 \cdot P_3 \cdot P_8$	0,8756
	$P_{1-11} = P_1 \cdot P_2 \cdot P_3 \cdot P_{11}$	0,8756
	$P_{6-8} = P_6 \cdot P_7 \cdot P_{1-8}$	0,841
	$P_{9-11} = P_9 \cdot P_{10} \cdot P_{1-11}$	0,841
	$Q_{6-8} = 1 - P_{6-8}$	0,159
	$Q_{9-11} = 1 - P_{9-11}$	0,159
	$Q_{6-11} = Q_{6-8} \cdot Q_{9-11}$	0,02528
	$P_{6-11} = 1 - Q_{6-11}$	0,9747
	$P_{\Sigma}^p = P_4 \cdot P_5 \cdot P_{6-11}$	0,9167
	$\lambda_{\Sigma}^p = \ln P_{\Sigma}^p$	$86,97 \cdot 10^{-3}$
	$\mu_{\Sigma}^p = \frac{1}{t_{відн}}$	$66,7 \cdot 10^{-3}$
	$K_r^p = \frac{\mu \cdot (2 \cdot \lambda + \mu)}{(\lambda + \mu)^2}$	0,6797
Нерезервована система	$P_{\Sigma}^{np} = P_1 \cdot P_2 \cdot P_3 \cdot P_4 \cdot P_5 \cdot P_6 \cdot P_7 \cdot P_8$	0,7909
	$\lambda_{\Sigma}^{np} = \ln P_{\Sigma}^{np}$	$234,58 \cdot 10^{-3}$
	$\mu_{\Sigma}^{np} = \frac{1}{t_{відн}}$	$66,7 \cdot 10^{-3}$
	$K_r^{np} = \frac{\mu}{\lambda + \mu}$	0,221
	$K_r^p / K_r^{np}$	3,075

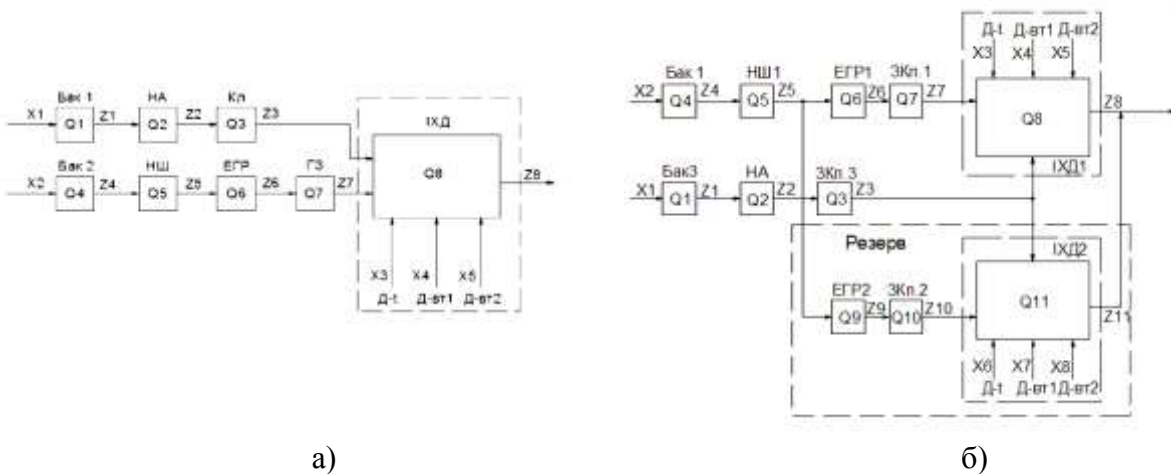


Рисунок 2 – Логічна модель ПШ: а) без резервування; б) з резервуванням.

Для наочності переваги резервування побудовано графіки функції готовності (Рис. 3).

$$\begin{aligned}
 \Gamma_a(t) &= 1 - \frac{\lambda^2}{(\lambda + \mu)^2 + \mu^2} \times \\
 &\times \left[ 1 + \frac{1}{\sqrt{\mu^2 + 4 \cdot \lambda \cdot \mu}} (z_2 \cdot e^{z_1 t} - z_1 \cdot e^{z_2 t}) \right] \quad (3) \times \left[ 1 + \frac{1}{2 \cdot \sqrt{\lambda \cdot \mu}} (\gamma_2 \cdot e^{\gamma_1 t} - \gamma_1 \cdot e^{\gamma_2 t}) \right] \quad (6)
 \end{aligned}$$

$$z_1 = - (2 \cdot \lambda + 3 \cdot \mu - \frac{\sqrt{\mu^2 + 4 \cdot \lambda \cdot \mu}}{2}) \quad (4) \quad \gamma_1 = - (\lambda + \mu - \sqrt{\lambda \cdot \mu}) \quad (7)$$

$$z_2 = - (2 \cdot \lambda + 3 \cdot \mu + \frac{\sqrt{\mu^2 + 4 \cdot \lambda \cdot \mu}}{2}) \quad (5) \quad \gamma_2 = - (\lambda + \mu + \sqrt{\lambda \cdot \mu}) \quad (8)$$

$$\Gamma_b(t) = \frac{\mu}{\lambda + \mu} + \frac{\mu}{\lambda + \mu} \cdot e^{-(\lambda + \mu)t} \quad (9)$$

Рисунок 3 – Функція готовності для систем а) з резервом - відновлення проводиться без обмежень, б) з резервом - відновлення проводиться по одному елементу, в) без резерву.

**Висновки.** Розроблена технологічна система, що включає депресійно-хвильовий пристрій та інтелектуальну систему керування і технічного діагностування з можливістю інтерактивної корекції технологічного процесу в реальному масштабі часу. Отримані розрахунки коефіцієнтів готовності системи при наявності і відсутності резервування та побудовані графіки функцій готовності.

#### Література.

1. Патент Российской Федерации № 2275495 С1, МПК Е 21 В 37/06, Е 21 В 28/00 27.04.2006.
2. Шевчук С.П., Сліденко В.М., Гранкін Р.В., Сандул В.М. Система технічного діагностування пристрою інтенсифікації нафтовидобутку. // Електромеханічні і енергозберігаючі системи: Щоквартальний науково-виробничий журнал. – Кременчук: КрНУ, 2013. С.142-146. – Вип.2/2013 (22). Частина 2.

УДК 62-83-52.003(082)

**Закладний О.М., Закладний О.О., Алтухов Є.І., Могилат Д.Ю.**  
**ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ**  
**ЕЛЕКТРОНАВАНТАЖУВАЧІВ**

*Проведено аналіз та порівняння тягових електроприводів з різними типами електродвигунів (постійного струму, асинхронний, вентильний з постійними магнітами). Показано, що найбільш перспективним є тяговий електропривод з вентильним двигуном з постійними магнітами. Запропоновано віртуальну модель електроприводу з ВД у середовищі MATLAB.*

*Ключові слова: Вентильний двигун, тяговий електропривод, електронавантажувач, система керування, віртуальна модель електропривода*

**ПОВЫШЕНИЕ УРОВНЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ЭЛЕКТРОПРИВОДА**  
**ЭЛЕКТРОПОНРУЗЧИКОВ**

*Проведены анализ и сравнение тяговых электроприводов с различными типами электродвигателей (постоянного тока, асинхронный, вентильный с постоянными магнитами). Показано, что наиболее перспективным является тяговой электропривод с вентильным двигателем с постоянными магнитами. Предложена виртуальная модель электропривода с ВДв среде MATLAB.*

*Ключевые слова: Вентильный двигатель, тяговой электропривод, электропозрузчик, система управления, виртуальная модель электропривода.*

**THE INCREASE OF ENERGY EFFICIENCY FOR THE FORKLIFTSELECTRICDRIVE**

*Were performed the analysis and comparing of traction drives with different types of electric motors (DC, asynchronous, valve with permanent magnets). It is shown that the most promising is the traction drive with brushless motor with permanent magnets. Virtual model of electric drive with the valve motor was suggested in program MATLAB.*

*Keywords: Valve tractive motor, tractive electric drive, electric forklift, control system, virtual model of the drive.*

**Вступ**

Вибір того чи іншого тягового електродвигуна в електроприводі електронавантажувача, насамперед, залежать від галузі застосування електронавантажувача і вимог, що ставляться до нього. Незважаючи на те, що кожен тяговий електропривод пред'являє власні вимоги до системи управління і має оптимальні характеристики лише в певному діапазоні частот обертання, до нього ставляться такі основні вимоги: простота виготовлення, надійність, зручність обслуговування, легкість регулювання, простота системи керування, високий момент у всьому діапазоні частот обертання, придатність для рекуперативного гальмування, високий ККД.

**Основні завдання:**

- Визначення напрямків підвищення рівня енергоефективності електронавантажувачів
- Вибір енергоефективного приводу для електронавантажувача
- Дослідження способів керування ВД для електронавантажувача
- Дослідження електроприводу з ВД за допомогою віртуальних моделей

### Мета та постановка задачі

Дане дослідження присвячене питанням вибору типу електричних двигунів для їх практичного застосування у електронавантажувачах. Метою даного дослідження є обґрунтування застосування електроприводів з вентильними двигунами з постійними магнітами для електронавантажувачів. Для цього буде проведено порівняльний аналіз наступних приводів: ППС, ЧРП та привода з ВД. Головною задачею є розробка та дослідження віртуальної моделі електроприводу з ВД у середовищі MATLAB.

### Визначення напрямків та заходів підвищення рівня енергоефективності електронавантажувачів

Означимо напрямки та заходи підвищення рівня енергоефективності електронавантажувачів (рис.1).

*Перший напрямок* полягає в економії електроенергії електронавантажувачами за рахунок підвищення ефективності виконання технологічного процесу. Для цього потрібно вжити такі заходи: контроль стану електронавантажувача; узгодження режимів роботи установки при зміні навантаження; підвищення ККД електронавантажувача; забезпечення нормованого завантаження; контроль стану електронавантажувача; регулювання продуктивності електронавантажувача; застосування літійних АКБ.



Рисунок

1 - Напрямки та заходи підвищення рівня енергоефективності електронавантажувачів

*Другий напрямок* полягає у виборі раціонального типу електропривода для електронавантажувача. Сюди входять: удосконалення процедури вибору двигуна для конкретної технологічної установки з метою дотримання номінального теплового режиму двигуна під час експлуатації; перехід на енергозберігаючі двигуни та двигуни поліпшеної конструкції; використання вентильного двигуна; підвищення швидкодії електропривода; повернення енергії до АКБ при гальмуванні. Удосконалювання технологічних процесів



безпосередньо пов'язане із застосуванням регульованого електропривода. Це сприяє вирішенню завдань забезпечення оптимальних режимів роботи механізмів, зростання продуктивності праці, підвищення ефективності використання енергії, надійності й строку служби устаткування.

Третій напрямок полягає у виборі раціональних режимів роботи й експлуатації електропривода. Сюди входять: вибір раціонального діапазону регулювання швидкості електропривода в залежності від технологічних умов роботи електронавантажувача; вибір раціонального способу регулювання швидкості в залежності від характеру зміни навантаження; мінімізація струму і втрат енергії СДПМ при зміні навантаження; оптимізація динамічних режимів.

Необхідність дослідження технологічного режиму робочої машини потребує застосування можливого комплексу заходів, що забезпечують ефективність енергозбереження. Необхідно враховувати, що в умовах істотного зниження продуктивності агрегатів, відсутності можливості використання регульованого електропривода резервом економії електроенергії є періодичні відімкнення енергоємних споживачів.

### Вибір енергоефективного та надійного електроприводу для електронавантажувача

Для визначення найбільш доцільного електроприводу для електронавантажувача розглянемо три типи електроприводів, які використовувались в електричних навантажувачах, а саме: привод постійного струму (ППС), частотно-регульований привод (ЧРП), привод з вентильним двигуном (ВД) (рис. 2).

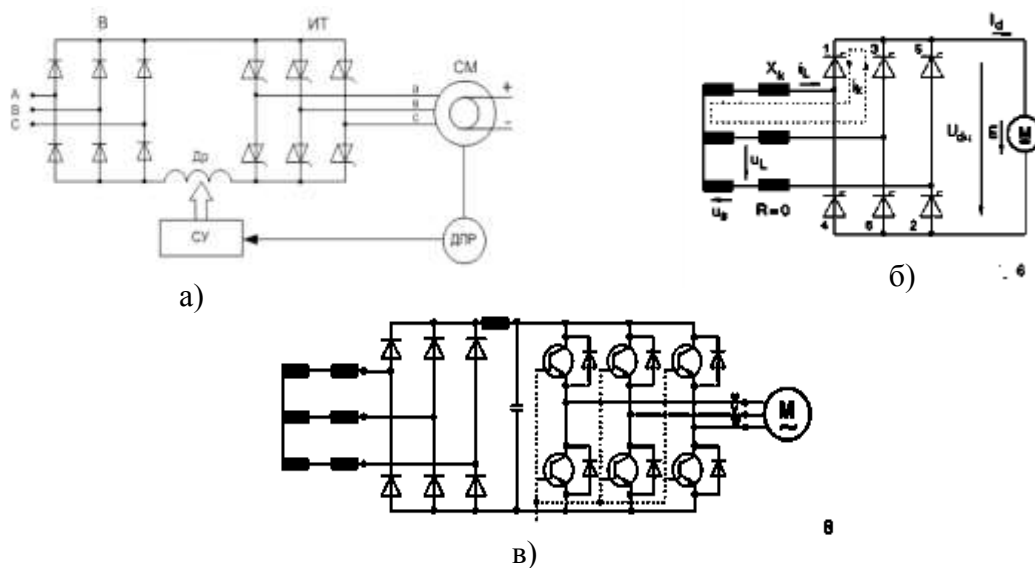


Рисунок 2 – Структурні схеми а) приводу з ВД, б) ППС, в) ЧРП

Результати порівняння зведено в табл.1.

Порівняльний аналіз показав, що найбільш перспективним є електропривод з ВД з постійними магнітами, який має значно меншу вагу (в 1,5-2,5 рази менше в порівнянні з іншими), максимальний ККД і кращі регульовальні характеристики.

Таблиця 1 - Основні порівняльні характеристики тягових електроприводів з

двигунами: асинхронним, вентильним і постійного струму

Параметри	Тип тягового електроприводу з двигуном		
	постійного струму	з асинхронним двигуном (ЧРП)	з ВД зі збудженням від постійних магнітів
Максимальна потужність, кВт	40	40	40
Максимальний струм, А	410	500	192
Частота обертання			
- номінальна	2200	3000	5000
- максимальна	6700	8000	13000
Маса тягового двигуна, кг	92	70	26,4
Маса вентильного перетворювача, кг	8	22	22
Маса ТЕП, кг	109	92	48,4
ККД, %	75	85	94
Вартість ТЕП, у.о.	3500	5000	5400

### Дослідження та вибір оптимального способу керування ВД для електронавантажувача

Розглянемо три основні способи керування ВД.

*Перший (найпростіший) спосіб керування* полягає в підтриманні постійного значення кута випередження  $\beta_0 = \text{const}$ . При цьому джерелом напруги синхронізації служить датчик положення ротора (ДПР). Фазовий зсув між першою гармонікою струму і ЕРС холостого ходу

$$\psi_1 = \varphi + \theta = \beta_0 - \frac{\gamma}{2},$$

де  $\varphi$  - кут зсуву між векторами основної гармоніки струму і фазної напруги;  $\theta$  - кут навантаження СМ;  $\gamma$  - кут комутації.

*У другому способі керування* підтримується сталим кут випередження  $\beta = \text{const}$ . Джерелом напруги синхронізації є датчик напруги статора (ДНС). В цьому випадку:

$$\psi_1 = \beta - \frac{\gamma}{2} + \theta$$

*Третій спосіб* полягає в підтриманні постійної величини кута запасу  $\delta$  на мінімальному рівні:

$$\beta_0 = \beta_{\min} = f(\gamma, \theta), \text{ при } \delta = \delta_{\min} = \text{const};$$

$$\beta = \beta_{\min} = f(\gamma), \text{ при } \delta = \delta_{\min} = \text{const}.$$

При цьому

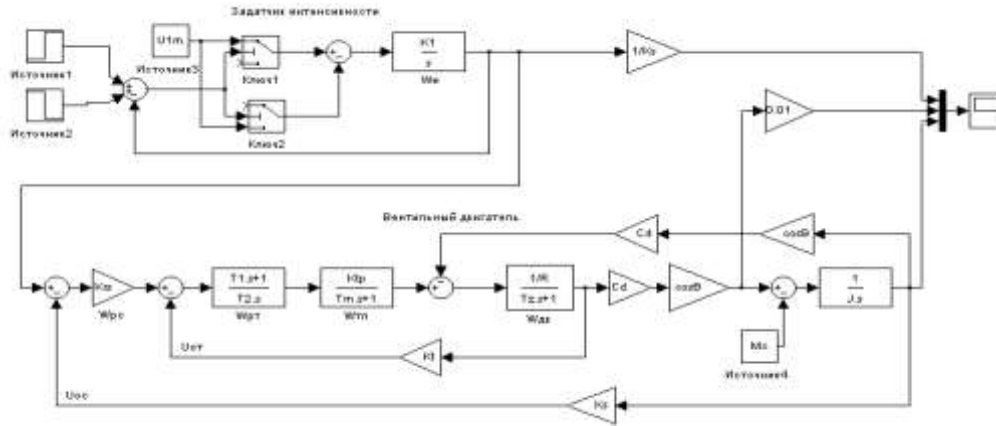
$$\psi_1 = \frac{\gamma}{2}\varphi + \delta_{\min} + \theta.$$

Останній спосіб керування вимагає наявності датчиків кутів комутації та навантаження, а також системи імпульсно-фазового управління (СІФУ) синхронізованої від ДПР або ДНС. Але даний спосіб є оптимальним за всіма параметрами, і при такому керуванні електропривод буде працювати найбільш енергоефективно. Для цього способу керування параметри системи будуть постійно змінюватись для підтримки постійної величини кута запасу  $\delta$  на мінімальному рівні, для будь-якого режиму роботи двигуна. Отже, для реалізації цього способу керування ВД необхідно використати регулятор з fuzzy-логікою, котрий буде постійно змінювати необхідні параметри системи.

### Моделювання та вибір енергоефективної віртуальної моделі приводу з ВД

Розглянемо модель САК ВД, розроблену у середовищі MATLAB. Управління ВД у даній моделі реалізовано за принципом підпорядкованого регулювання. Однократно інтегруюча

САК складається з двох контурів - швидкості та струму. Кожен контур містить свій регулятор (регулятор швидкості - пропорційний, струму - пропорційно-інтегральний) і негативний зв'язок за контрольованою змінною. На вхід системи подається сигнал від датчика інтенсивності (рис.3).



На рис.4 наведено графіки зміни заданої і дійсної швидкості, моменту ВД: а)  $\beta = 0^\circ$  при  $M_C = 0$ , б)  $\beta = 30^\circ$  при  $M_C = 0,5M_H$ , в)  $\beta = 60^\circ$  при  $M_C = M_H$  та  $U_3 = 30\%$ ; г)  $\beta = 60^\circ$  при  $M_C = M_H$  та  $U_3 = 50\%$ , отримані в результаті комп'ютерного моделювання.

Рисунок 3 – Схема замкнутої САК ВД в середовищі MATLAB

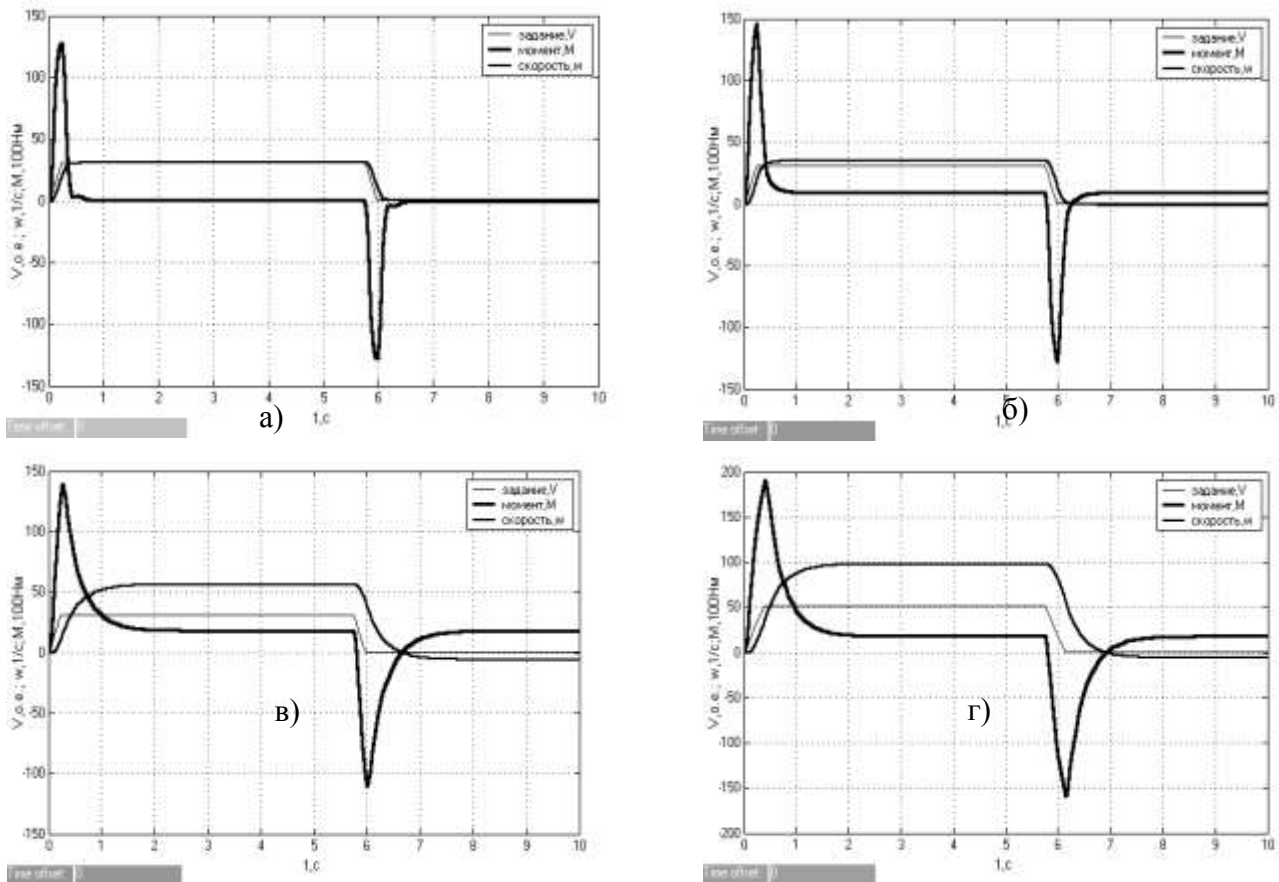


Рисунок 4 – Результати комп'ютерного моделювання режимів пуску та гальмування  
Результати моделювання процесу реверсу частоти обертання ВД на повному ході

змінюю кута випередження наведено на рис. 5. Де а)  $\beta=70^\circ$ , б)  $\beta=80^\circ$ , в)  $\beta=100^\circ$ , г)  $\beta=110^\circ$  при  $M_c=M_n$  и  $U_3=100\%$ .

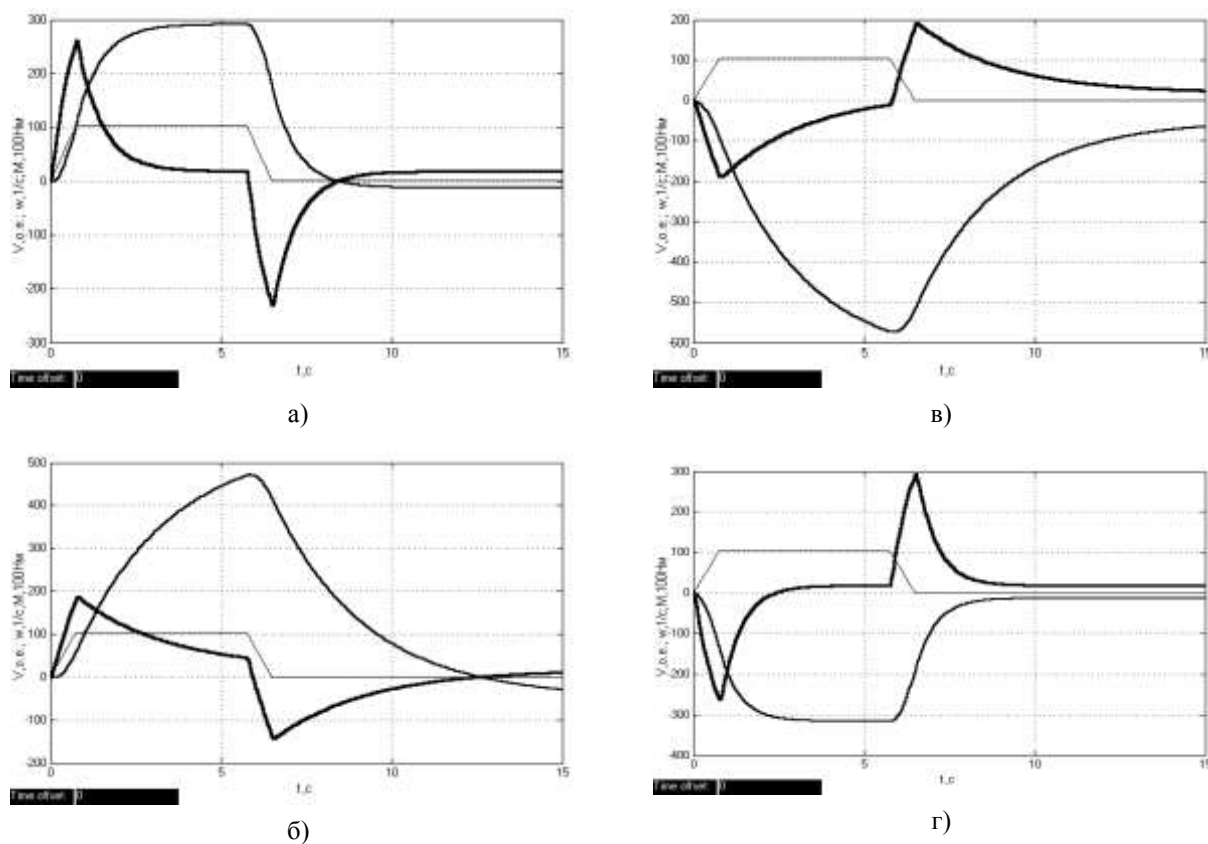


Рисунок 5 – Результати комп'ютерного моделювання режиму реверсу

Результати комп'ютерного моделювання ВД показали високу збіжність з експериментальними даними, отриманими на лабораторному стенді. Дана модель з достатньою достовірністю відображає електромагнітні та електромеханічні процеси в таких системах.

### Висновки

Виходячи з результатів порівняння основних характеристик приводів постійного і змінного струму, в якості тягового двигуна для електронавантажувача було вибрано вентильний привод.

Означено основні напрямки енергозбереження для електронавантажувачів:

- економія електроенергії електронавантажувачами за рахунок підвищення ефективності виконання технологічного процесу;
- вибір раціональних режимів роботи й експлуатації електропривода;
- вибір раціонального типу електропривода для електронавантажувача.

Визначено, що найбільш енергоефективним є вентильний двигун зі збудженням від постійних магнітів.

Встановлено, що для реальних кутів комутації і закону управління  $\beta_{\min}=f(\gamma)$  при  $\delta_{\min}=\text{const}$  показники якості напруги і потужності найкращі, що дуже добре впливає на енергоефективність ВД та на всі показники електропривода.

Запропонована віртуальна модель ВД з підпорядкованим керуванням. З її допомогою досліджено електромагнітні та електромеханічні процеси ВД. Виходячи з результатів моделювання видно, що ця модель має високі динамічні характеристики, що в свою чергу підтверджує ефективність та доцільність використання ВД з постійними магнітами у електронавантажувачах.

#### Література

1. Закладний О. М. Електропривод: Навч. посіб. / О.М. Закладний, В.В. Прокопенко, О.О. Закладний. – К.: Видавництво «ОсвітаУкраїни», 2009. –351с.
2. Закладной О.А. Функциональное диагностирование энергоэффективности электромеханических систем: Монография / О.А. Закладной. – М.: Издательство «Либра», 2013. – 195 с.
3. Acarnley P.P., Watson J.F. Review of Position-Sensorless Operation of Brushless Permanent-Magnet Machines// IEEE Trans. Ind. Electron. - Vol. 53, No.2, P. 352-362, Apr. 2006.

УДК681.5121

Золотов В.М., студент, Добровольський А.В., студент, Торопов А.В., к.т.н., ст. викладач

**АЛГОРИТМ ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ТА ХАРАКТЕРИСТИК  
ВИСКОМОМЕНТНИХ КОЛЕКТОРНИХ ДВИГУНІВ ТА ЙОГО ПРАКТИЧНА  
РЕАЛІЗАЦІЯ НА БАЗІ ПЛК**

*У даній роботі гостро поставлене питання вирішення проблем діагностування електричних машин постійного струму, зокрема високомоментних колекторних двигунів постійного струму. Було запропоновано проект стенду, основною метою якого є реалізація принципу моніторингу та діагностики, на основі математичної моделі та проведених симуляцій.*

**АЛГОРИТМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ И ХАРАКТЕРИСТИК  
ВЫСОКОМОМЕНТНЫХ КОЛЕКТОРНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ И ЕГО ПРАКТИЧЕСКАЯ  
РЕАЛИЗАЦИЯ НА БАЗЕ ПЛК**

*В данной работе остро стоит вопрос решения проблем диагностики электрических машин постоянного тока, в частности высокомоментных коллекторных двигателей постоянного тока. Было предложено проект стенда, основной целью которого является реализация принципа мониторинга и диагностики, на основе математической модели и проведенных симуляций.*

**THE ALGORITHM OF DETERMINATION PARAMETERS AND CHARACTERISTICS  
COMMUTATE MOTORS AND ITS PRACTICAL REALIZATION ON THE BASIS OF  
PLC**

*In this work is an issue solve the problems of diagnostics dc electrical machines, in particular the high-torque DC motor commutator. It was suggested at the stand, the main aim of which is to implement the principle of monitoring and diagnosis, based on a mathematical model and performed simulations.*

Із загостренням проблем енергозбереження стає актуальною та затребуваною практикою підвищення ефективності методів збору та моніторингу основних параметрів керованої машини які широко використовуються в усіх сферах промисловості. Саме вирішенню цієї проблеми і присвячена дана стаття, що забезпечує її актуальність.

Електричні моментні двигуни постійного струму (ДПС) широко використовуються в якості виконавчих елементів в сучасних системах автоматики, телемеханіки, вимірювальної техніки. Використання в конструкції таких двигунів високоенергетичних постійних магнітів в порівнянні з електромагнітним збудженням забезпечує високі значення кутового прискорення в перехідних режимах роботи; рівномірний хід при малих частотах обертання; здатність витримати велике перевантаження по струму без розмагнічування магнітної системи; відносно велику теплову постійну часу і можливість установки двигунів в механізмах з передачею обертаючого моменту безпосередньо на виконавчий пристрій.

Основною метою цієї роботи є створення алгоритму збору параметрів та характеристик високомоментних колекторних двигунів та реалізація його на практиці за допомогою сертифікованих мікропроцесорних пристроїв.

Важлива властивість ДПС з незалежним збудженням від постійних магнітів полягає в тому, що результуючий момент  $M$ , пропорційний струму якоря  $I_a$ , споживаного ним від джерела живлення:

$$M_{\text{ос}} = k_m * I_a \quad (1)$$

де  $k_e$  - коефіцієнт визначається конструкцією ДПС

маючи значення  $k_e$ , яке можна отримати знявши експериментальну генераторну

характеристику моментного двигуна  $E = f(x)$ :

$$k_e = \frac{E}{\omega}$$

Можна визначити пусковий та обертовий момент при будь-якому значенні струму якоря  $I_a$ . Динаміка зміни струму якоря дозволяє дослідити динаміку обертаючого моменту.

Якірне коло ДПС характеризується параметрами: активним опором  $R_a$  і індуктивністю  $L_a$  якірної обмотки. Ротор, що має момент інерції  $J_r$ , приводиться в рух одночасною дією електромагнітного моменту двигуна  $M_{дв}$  і моменту зовнішніх сил  $M_{зс}$ , прикладеного до вала двигуна.

Рівняння напруги ДПС:

$$U_a - E = R_a * I_a + L_a \frac{dI_a}{dt} \quad (2)$$

- де складова  $R_a * I_a$  характеризує падіння напруги на активному опорі якірного ланцюга, а член  $L_a (dI_a / dt)$  відображає наявність ЕРС самоіндукції, що виникає в обмотці при зміні струму якоря. У представленому рівнянні не враховується падіння напруги на щітках, яке залежить нелінійно від струму якоря, але має, як правило, відносно невелике значення в порівнянні з напругою  $U_a$ .

Диференціальне рівняння, яке характеризує процеси в механічній частині двигуна, складається на підставі другого закону Ньютона:

$$J_r \frac{d\omega_{дв}}{dt} = M_{дв} - M_{зс} \quad (3)$$

Використовуючи вищевведені формули і приводячи диференціальні рівняння до нормальної форми Коші, отримаємо опис ДПС у формі:

$$\begin{cases} \frac{dI_a}{dt} = \frac{(U_a - R_a I_a - k_e \omega)}{L_a}, \\ \frac{d\omega_{дв}}{dt} = \frac{k_m I_a - M_{зс}}{J_r}. \end{cases} \quad (4)$$

Де  $k_m$  - коефіцієнт пропорційності, називається постійною моменту двигуна,

$k_e$  - коефіцієнт пропорційності, називається постійною ЕРС двигуна.

За рівняннями за допомогою пакета SIMULINK спеціалізованої програми MatLab була створена структурна схема ДПС для його математичного моделювання.

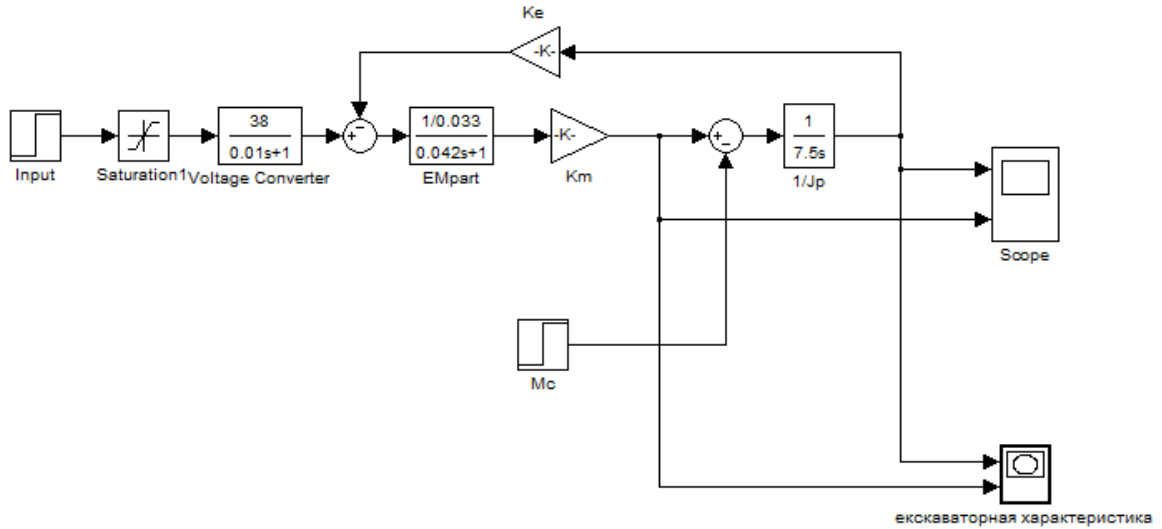


Рисунок 1 Математична модель ДПТ

Практична реалізація даної роботи складається зі схеми, що налічує у собі блок вимірювальних приладів і моментний двигун постійного струму з збудженням від постійних магнітів МІУ152.

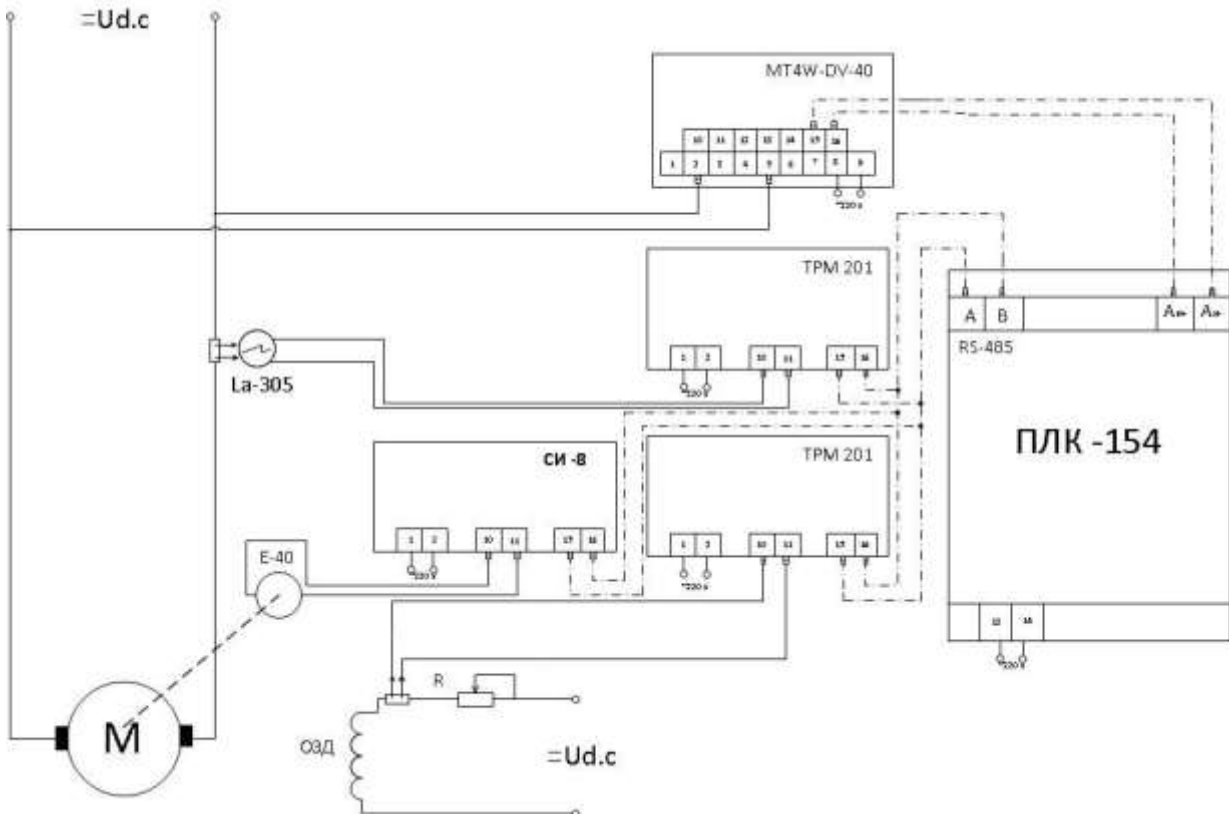


Рисунок 2: Принципова схема ДПС на базі ПЛК.

Стенд створений в контексті даного проекту налічує в своєму складі:

1. Двоканальний вимірювач-регулятор з RS-485 ОВЕН ТРМ201 для підключення датчика струму RS.



2. Програмований логічний контролер ОВЕН ПЛК 154 для побудови системи управління та диспетчеризації за допомогою дротових засобів - використовуючи вбудовані інтерфейси Ethernet, RS-485.

Створення програм для контролерів ОВЕН ПЛК154, і їх конфігурування здійснюється професійною системою програмування CoDeSys v.2.3.6.1.

3. Мультиметр Autonics MT4W (din W96 x H 48) має 4-х розрядний дисплей і може виконувати функції індикатора, сигналізатора (позиційного регулятора), і має інтерфейсний вихід для інтеграції приладу в мережу RS485.

4. Живлення стенду здійснюється від мережі.

**Висновки.** У цій комплектації система дозволяє вирішувати широке коло навчальних і наукових завдань:

- автоматизація процесів збору і обробки вимірювальної інформації;
- автоматичне формування сигналів впливу (аналогових і цифрових) на систему регулювання і вимірювання реакції системи на цей вплив;
- контроль пульсації обертаючого моменту відносно його середнього значення за один оберт;
- відображення досліджуваних сигналів на екрані дисплея;
- дослідження цифрових систем автоматичного регулювання приводами та іншими об'єктами;
- програмування цифрових систем керування в реальному часі;

У подальшому основним пріоритетом є налаштування керованої машини за допомогою програмних модулів на основі мови програмування C++ за для підвищення енергоефективності електроприводу.

#### Перелік посилань:

1. М.В. Бурштинська, Л.С. Копчак, М.В. Хай. Апарати захисту та керування в електричних установках низької напруги. – Львів «Львівська політехніка», 2007.-184с.
2. Илюхин Ю.В., Медведев И.В. Электромеханические и мехатронные системы. – Москва «Московский университет нефти и газа», 2005. – 132с.
3. Elektroprivod.com.ua. «Теория электропривода и промышленной электроники.» Режим доступа – платный.

УДК 658.512

Лебедев Л.М. доц., Дубовик В.Г.стар.викл., Бровко .О. студ.  
**ДВОХТРУБНА ТРИФАЗНА УСТАНОВКА ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ ТРУБ  
ВІД АСФАЛЬТОСМОЛОПАРАФІНОВИХ ВІДКЛАДЕНЬ**

*Розглядаються сучасні погляди на стан проблеми асфальтосмолопарафінових відкладень в нафтопромисловому обладнанні і можливі методи її вирішення .*

*Ключові слова: асфальтосмолопарафінові відкладення, труба, трифазна установка, очистка,*

**ДВУХТРУБНАЯ ТРЕХФАЗНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ОЧИСТКИ ТРУБ  
ОТ АСФАЛЬТОСМОЛОПАРАФИНОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ**

*Рассматриваются современные взгляды на состояние проблемы асфальтосмолопарафиновых отложений в нефтепромышленном оборудовании и возможные методы ее решения.*

*Ключевые слова: асфальтосмолопарафиновые отложения, труба, трифазная установка, очистка*

**DOUBLE-PIPE-THREE-PHASE PLANT FOR CLEANING PIPES FROM  
ASPHALT-RESIN-PARAFFIN SEDIMENT**

*Under consideration is the current perspective of the problem of formation of deposits of asphalt, resin and paraffin deposits in oil field equipment and the possible ways of it's solution.*

*Keywords: deposits of asphalt, resin and paraffin, pipe, double-pipe-three-phase plant, cleaning.*

**Мета роботи:** підвищення ефективності очищення внутрішніх поверхонь труб від асфальтосмолопарафінових відкладень шляхом контрольованого одночасного прогрівання двох труб, що піддаються очищенню, по всій їх довжині за допомогою трифазної установки.

**Матеріал і результати дослідження.**

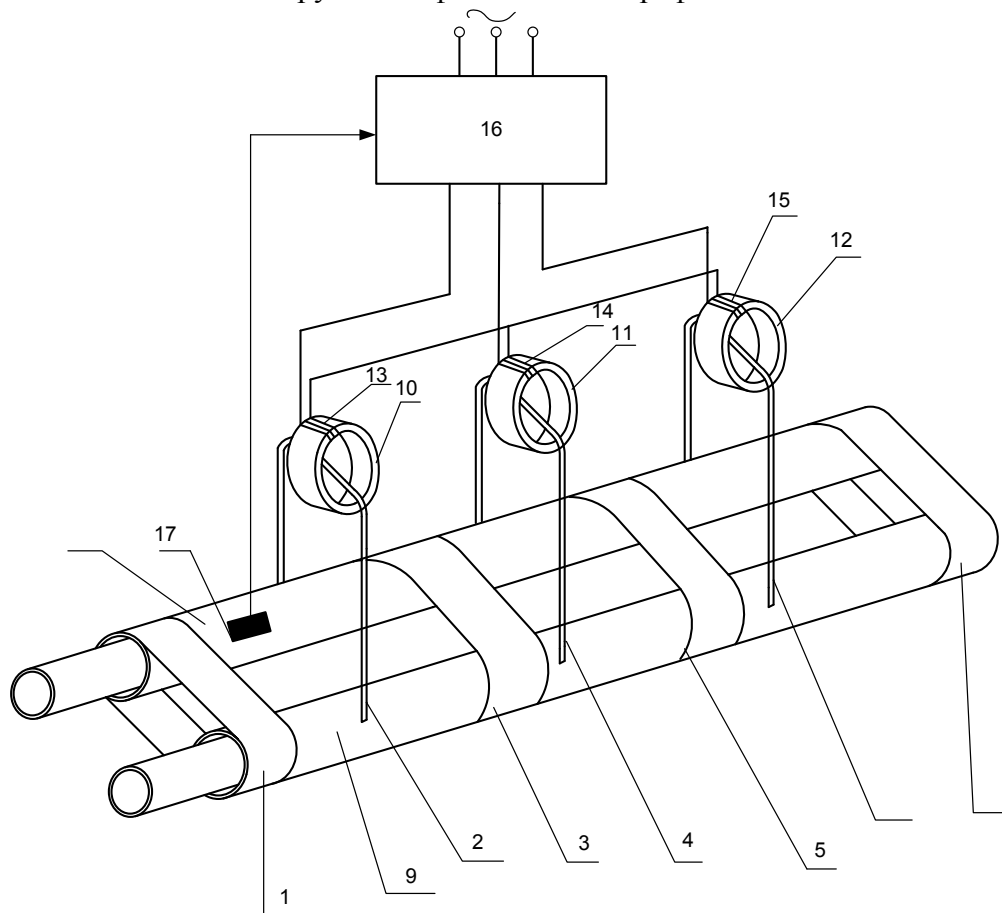
Відома установка для очищення труб від асфальтосмолопарафінових відкладень, що включає нагрівач труб [1]. Причиною низької ефективності очищення труб є одночасна обробка пакету труб, що затруднює контроль за температурним режимом і якістю очищення кожної труби, дороге устаткування для очищення та суттєві витрати пального.

Найбільш близьким до пропонованого є пристрій очищення труб від асфальтосмолопарафінових відкладень, що містить теплоізолюваний корпус в якому проводять нагрів труб, що підлягають очищенню, обмотки індукційного нагрівача підключені до виходу напівпровідникового перетворювача частоти, до першого входу якого підключений вихід термодатчика, розташованого в контрольованій точці [2]. Причиною низької ефективності очищення труб від асфальтосмолопарафінових відкладень є посекційний нагрів тільки однієї труби, що збільшує загальний час очищення та витрати теплової енергії.

Для вирішення технічної задачі трифазна установка для очищення двох труб від асфальтосмолопарафінових відкладень, що містить теплоізолюваний корпус в якому проводять нагрів труб, що підлягають очищенню, обмотки індукційного нагрівача підключені до виходу напівпровідникового перетворювача частоти, до першого входу якого підключений вихід термодатчика, розташованого в контрольованій точці, відрізняється тим, що дві теплоізолювані струмопровідні труби сполучені між собою через проміжки по довжині сімома електричними перемичками, починаючи з їх країв, друга, четверта та шоста електричні перемички пропущені через вікна відповідних магнітопроводів, обмотки яких з'єднані за

схемою «зірка» та підключені до виходу трьохфазного напівпровідникового перетворювача частоти і напруги, до другого входу якого підключено сигнал ПУСК. [3].

В цій установці нагрів здійснюється відразу в двох трубах, причому одночасно по всій їх довжині, що зменшує тривалість очищення і величину теплових витрат в порівнянні з почерговим нагріванням труб. Стандартні перетворювачі частоти дозволяють роботу з частотою порядку 600... 700 Гц. Підвищена частоти дає змогу зменшити масу і габарити магнітопроводів індукційного нагрівача та їх обмоток. Трифазна система дозволяє симетрувати навантаження на електричну мережу живлення. На фіг. 1 зображена трифазна установка для очищення двох труб від асфальтосмолопарафінових відкладень.



Трифазна установка для очищення двох труб від асфальтосмолопарафінових відкладень містить електричні перемички 1... 7 встановлені між струмопровідними трубами 8 і 9 по краях і через проміжки по довжині. Перемички 2, 4, 6 пропущені скрізь відповідні магнітопроводи 10, 11, 12 індукційного нагрівача, охоплені обмотками 13, 14, 15. Виходи обмоток 13, 14, 15 з'єднані за схемою «зірка», а входи - з виходом напівпровідникового перетворювача частоти 16. Частини обох труб між перемичками разом з самими перемичками утворюють три одновиткові секції. Напівпровідниковий перетворювач частоти та напруги 16 підключений до мережі живлення  $U_M$  змінного струму промислової частоти. Вихід термодатчика 17 сполучений з першим входом перетворювача частоти 16. Термодатчик 17 розташований на поверхні струмопровідної труби. Теплоізоляційний шар струмопровідних труб на фіг.1 не показаний.

Працює пристрій таким чином. Подають трифазну напругу на обмотки 13, 14, 15 магнітопроводів 10, 11, 12 індукційного нагрівача. Під дією струмів, що протікають по обмотках магнітопроводів, в одновиткових секціях виникають електрорушійні сили. Під дією

цих електрорушійних сил в одновиткових секціях протікають струми, що визивають нагрів стінок струмопровідних труб. Створення трьох електричних одновиткових секцій зменшує омичний опір кожної з секцій, збільшує струм через струмопровідні труби і симетрує навантаження трифазної електричної мережі живлення. Перемички пропущені скрізь магнітопроводи виконують багат шаровими з тим, щоб зменшити їх сумарний активний омичний опір, зменшити нагрів і збільшити площу теплообміну для відведення тепла від обмоток. Між струмопровідними трубами і трубами що піддаються очищенню виникає механічний і електричний контакт. Тому частина струму одновиткових секцій протікає також і по трубах, що піддаються очищенню. Таким чином, нагрів труб, що піддаються очищенню, проходить за допомогою теплового випромінювання там де немає механічного контакту із струмопровідними трубами, теплопровідності в місцях механічного контакту із струмопровідними трубами, і тепла, що утворюється при протіканні частини струмів по трубах що піддаються очищенню. Після досягнення в контрольованій точці струмопровідної труби температури, що перевищує температуру плавлення відкладень, підтримують її на цьому рівні за допомогою системи авторегулювання перетворювача частоти 16. Асфальтосмолопарафінові відкладення в тонкому шарі біля стінок труб, що піддаються очищенню, нагріваються раніше за рахунок високої теплопровідності металевих стінок труби, плавляться і виконують роль прошарку що змащує при пересуванні відкладень які не встигли розплавитись. Під дією сили тяжіння, якщо труби розташувати під кутом до горизонту, або під дією зовнішніх сил, наприклад парогенератора, асфальтосмолопарафінові відкладення, що не встигли розплавитися, видаляють з середини труб.

#### **Висновок:**

За допомогою двохтрубної трифазної установки підвищили ефективність очищення внутрішніх поверхонь труб від асфальтосмолопарафінових відкладень шляхом контрольованого одночасного прогрівання двох труб, що піддаються очищенню, по всій їх довжині. Дана схема забезпечить покращення якості процесу очистки труб від відкладень.

#### **Література**

- 1) Патент Российской Федерации №2169627, МПК В08В9/02. Способ очистки труб от асфальтосмолопарафиновых отложений. Лобарев И.В., Евдокимов А.Л. Опубл. 27.06.2001 г.
- 2) Патент Российской Федерации 2437726. В08В 9/00. Устройство очистки труб от асфальтосмолопарафиновых отложений. Орлов А.И., Попов И.И., Соловьев В.Г., Зелди И.П. Опубл. 27.12.2011. Бюл. №36.
- 3) Заявка № u 2013 06066 на корисну модель від 16.05.13 р. МПК В08В 9/00. Дубовик В.Г., Лебедев Л.М., Бровко В.О.

УДК 658.512

Лебедев Л.М. доц., Дубовик В.Г., стар викл., Вишнявська Т.С., студ.  
**ДВОХТРУБНА УСТАНОВКА ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ ТРУБ ВІД  
АСФАЛЬТОСМОЛОПАРАФІНОВИХ ВІДКЛАДЕНЬ**

*Розглянута нова схема двохтрубної установки, яка забезпечує більш ефективне очищення от асфальтосмолопарафінових відкладень. Дана схема забезпечить покращення якості процесу очистки труб.*

*Ключові слова: очистка, асфальтосмолопарафінові відкладення, труба, двохтрубна установка.*

**ДВУХТРУБНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ОЧИСТКИ ТРУБ ОТ  
АСФАЛЬТОСМОЛОПАРАФИНОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ**

*Рассмотрена новая схема двухтрубной установки, которая обеспечивает более эффективную очистку труб от асфальтосмолопарафиновых отложений. Данная схема обеспечит улучшение качества процесса очистки труб.*

*Ключевые слова: очистка, асфальтосмолопарафиновые отложения, труба, двухтрубная установка.*

**DOUBLE-PIPE PLANT FOR CLEANING PIPERS FROM ASPHALT-RESIN-PARAFFIN  
SEDIMENT**

*Considered the new scheme double-pipe installation that provides more effective cleaning against asphalt-resin-paraffin sediment. This scheme will provide improved quality of cleaning pipes.*

*Keywords: cleaning, deposits of asphalt, resin and paraffin, pipe, double-pipe plant.*

**Вступ.** Відомий спосіб очищення труб від асфальтосмолопарафінових відкладень, що включає нагрів труб до температури, що перевищує температуру плавлення відкладень, шляхом теплового випромінювання з подальшим видаленням продуктів плавлення [1]. Причиною великих масогабаритних показників установки, яка реалізує спосіб, є обробка пакету труб з використанням авіаційної турбіни.

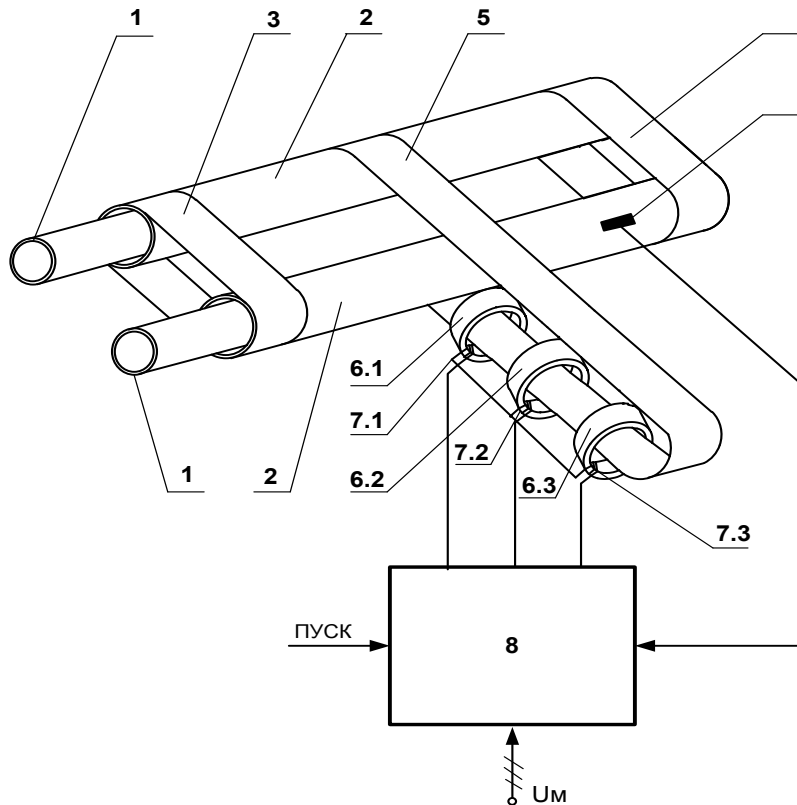
Найбільш близьким до запропонованого є пристрій очищення труб від асфальтосмолопарафінових відкладень, що містить обмотки індукційного нагрівача підключені до виходу напівпровідникового перетворювача частоти, з блоком управління до входу якого підключений вихід термодатчика, розташованого в контрольованій точці, теплоізоляція порожнистої труби в якій проводять нагрів труб, що піддаються очищенню, приймальна ємкість для збору витягнутих асфальтосмолопарафінових відкладень [2]. Причиною великих маси і габаритів індукційного нагрівача установки, яка реалізує спосіб, є розташування обмоток індукційного нагрівача навкруги теплоізольованого корпусу в якому розміщують труби, що підлягають очищенню, а також розташування секцій нагрівача вздовж усієї довжини корпусу нагрівача.

**Мета роботи.** Зменшити масу і габарити індукційного нагрівача для двох труб, що піддаються очищенню, шляхом використання концентрованої, а не посекційної вздовж двох труб обмотки, а також намотки витків індукційного нагрівача навкруги магнітопроводу, переріз якого значно менший ніж переріз теплоізольованого корпусу, щоб забезпечити більш ефективне очищення.

**Матеріал і результати дослідження.** Для усунення недоліків двохтрубна установка для очищення від асфальтосмолопарафінових відкладень, що містить теплоізольований корпус, в якому проводять нагрів труб, що піддаються очищенню, обмотки індукційного нагрівача, підключена до виходу напівпровідникового перетворювача частоти, до першого входу якого

підключений вихід термодатчика, розташованого в контрольованій точці, відрізняється тим, що теплоізольовані струмопровідні труби сполучені між собою по кінцях і по середині багатшаровими електричними перемичками, середня багатшарова електрична перемичка пропущена скрізь вікна магнітопроводів, охоплених обмотками, з'єднаними за схемою «зірка» та підключеними до виходу трьохфазного напівпровідникового перетворювача частоти, силовий вхід якого приєднано до мережі змінного струму промислової частоти, а другий вхід сполучено з ланцюгом подачі сигналу ПУСК [3].

Причинно-наслідковий зв'язок між сукупністю істотних ознак і результатом, що досягається, наступний. Вторинне коло індукційного нагрівача виконано за схемою «відкритий трикутник», тобто за схемою потроєння частоти. Стандартні перетворювачі частоти дозволяють збільшити вихідну частоту до 600 Гц. Потроєння збільшує її до 1800 Гц. Це дає змогу зменшити габарити та переріз магнітопроводу за рахунок підвищеної частоти. Для того, щоб працювала схема трансформаторного потроєння частоти використовують магнітопровод в режимі глибокого насичення, що дозволяє також зменшити переріз магнітопроводу. Зменшений переріз магнітопроводу дозволяє мати зменшені габарити та масу обмоток індукційного нагрівача. На фіг. 1 зображена двохтрубна установка для очищення труб від асфальтосмолопарафінових відкладень.



Фіг. 1

Двохтрубна установка для очищення труб від асфальтосмолопарафінових відкладень містить труби, що піддаються очищенню 1, порожнисті струмопровідні труби 2, багатшарові електричні перемички 3, 4 по кінцях і перемичка 5 по середині струмопровідних труб 2. За допомогою середньої перемички 5 створено дві паралельні одновиткові секції. Одновиткові секції утворено з половинок двох труб і перемичок 3, 4. Одна секція розташована зліва від перемички 5, друга справа. Середня перемичка 5 загальна для обох секцій. Магнітопроводи 6.1, 6.2, 6.3 індукційного нагрівача охоплені обмотками 7.1, 7.2, 7.3. Вторинні кола

індукційного нагрівача, створені багатошаровою перемичкою 5, включені за схемою «відкритий трикутник». Первинні кола індукційного нагрівача – обмотки 7.1, 7.2, 7.3. з'єднані за схемою «зірка» і підключені до виходу перетворювача частоти 8. Перетворювач частоти 8 підключений до мережі  $U_m$  промислової частоти. Перший вхід перетворювача частоти 8 сполучений з виходом термодатчика 9 розташованого на поверхні однієї з струмопровідних труб. Струмопровідні труби 2 огорнуті шаром теплоізоляції. На фіг.1 теплоізоляційний шар не показаний.

Працює пристрій таким чином. Подають напругу промислової частоти на перетворювач частоти 8. З виходу перетворювача частоти 8 напруга підвищеної частоти (для стандартних перетворювачів частоти 600...700 Гц) подається на обмотки 7.1, 7.2, 7.3. індукційного нагрівача. Під дією струмів, що протікають в обмотках індукційного нагрівача, в вторинних ланцюгах індукуються струми потроєної частоти. В двох паралельних одновиткових секціях наводяться електрорушійні сили. Під їх дією в одновиткових ланцюгах протікають струми по багатошарових електричних перемичках і половинках струмопровідних труб. Створення паралельних електричних одновиткових секцій дозволяє зменшити сумарний омичний опір вторинного кола індукційного нагрівача і збільшити тим самим максимальний струм через струмопровідні труби. Перемички зроблені багатошаровими з тим, що би зменшити їх сумарний активний омичний опір і нагрів та збільшити площу теплообміну. Між струмопровідними трубами 2 і трубами 1, що піддаються очищенню виникає механічний і електричний контакт. Тому частина струму вторинних ланцюгів протікає також і по трубах 1, що піддаються очищенню. Таким чином, нагрів труб 1, що піддаються очищенню проходить за допомогою теплового випромінювання, теплопровідності в місцях механічного контакту із струмопровідними трубами 2 і тепла, що утворюється при протіканні частини струмів короткого замикання по стінках труб 1, що піддаються очищенню. Після досягнення заданої температури в контрольованій точці струмопровідної труби підтримують її на цьому рівні за допомогою перетворювача частоти 8. Асфальтосмолопарафінові відкладення в тонкому шарі біля стінок труб 1, що піддаються очищенню, нагріваються, плавляться змащують стінки. Під дією сил тяжіння, які виникають при розташуванні труб під кутом до горизонту, а також під дією зовнішніх сил отриманих, наприклад від парогенератора, асфальтосмолопарафінові відкладення, що не встигли розплавитися видаляються.

**Висновки.** Зменшення маси і габаритів індукційного нагрівача для двох труб, що піддаються очищенню, шляхом використання концентрованої, а не посекційної вздовж двох труб обмотки, а також намотки витків індукційного нагрівача навкруги магнітопроводу, переріз якого значно менший ніж переріз теплоізолюваного корпусу, сприяють ефективному очищенню труб від асфальтосмолопарафінових відкладень.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Патент Російської Федерації № 2169627, МПК В08В9/02. Способ очистки труб от асфальтосмолопарафиновых отложений. Лобарев И.В., Евдокимов А.Л.
2. Патент Російської Федерації № 2437726, МПК В08В 9/00. Устройство очистки труб от асфальтосмолопарафиновых отложений. Орлов А.И., Попов И.И., Соловьев В.Г., Зелди И.П. Опубл. 27.12.2011. Бюл. №36.
3. Заявка № u 2013 06065 на корисну модель від 16.05.13. Двохтрубна установка для очищення труб від асфальтосмолопарафінових відкладень. Дубовик В.Г., Лебедев Л.М., Вишнявська Т. С.

УДК 681.51

Лебедев Л.М. доц., Дубовик В.Г., ст. викл., Гусак Б.В., студ.

**СПОСІБ ОЧИЩЕННЯ ТРУБ ВІД АСФАЛЬТОСМОЛОПАРАФІНОВИХ ВІДКЛАДЕНЬ**

*Винахід відноситься до нафтогазовидобувної промисловості і може бути використаний для очищення від асфальтосмолопарафінових відкладень труб, демонтованих з нафтових свердловин.*

*Ключові слова: очищення, асфальтосмолопарафінові відкладення, труба.*

**СПОСОБ ОЧИСТКИ ТРУБ ОТ АСФАЛЬТОСМОЛОПАРАФИНОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ**

*Изобретение относится к нефтегазодобывающей промышленности и может быть использовано для очищения от асфальтосмолопарафиновых отложений труб, демонтированных из нефтяных скважин.*

*Ключевые слова: очистка, асфальтосмолопарафиновые отложения, труба.*

**METHOD TO CLEAN PIPES FROM ASPHALT-RESIN-PARAFFIN SEDIMENT**

*Invention belongs to oil and gas industry and can be used for cleaning from asphalt-resin-paraffin sediment pipes that were dismantled from oil well.*

*Keywords: cleaning, asphalt-resin-paraffin sediment, pipe.*

**Вступ.** Відомий спосіб очищення труб від асфальтосмолопарафінових відкладень, що включає нагрів труб до температури, що перевищує температуру плавлення відкладень, шляхом теплового випромінювання з подальшим видаленням продуктів плавлення. Причиною низької ефективності способу є обробка пакету труб, що ускладнює контроль за температурним режимом і якістю очищення кожної труби.

Найбільш близьким до пропонованого є спосіб очищення труб від асфальтосмолопарафінових відкладень, що включає встановлення їх під кутом до горизонту, нагрів за допомогою струмів, які протікають по трубах, що піддаються очищенню, до температури, що перевищує температуру плавлення асфальтосмолопарафінових відкладень, і підтримку її на заданому рівні до видалення продуктів плавлення. Причиною недостатньої ефективності очищення внутрішніх стінок труб від асфальтосмолопарафінових відкладень є нерівномірність температури при посекційному нагріві по довжині труби, що потребує прогріву секцій труб до більшої температури, затягує час очищення і підвищує споживання електроенергії.

**Мета роботи.** Технічним завданням, поставленим в основу винаходу, є підвищення ефективності очищення внутрішніх поверхонь труб від асфальтосмолопарафінових відкладень шляхом контрольованого нагріву двох труб, що піддаються очищенню, одночасно по всій довжині.

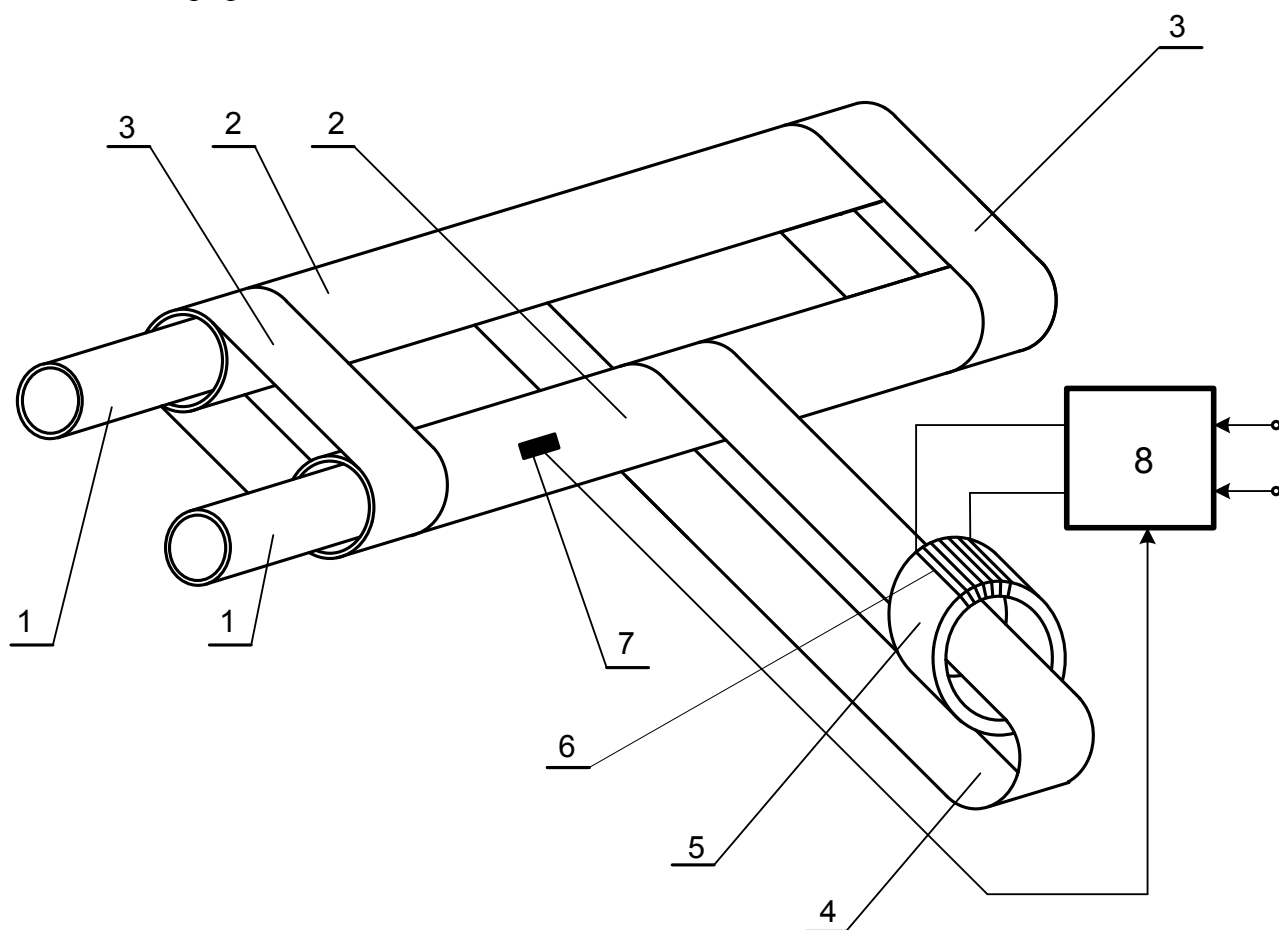
**Матеріал і результати дослідження.** Для вирішення технічної задачі спосіб очищення труб від асфальтосмолопарафінових відкладень, що включає нагрів за допомогою струмів, які пропускають по трубах, що піддаються очищенню, до температури, що перевищує температуру плавлення асфальтосмолопарафінових відкладень і підтримують її на заданому рівні до видалення продуктів плавлення, відрізняється тим, що труби, які піддаються очищенню, розміщують в внутрішньому просторі теплоізованих, струмопровідних труб, створюють механічний і електричний контакти між ними, пропускають струми по замкнених ланцюгах з струмопровідних труб, електричних перемичок між ними і труб, що піддаються очищенню, нагрівання труб, що піддаються очищенню, проводять за допомогою теплового випромінювання, теплопровідності і тепла що утворюється при протіканні струмів по трубах, що піддаються



очищенню, підтримують задане значення температури поверхні струмопровідних труб до видалення асфальтосмолопарафінових відкладень.

Нерівномірність температури при посекційному нагріві по довжині труби затуляє час очищення і підвищує споживання електроенергії, а також потребує прогріву секцій труб до більшої температури з урахуванням охолодження попередньої секції під час прогрівання наступної. Нагрів двох труб у способі, що пропонується, здійснюють по всій їх довжині одночасно до меншої температури. Датчик температури зручніше розміщувати на поверхні струмопровідних труб, тому підтримують задане значення температури поверхні струмопровідних труб.

На фіг. 1 зображено пристрій для реалізації способу очищення труб від асфальтосмолопарафінових відкладень.



Фіг. 1

Спосіб очищення труб від асфальтосмолопарафінових відкладень реалізують таким чином. Труби 1, що піддаються очищенню, вводять в струмопровідні труби 2 в горизонтальному положенні, а потім переводять їх в робоче положення під кутом до горизонту. Заздалегідь, за допомогою електричних перемичок, наприклад, перемичок 3 і 4, відповідно на кінцях та посередині струмопровідних труб 2, утворюють секції одновиткових вторинних ланцюгів трансформатора 5. При розташуванні електричних перемичок на середині і краях

струмопровідних труб та прокладанні середньої перемички 4 через вікно магнітопроводу трансформатора 5 утворюються дві паралельні одновиткові секції. Одна одновиткова секція розташована зліва від середньої перемички 4, друга – справа від неї. Теплоізоляція струмопровідних труб на фіг.1 не показана. Між трубами, що піддаються очищенню і струмопровідними трубами, виникає механічний і електричний контакти. Подають напругу на первинну обмотку 6 трансформатора 5. Під дією струмів, що протікають по первинній обмотці трансформатора, у вторинних паралельних одновиткових ланцюгах наводиться ЕРС (електрорушійна сила) порядку декількох вольт. Під дією цієї ЕРС по перемичках і струмопровідних трубах протікають струми в декілька тисяч ампер. За рахунок електричного контакту частина струмів протікає по трубах, що піддаються очищенню. Таким чином, нагрів труб, що піддаються очищенню, йде за допомогою теплового випромінювання, теплопровідності в місцях механічного контакту із струмопровідними трубами і тепла, що утворюється при протіканні струмів через труби, що піддаються очищенню. Досягнувши заданого значення температури на поверхні струмопровідних труб, підтримують його на цьому рівні. Контроль температури проводять за допомогою датчика температури 7. Заданий рівень температури підтримують змінюючи значення вихідної напруги джерела живлення 8 з вхідною напругою  $U_1$ . Підвищення температури асфальтосмолопарафінових відкладень приводить до розм'якшення і оплавлення тонкого шару вздовж внутрішніх поверхонь труб, що очищуються. Розплавлена частина цього шару служить мастилом, забезпечуючи просування твердих фракцій відкладень, що не встигли розплавитися. Основна маса асфальтосмолопарафінових відкладень усередині нагрітої труби, що очищується, не встигає розплавитися із-за низької теплопровідності відкладень. Асфальтосмолопарафінові відкладення пересовуються під дією сили тяжіння та зовнішніх сил під уклін в приймальну ємність.

**Висновок.** Запропонований спосіб дозволяє підвищити ефективність очищення внутрішніх поверхонь труб від асфальтосмолопарафінових відкладень шляхом контрольованого нагріву двох труб, що піддаються очищенню, одночасно по всій довжині.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Патент России № 2169627 С1, МПК В08В 9/02. Способ очистки труб от асфальтосмолопарафиновых отложений. Лобарев И.В., Евдокимов А.Л. Заявка: 2000116321/12, 20.06.2000. Оpubл. 27.06.2001 г.
2. Патент России № 2437726. В08В 9/00. Устройство очистки труб от асфальтосмолопарафиновых отложений. Орлов А.И., Попов И.И., Соловьев В.Г., Зелди И.П. Оpubл. 27.12.2011. Бюл. №36.
3. Заявка № u 2013 04336 на корисну модель від 08.04.13 р. МПК В08В 9/02. Способ очищення труб від асфальтосмолопарафінових відкладень. Лебедев Л.М., Дубовик В.Г., Лебедев М.М., Гусак Б. В.

УДК 62.83.52

**В.Н. Пермяков, А.В. Чермалых, О.В. Кадушкевич**  
**УПРАВЛЕНИЕ КОНВЕЙЕРАМИ ТОПЛИВОПОДАЧИ КОТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ**  
**С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДРЕВЕСНЫХ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА**

*На основе анализа технологических режимов работы конвейерной линии рассмотрены вопросы применения регулируемого электропривода для управления конвейерами в зависимости от количества материала на них. Синтезирована модель грузопотока, учитывающая транспортное запаздывание. С помощью общей модели конвейерной линии и электропривода с системой управления исследованы динамические и энергетические процессы при запуске и различных способах регулирования скорости. На основе результатов моделирования сделаны соответствующие выводы и даны рекомендации относительно возможности и целесообразности управления конвейерной линией в функции ее загрузки.*

*Ключевые слова: конвейерная линия, грузопоток, электропривод, моделирование.*

**В.М. Пермяков, О.В. Чермалых, О.В. Кадушкевич**  
**УПРАВЛІННЯ КОНВЕЄРАМИ ПАЛИВОПОДАЧІ КОТЕЛЬНОЇ УСТАНОВКИ**  
**З ВИКОРИСТАННЯМ ДЕРЕВНИХ ВІДХОДІВ ВИРОБНИЦТВА**

*На основі аналізу технологічних режимів роботи конвеєрної лінії розглянуті питання застосування регульованого електроприводу для управління конвеєрами в залежності від кількості матеріалу на них. Синтезована модель вантажопотоку, котра враховує транспортне запізнення. За допомогою загальної моделі конвеєрної лінії й електроприводу з системою управління досліджені динамічні та енергетичні процеси при запуску і різних способах регулювання швидкості. На основі результатів моделювання зроблені відповідні висновки і надані рекомендації відносно можливості й доцільності управління конвеєрною лінією в функції її завантаженості.*

*Ключові слова: конвеєрна лінія, вантажопотік, електропривод, моделювання.*

**V. Permyakov, A. Chermalyh O. Kadushkevych**  
**MANAGEMENT CONVEYORS FUEL SUPPLY BOILER PLANT**  
**USING WOOD WASTE**

*Based on the analysis of technological modes of conveyor line of the issues regulated electric control conveyors, depending on the amount of material on them. Synthesized model of traffic, taking into account the transport delay. With the general model conveyor lines and electric control system The dynamic and energetic processes were at the start and different ways of controlling the speed. Based on the simulation results made conclusions and recommendations on the feasibility and advisability of a conveyor line in the control function of its workload.*

*Key words: conveyor line, freight, electric drive, modeling.*

**Мета дослідження.** Дослідження за допомогою розроблених моделей, режимів роботи конвеєрної лінії з урахуванням технологічних особливостей для випадку застосування частотно-регульованого електроприводу при різних способах управління у функції завантаженості конвеєрів і видача рекомендацій щодо можливостей та раціональності розглянутих варіантів.

**Актуальність теми дослідження.** Останнім часом у світі все більш актуальною стає

проблема енергозбереження.

Одним з варіантів рішення проблеми є використання промислових котельних установок на власних відходах виробництва. Зокрема, використання відходів деревини у якості основного палива для котлоагрегату дозволяє підвищити ступінь використання сировини основного технологічного процесу. Такі котельні установки почали широко використовуватися у всьому світі, тому автоматизації та вдосконалення таких комплексів є актуальною та важливою.

**Матеріали дослідження.** В роботі розглянуті питання створення системи управління конвеєрами паливоподачі котельної установки. Адже саме цей процес є одним із основних, що впливає на якість та продуктивність роботи котлоагрегату в цілому.

Слід відзначити також сучасну тенденцію до переходу від нерегульованого електроприводу конвеєрів до частотно-регульованого, що обумовлено енергозберігаючими аспектами, які в даний час виходять на перший план.

Основною проблемою є забезпечення узгодженого управління окремими конвеєрами лінії, особливо у випадку, коли вони неоднакової довжини і мають різну трасу, наприклад, горизонтальну або похилу. У цьому випадку потрібно забезпечити однакову швидкість для всіх конвеєрів незалежно від завантаження кожного з них. Крім того, необхідно дотриматися умови почергового пуску конвеєрів у напрямку зворотному вантажопотоку. При цьому бажано оптимізувати процес запуску всієї лінії за певним критерієм.

На початковому етапі роботи вирішувалося завдання формування вантажопотоку на конвеєрній лінії з урахуванням транспортного запізнювання, що є характерною особливістю при роботі конвеєрів в лінії. Для цього була синтезована спеціальна модель в середовищі MATLAB - Simulink. Алгоритм роботи моделі пояснюють відповідні написи (рисунок 1).

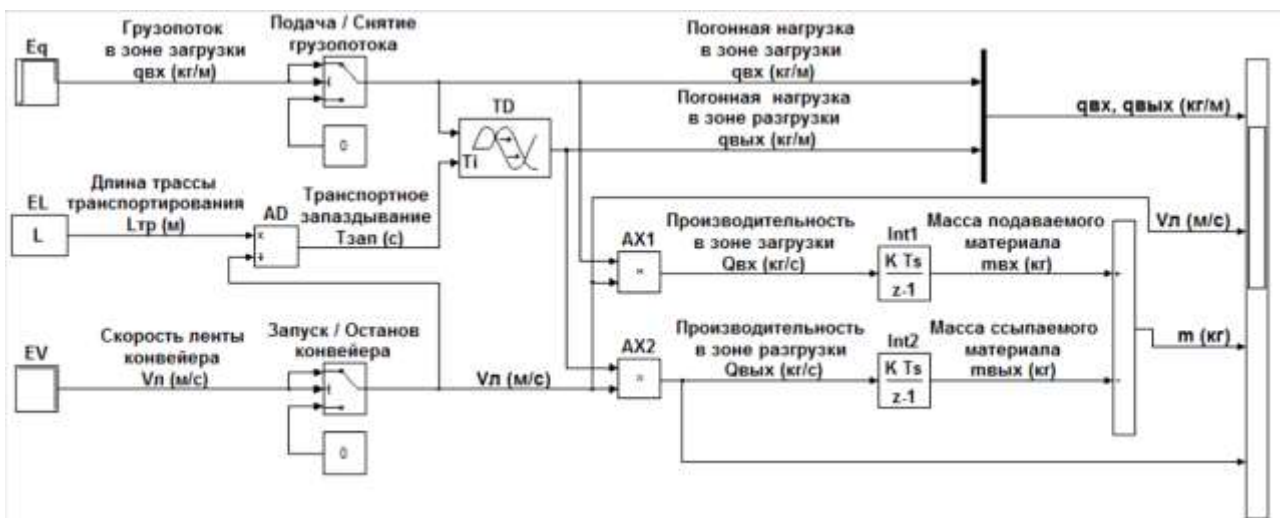


Рисунок 1 – Модель вантажопотоку на конвеєрі з урахуванням транспортного запізнювання

Величину транспортного запізнювання обчислює блок ділення  $AD$ , а сам процес реалізує блок  $TD$ . У результаті модель дозволяє отримати інформацію про миттєвих значеннях погонного навантаження, продуктивності і маси матеріалу в місцях завантаження і розвантаження конвеєра, що дозволяє в будь-який момент часу визначити масу вантажу на стрічці  $m$  (кг), яка фактично і створює момент навантаження на валу електродвигуна.

Діаграми, що ілюструють роботу моделі, мають вигляд (рисунок 2).

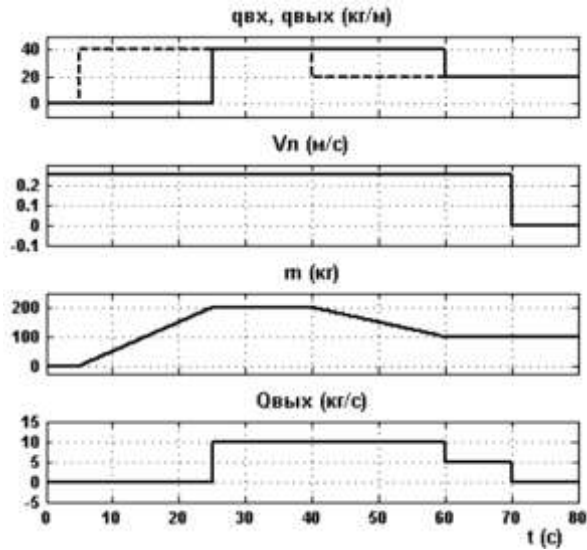


Рисунок 2 – Діаграми роботи моделі вантажопотоку

Змодельований наступний процес. Після запуску конвеєра до номінальної швидкості на холостому ході на 5-й секунді подається погонне навантаження в зоні завантаження (пунктирна лінія). Починається плавне заповнення конвеєра матеріалом протягом 20-ти секунд (транспортне запізнювання). На 25-й секунді вантажопотік доходить до місця розвантаження (суцільна лінія), відбувається розвантаження конвеєра з постійною продуктивністю. На 40-й секунді вантажопотік спадає у два рази і за час транспортного запізнювання кількість матеріалу на конвеєрі плавно зменшується до половинного значення, при цьому продуктивність на виході конвеєра залишається постійною. Після цього, на 60-й секунді знижується в два рази продуктивність. На 70-й секунді швидкість стає рівною нулю, конвеєр зупиняється з матеріалом на стрічці, а продуктивність стає рівною нулю. Таким чином, запропонована модель вантажопотоку в точності відповідає реальному процесу транспортування матеріалу конвеєром у всіх основних режимах.

Наступний етап роботи стосувався вибору структури частотно-регульованого електроприводу конвеєра. За основу була взята структурна схема лінійаризованої системи ПЧ-АД з цифровим ПІД-регулятором швидкості і задатчиком інтенсивності на вході (рисунок 3).

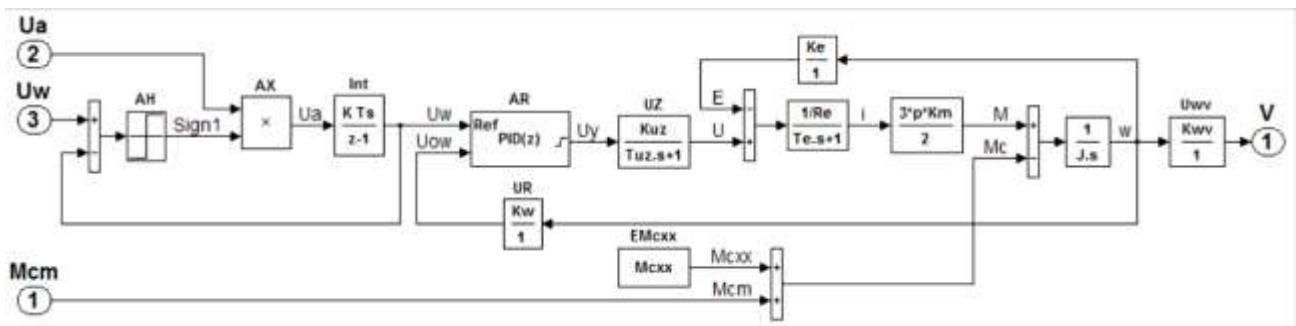


Рисунок 3 – Структурна схема лінійаризованої системи ПЧ-АД для стрічкового конвеєра

Перетворювач частоти  $UZ$  представлений аперіодическим ланкою першого порядку. Схема враховує момент опору механічної частини конвеєра на холостому ході  $M_{схх}$ , який може досягати досить великих значень за порівняння із статичним моментом  $M_{см}$ ,

створюваним вантажем. У задатчику інтенсивності, зібраному на інтеграторі  $Int$ , передбачений блок перемноження  $AX$ , який дозволяє змінювати прискорення (сигнал  $U_a$ ) у функції завантаженості конвеєра. Нелінійний елемент  $АН$  забезпечує виділення знака одиничного сигналу на виході, тим самим задаючи режим прискорення або уповільнення. Основним є сигнал заданої швидкості  $U_w$ .

На завершальному етапі роботи вирішувалося головне питання щодо дослідження режимів роботи конвеєрної лінії як електромеханічного комплексу в цілому. В якості об'єкта розглянута парова котельня комбінату з виробництва фанери великого формату, яка працює на твердому паливі з деревних відходів основного виробництва. Транспортна система паливоподачі котельні містить конвеєрну лінію, що складається з трьох стрічкових конвеєрів.

#### Конвеєрна лінія транспортної системи:

№ 1 - горизонтальний конвеєр довжиною  $L_1 = 10$  м на нижньому майданчику (транспортує деревну кору і тирсу з зовнішньої критого майданчика в приміщення котельні);

№ 2 - похилий конвеєр довжиною  $L_2 = 3$  м з кутом нахилу  $\alpha = 30^\circ$ , піднімає матеріал на верхній майданчик котельні у вигляді естакади;

№ 3 - горизонтальний конвеєр довжиною  $L_3 = 4$  м на естакаді, подає деревні відходи в приміщення підготовки палива.

Основні параметри конвеєрної лінії: номінальне погонне навантаження  $q_{ном} = 38$  кг / м, робоча швидкість стрічки  $V_l = 0,22$  м / с, ширина стрічки  $B = 0,65$  м.

Модель транспортної системи котельні приведена на рисунку 4.

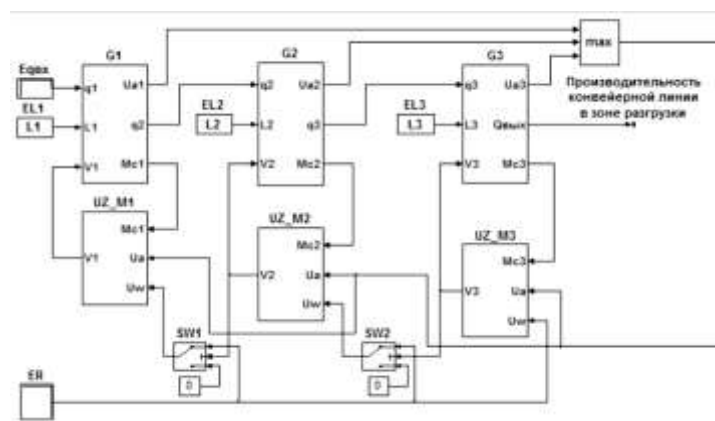


Рисунок 4 – Модель конвеєрної лінії і електроприводів з системою управління

Підсистеми  $G_1$ ,  $G_2$ ,  $G_3$  моделюють вантажопотік на конвеєрах з урахуванням транспортного запізнення. Крім погонного навантаження і продуктивності, на виході кожної підсистеми у функції завантаженості формуються сигнали, пропорційні прискоренням  $U_{a1}$ ,  $U_{a2}$ ,  $U_{a3}$  і навантажувальним моментам  $M_{c1}$ ,  $M_{c2}$ ,  $M_{c3}$ . Ці сигнали подаються відповідно на вхід блоку виділення максимального сигналу  $U_a = \max(U_{a1}, U_{a2}, U_{a3})$  і входи статичних моментів підсистем  $UZ\_M1$ ,  $UZ\_M2$ ,  $UZ\_M3$ , які моделюють системи електроприводів конвеєрів. Блок  $ER$  формує сигнал заданої швидкості конвеєрів в лінії  $U_w$ .

При завданні параметрів і вихідних даних моделі за основу взяті технологічні розрахунки з проекту транспортної системи розглянутої котельної.

Модель конвеєрної лінії дозволяє досліджувати два режими роботи - запуск конвеєрів і регулювання швидкості залежно від кількості матеріалу на стрічці.

При запуску конвеєри включаються в роботу послідовно один за одним у напрямку

назустріч грузопотоку № 3  $\Rightarrow$  № 2  $\Rightarrow$  № 1. Команда на запуск чергового конвеєра надходить в момент початку руху попереднього конвеєра. Цю задачу вирішують ключі SW1, SW2, які спрацьовують при мінімальній швидкості рушання. Цим оптимізується час початку запуску конвеєра за умовою його мінімізації.

Діаграми запуску конвеєрів лінії зображені на рисунку 5.

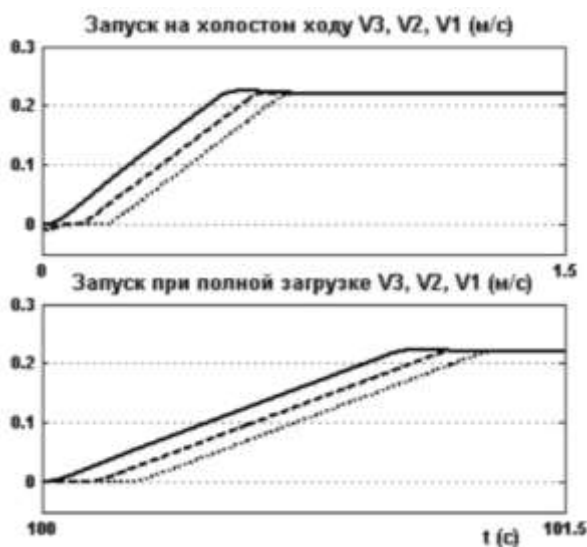


Рисунок 5 – Діаграми запуску конвеєрної лінії у функції її завантаженості

При регулюванні швидкості конвеєрної лінії у функції її завантаженості можливі два варіанти. Зі зменшенням кількості матеріалу швидкість повинна зменшуватися або навпаки, збільшуватися. Кожен з цих варіантів має свої переваги і недоліки.

У разі застосування першого варіанту очевидним є істотне зниження продуктивності лінії за рахунок двох факторів - одночасного зменшення, як погонного навантаження, так і швидкості. Однак при цьому має місце значне скорочення споживаної активної потужності, що з точки зору енергетичних показників має важливе значення.

Використання другого варіанту дозволяє реалізувати одне з частіше зустрічаємих на практиці завдань - забезпечити підтримання необхідної продуктивності на виході лінії незалежно від величини вантажопотоку. У цьому випадку споживання активної потужності зростає, і енергетичні показники погіршуються.

Діаграми навантажувальних моментів конвеєрів і продуктивності для випадку зниження вантажопотоку в два рази зображені на рисунку 6.

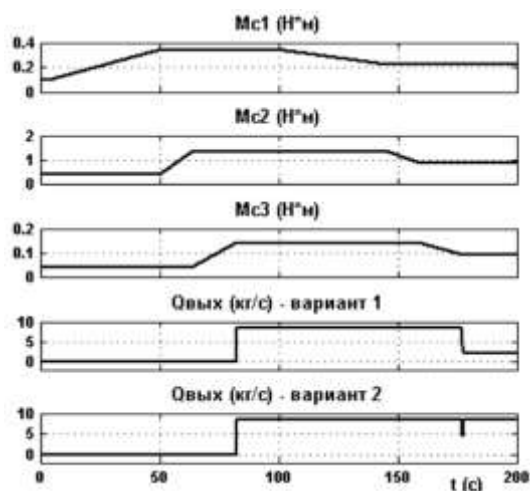


Рисунок 6 – Діаграми навантажувального моменту конвеєрів і продуктивності лінії

Наочно видно зниження продуктивності при першому варіанті і стабілізація вантажопотоку на виході в разі другого варіанту регулювання швидкості.

Графіки зміни споживаної активної потужності мають вигляд (рисунок 7):

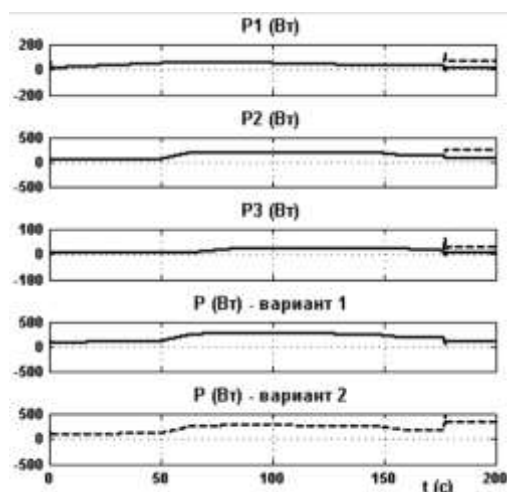


Рисунок 7 – Графіки зміни активної потужності

Спостерігається наступна картина: для першого варіанту споживана активна потужність (суцільна лінія) знижується, при другому варіанті активна потужність (пунктирна лінія) зростає.

Чисельні значення показників для порівняння двох розглянутих способів регулювання швидкості у функції завантаженості конвеєрної лінії зведені в таблицю:

Варіант	$Q$ , кг/с		$P$ , Вт	
	$q_{\text{ном}}$	$0,5q_{\text{ном}}$	$q_{\text{ном}}$	$0,5q_{\text{ном}}$
1	8,4	2,1	260	84
2	8,4	8,4	260	335



Отримані результати дозволяють зробити наступні висновки:

1. Можливість синтезу моделі вантажопотоку конвеєрної лінії з урахуванням транспортного запізнювання, що дозволяє оптимізувати процес запуску за критерієм мінімуму його тривалості з корекцією часу пуску у функції кількості матеріалу найбільш завантаженого конвеєра.

2. Якщо за технологією роботи конвеєрної лінії її продуктивність не є визначальним чинником, а енергетичні показники виходять на перший план, то доцільно з зменшенням навантаження регулювати швидкість також у бік її зниження.

3. Коли головним завданням є стабілізація продуктивності лінії незалежно від її завантаженості, тоді при зниженні вантажопотоку швидкість необхідно збільшувати.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Алексеев В.В. Электрические машины. Моделирование электрических машин приводов горного оборудования: Учеб. пособие / В.В.Алексеев, А.Е.Козярук, Э.А.Загивный. Санкт-Петербургский государственный горный институт (технический университет). СПб, 2006. 58 с.

2. Герман-Галкин С.Г. Matlab & Simulink. Проектирование мехатронных систем на ПК. – СПб.: КОРОНА-Век, 2008. – 368 с.

УДК 681.142

**О.В. Данілін, І.Я. Майданський, С.М. Кіянець  
ПАРАЛЕЛЬНИЙ ЕМ АЛГОРИТМ В МАШИННОМУ ЗОРІ.**

*В даній роботі ми наведено декілька прикладів ЕМ алгоритмів (англ. Expectation-maximization (EM) algorithm) — відомий як алгоритм для оцінки параметрів, загальних статичних проблем в різних рівнях систем комп'ютерного зору. Розкриємо, алгоритм для кожного рівня системи (низький, середній і високий) рівні зору.*

*Ключові слова: Паралельні ЕМ Алгоритм, Комп'ютерний Зір, Передача Повідомлень Парадигми, Кластери Персональних Комп'ютерів*

**А.В. Данилин, И.Я. Майданский, С.Н. Киянец  
ПАРАЛЛЕЛЬНЫЙ ЕМ АЛГОРИТМ В МАШИННОМ ЗРЕНИИ.**

*В данной работе мы предлагаем несколько примеров ЕМ алгоритмов (10брони. Expectation-maximization (EM) algorithm)-известный как алгоритм для оценки параметров, общих статических проблем на различных уровнях систем 10брони10бй10брного зрения. Раскроем, алгоритм для каждого уровня системы (низкий, средний и 10брони10бй) 10брони зрения.*

*Ключевые слова: Параллельные ЕМ Алгоритм, Компьютерное Зрение, Передача Сообщений Парадигмы, Кластеры Персональных Компьютеров*

**A.Danilin, I.Maydanskiy,S. Kijanec  
THE PARRALLEL EM ALGORITHM IN COMPUTER VISION**

*Abstract In this paper we propose several applications of the EM algorithm – a well-known algorithm for parameter estimation in generic statistical problems– in the different levels of a computer vision system. We show, at least, an algorithm for each level of a generic computer vision system (low, medium and high level) vision*

*Keywords: Parallel EM Algorithm, Computer Vision, Message Passing Paradigm, Clusters of PCs*

**Вступ.** Комп'ютерний зір став дуже активною областю досліджень в останні роки, у зв'язку з широким спектром застосування в різних областях науки і техніки. Широко визнаним фактором у цій області є те, що більша частина обчислювальних завдань, пов'язаних з системами штучного зору дуже інтенсивні в обчислюванні.

ЕМ алгоритм, з іншого боку, це методика для оцінки параметрів узагальнених статистичних розподілів у відсутності всіх потрібних даних. Також кілька років тому, ЕМ алгоритми стали використовуватися у системах комп'ютерного зору для різних завдань, таких: як зображення руху, сегментації. Але найбільше застосування ЕМ знайшли в інтенсивних обчисленнях. Таким чином, з приходом економічно-ефективних систем, стало цікаво досліджувати паралельну обробку в системах машинного зору.

Останнім часом, кластери робочих станцій [1] використовуються в якості альтернативи традиційним паралельним машинам. Продуктивність таких кластерів може бути високою. Крім того низька вартість – одна з головних переваг ( мережа робочих станцій ) досягається завдяки виділенню апаратних частин для конкретних програм. Таких як збір даних, карти для зору, контроль і так далі. Причина в тому, що наявність на ринку обмежується тільки доступністю для окремих комп'ютерних кластерів ( наприклад ПК за допомогою PCI і ISA слотів, чий діапазон можливостей дуже широкий). Це передбачає можливість використання паралельних машин комп'ютерного зору із стандартами платами для візуального збору даних для отримання хороших результатів по швидкодії.

У цій статті ми пропонуємо універсальний EM алгоритм для паралельної реалізації. Ми також обґрунтуємо, що такого роду розподілення є найбільш доцільним для виконання різних варіацій EM алгоритмів у конкретній галузі машинного зору.

Організація роботи полягає в наступному: У розділі 2 коротко підсумовує основи алгоритму EM, і даємо загальну схему ефективної реалізації для паралельних машини. Розділ 3 описує кілька додатків для трьох різних рівнів комп'ютерного зору ( низький, середній і високий рівень ). У розділ 4 показані деякі результати роботи кластері робочих станцій. Нарешті, в розділі 5 деякі висновки, які можуть бути використанні в майбутньому.

**Алгоритм EM і його паралельна реалізація.** EM алгоритм являє собою метод оцінки параметрів узагальнених статичних розподілів у присутності неповних даних; тобто, коли оцінка параметрів повинна бути зроблена, при використанні вхідних багатовимірних вибірок ( тобто, векторних даних), де деякі з компонентів відсутні. Основна мета EM – отримання розрахункових параметрів, які дають максимальну ймовірність на вхід (неповних ) даних . Алгоритм призначений для ітерацій через серію очікувань (E) і максимізація (M) дії, в якому рішення для статичної проблеми ( тобто, оцінка параметрів моделі), поступово удосконалюється до збіжності.

**Суміші** - статичні моделі , де метод найбільш прямолінійно застосовується , і де хороші результати можуть бути при розумних обчислювальних витратах. Суміж моделей [13] є статичними розподілом, що складається із зваженої суми елементарної щільності будь-якого виду, і називаються компонентами суміші. Так би мовити, ми можемо узагальнити експлуатації EM в суміші оцінки параметрів наступним чином: E-Step (кроки) – ймовірність приналежності кожної точки зразка до кожного компонента суміші. Очікування невідомих даних. M- Step (кроки)- новий набір параметрів для окремих компонентів, що розраховуються, використовуючи заздалегідь обчислені ймовірності. Таким чином, ми встановлюємо кількість компонентів і випадковим чином ініціалізуємо параметри і ітеруємо E і M поки не досягнемо максимальної збіжності. Алгоритм експериментально показує хороші результати, навіть при поганій початковій конфігурації.

Очевидно, що реалізація злегка варіюється в залежності від характеристик конкретного застосування: типу і розмірів вхідних вибірок, обраної моделі, окремих компонентів суміші, і так далі. Але той факт, вона включає розрахунок великої таблиці даних розміром  $M \times N$ , де  $M$  і  $N$  – кількість компонентів і вхідних вибірок відповідно, з деякими даними в кожному осередку. Таким чином, це може бути ефективно використано для багатьох паралельних програм [8] і представлена на рис. 1.

В ньому ми можемо спостерігати, як розподіленні процеси – досить незв'язні, в тому сенсі, що необхідних комунікацій між ними мало, в порівнянні з участю в обчисленнях. Таким чином кожен процес не повинне простоювати, очікуючи інші процеси, і, в той же час, обчислювальне навантаження добре збалансоване.

Рисунок 2 показує графічно, як ми будемо користуватися цією симетрією розрахунків і схеми комунікації для досягнення максимально можливої швидкості. Зауважимо, що паралелізм даних використовуємо двояко:

- По-перше, розподіл обробки стовпчиків буде зроблено, в розрахунку на крок. Такий розподіл дозволяє уникнути необхідності зв'язку в  $Q$  матричних обчисленнях і їх нормалізації. Крім того, проміжні параметри для під компонентів параметрів можуть бути обчислені все ще з цим розподілом даних без зв'язку.

- По-друге, в M-кроці, після розподілу попередні результати серед всіх процесів, нового розділу будуть зроблені по рядках, для обчислення кінцевих параметрів суміші.

Таким чином, як ми вже говорили раніше, обчислювальне навантаження є

збалансованим, наскільки це можливо, а прискорення як очікується буде максимальним. У заключному розділі ми наведемо деякі експериментальні результати, щоб підтвердити ці прогнози прискорення.

**Вхід:** Масив з  $N$  вхідних зразків.  
**Вихід:** Таблиця  $k$  параметрів кожного з  $M$  компонентів суміші.  
**Ініціалізація**  
 Згенерувати початкове значення випадкового набору параметрів для суміші.  
**Цикл**  
**Е-крок:**  
 Обчислення  $q_e$ , значень, при  $e=1..M$ ,  $i=1..N$ , ймовірність кожного входу зразка  $i$ , що було викликано компонентом суміші  $e$ , використовуючи поточні значення параметрів. Розподілити обчислення між процесорами по стовпцях для кожного кроку.  
**М – крок:**  
 Перерахувати параметри кожного компонента суміші, використовуючи раніше розраховані значення  $q_e$ . Розподілити обчислення за рядками, яке вимагає певного зв'язку між процесорами. У всякому разі, в багатьох випадках зв'язок може бути значно зменшений, якщо деякі проміжні параметри заздалегідь обчислені на місцевому рівні, і згодом будуть використовуватися для обчислення остаточного значення.  
**Завершення циклу:** Доки рішення не суттєво змінитися.

Рис.1 Загальна паралельна реалізація EM алгоритму для сумішей.

**Застосування алгоритму EM в машинному зорі**

У цьому розділі ми опишемо застосування алгоритму EM для оцінки параметрів суміші в три рівні ( низький, середній і високий рівень бачення ) системи комп'ютерного зору.. Технічний опис реалізації кожного – різний, бо різні цілі кожного рівня, але всі вони мають одну й ту ж основу паралельної реалізації EM алгоритму. Використання даного алгоритму в системах комп'ютерного зору не є новим; інші дослідники застосовували його для вирішення інших проблем даної області. Наприклад, [5] ( EM застосовується для зображення руху ) і [11] ( EM застосовується для візуального навчання).

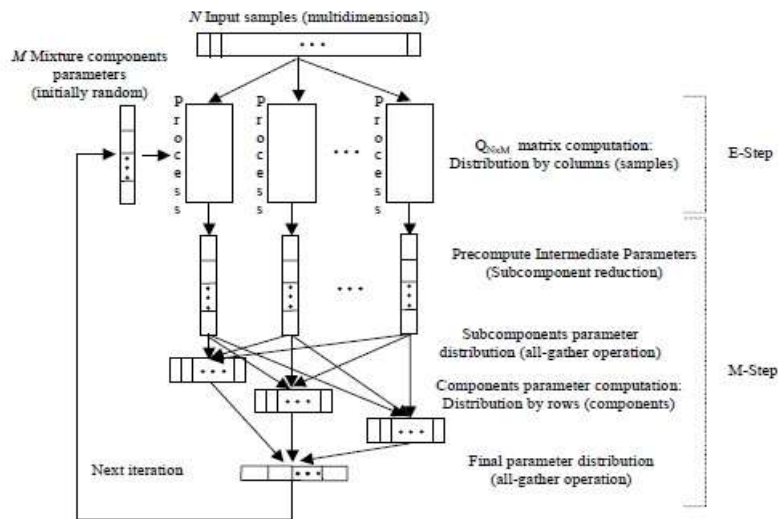


Рис. 2 Загальний EM алгоритм паралельної реалізації.

**Низький рівень бачення**

Основна мета на даному рівні виявити і ізолювати регіони у вхідному зображенні, які,

ймовірно, належать до різних об'єктів, в основному за рахунок зміни інтенсивності світла. Цей процес зазвичай називають сегментацією. Існують численні методи, щоб спробувати вирішити її [3,6].

У нашому середовищі побудуємо суміші Гауса до ймовірності змодельовати розподіл інтенсивності сірого ( червоний, зелений і синій, якщо ми будемо використовувати кольорові зображення ) значення пікселів у зображенні, разом з його X і Y позиції ( див. [9] для подробиць). Коли параметри суміші сходяться, кожен компонент очікує зібрати всі пікселі, які відносяться до одного об'єкту і може бути використаний низьким рівнем детектором. Зауважимо, що тут, компоненти суміші можуть бути, наприклад, багатовимірні ( трьох вимірні для ч/б зображення, або п'яти для кольорових зображень).

Приклад застосування цього методу показана на Рис. 3 (середній). У ньому ми можемо бачити, виконується дворівневий поріг, просто за допомогою алгоритму EM з двома компонентами, один для лову об'єктів, а інший для фону. Система мала можливість динамічно адаптуватися до мінливих умов освітлення, із затратаю невеликих обчислювальних зусиль, використовуючи за своєю суттю адаптивний характер. Ще однією перевагою є те, що, кількість випадкових точок зразка у вхідному зображенні може бути вибрана довільно, ми також маємо можливість прискорити сегментацію в критичній ситуації шляхом простого зменшення точок, за рахунок ймовірно погіршення результатів.

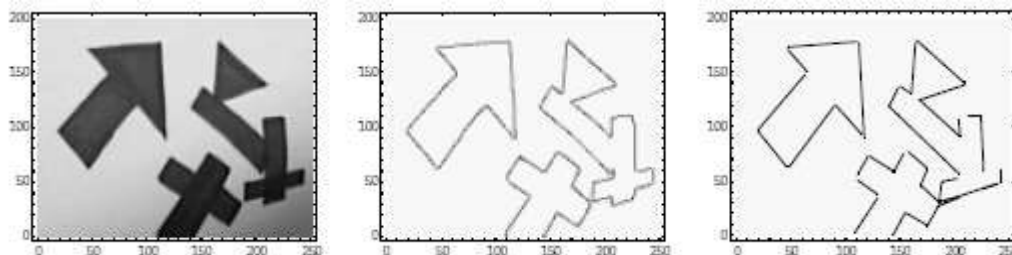


Рис. 3 EM алгоритм, низький і середній рівень бачення. Оригінальне зображення ( зліва ), низький рівень – ( у центрі ) і середній рівень – ( праворуч ).

### Середній рівень бачення

На цьому рівні елементарні структури мають знайти раніше сегментовані зображення. Визначення та розміщення сегментів у кадрі, наприклад, корисний проміжний етап для багатьох програм комп'ютерного зору, де подальше високий рівень обробки необхідний, для таких як 3D інтерпретації або розпізнавання форми у важких умовах.

Тут внеском є реалізація паралельної версії алгоритму EM з новим видом щільності суміші, що спеціально призначений для моделювання прямих країв бінарних зображень. Потім, паралельно основному циклу E і M, здійснюється вибірка векторів краю (x, y) і оцінка положення, розмір та орієнтації сегментів, які найкраще описують процес.

Приклад програми показано на рис. 3(праворуч). Раніше сегментовані зображення використовуються як вхідні зображення в новій EM версії для сегмента виявлення і стеження.

Зверніть увагу на точну параметризацію вихідного зображення, в якому обсяг інформації може бути зменшений шляхом вилучення структури вхідного зображення з точки зору прямолінійних сегментів.

### Високий рівень бачення

Головною метою є опис графічної моделі більш або менш складних об'єктів, щоб знайти відповідні графіки даних на вихідному зображенні. Рішення має уніфікувати оцінку і перетворення геометрії, що здійснюють масштабування, обертання і переклад 3D.

Використовуємо варіації запропоновані [2], що описує взаємозв'язок між графікою і даними. При початковій передачі елементів  $S_{ij}$  матриці  $S$ , алгоритм знаходить матрицю перетворення  $\phi$ , яка найкраще описує геометричні перетворення моделі. Тоді, з допомогою отриманої матриці  $\phi$ , використовується для обчислення нового значення  $S_{ij}$  і вся процедура продовжується до збіжності.

#### Загальні питання

У всіх трьох рівнях ЕМ добре адаптується до плавної зміни вхідних даних, що дозволяє основному циклу перебрати оновленні значення.

Крім того, алгоритм демонструє його здатність до виявлення і стеження більш-менш складних структур на вході, особливо на середніх і високих рівнях.

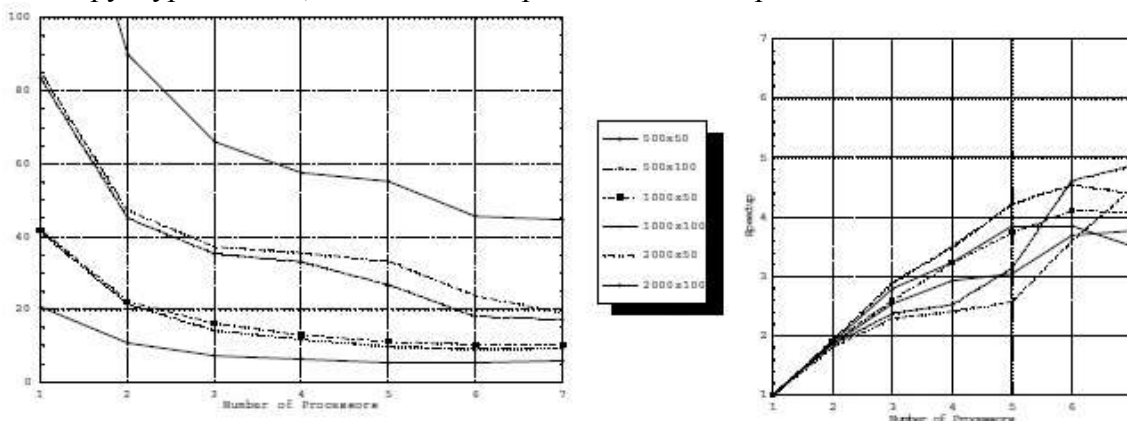


Рис. 4 Зменшення часу виконання в залежності від розмірів

#### 4 Експериментальні Результати

У цьому розділі ми покажемо деякі експериментальні результати, які дають нам уявлення про загальну швидкість, яку можна отримати з запропонованої паралельної системи комп'ютерного зору. Щоб показати, оцінки ефективності, ми вибираємо, наприклад, середній рівень бачення ЕМ адаптований, для виявлення і супроводу сегментів на бінарному зображенні. На рис. 4 показано зменшення часу виконання в залежності від розмірів.

Цей комплекс складається з 7 Intel Pentium 200 МГц процесор, 64 Мб оперативної і 256 Кбайт кеш-пам'яті кожного, з Fast Ethernet 3Com (100 Мбіт / с) мережі зв'язку, і з MPICH 1.0.13 - комунікаційна бібліотека для Linux.

MPICH-конкретна реалізація стандарту MPI (Message Passing Interface) бібліотеки [7]. Виконання MPI в цьому кластері робочих станцій було детально проаналізовано в [12], та їх достатність для виконання нашої паралелі ЕМ алгоритмів комп'ютерного зору цілком виправдано, на отримані результати.

При збільшенні кількості процесів загальний час виконання зменшується в основному за рахунок скорочення зв'язку, тобто з використанням проміжних параметрів розрахунку. В якості безпосереднього спостереження, загальний час обробки кожного кадру стає меншим, завдяки збільшенню кількості процесів. Це дає можливість реалізувати дані напрацювання в системах реального часу, де невеликий час спрацювання може мати вирішальне значення.

#### 5 Висновки

Паралельні обчислення на кластерах персональних комп'ютерів має дуже високий потенціал, так як він використовує існуючі апаратні засоби і програмне забезпечення. Так, кластери робочих станцій можна розглядати як хорошу альтернативу паралельних комп'ютерів.

Комп'ютерний зір, з іншого боку, це цікава область, в якій здається дуже адекватним

використовувати переваги паралелізму. Алгоритми і методи, використовувані в такого роду системах використовуються для інтенсивного обміну даними, в той час як розрахунки дуже часто мало залежать від апаратної складової системи. Цей факт робить кластери ПК ідеальним для здійснення цього виду системи.

В статті ми пропонуємо програмний каркас для паралельного EM алгоритму, що застосовує до вихідної суміші та її застосування в кілька рівнів паралельної система технічного зору. Тим не менш, ця схема має широкий спектр застосування не тільки в машинному зорі, але в багатьох інших додатках, що інтенсивно використовують дані в яким притаманний паралелізм може бути ефективно використано (загальний висновок статистики, машини навчання, статистична обробка невизначеності та т. д.). Крім того, цей документ показує, як паралельне програмування з використанням MPI у кластерах робочих станцій може досягати дуже хороших співвідношень між витратами і вигодами, навіть з низьким часом відгуку, таких як в режимі реального часу машинного зору.

### Список літератури

- [1] T. E. Anderson, D. E. Culler and D. A. Patterson. *A Case for NOW*. IEEE Micro, vol. 15, n 1, pp. 54-64, 1995.
- [2] A.D.J. Cross and E.R. Hancock. *Graph Matching With a Dual-Step EM Algorithm*. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 20, n 11, pp. 1236-1253, 1998.
- [3] E. Davies. *Machine Vision: Theory, Algorithms and Practicalities*. Academic Press, 1996.
- [4] A.P. Dempster, N.M. Laird, and D.B. Rubin, *Maximum Likelihood Estimation from Incomplete Data via the EM Algorithm*. Journal of the Royal Statistical Society, Series B, vol. 39, pp. 1-38, 1977.
- [5] C.M. Fan, N.M. Namazi, and P.B. Penafiel. *A New Image Motion Estimation Algorithm Based on the EM Technique*. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 18, pp. 348-352, 1996.
- [6] R.C. Gonzalez and R.E. Woods. *Digital Image Processing*. Addison-Wesley Publishing Company, 1993.
- [7] W. Gropp, E. Lusk, and A. Skjellum. *Using MPI: Portable Parallel Programming with the Message Passing Interface*. MIT Press, 1994.
- [8] B. Lester. *The art of parallel programming*. Prentice Hall, 1993.
- [9] P.E. López-de-Teruel and A. Ruiz. *On Line Probabilistic Learning Techniques for Real Time Computer Vision*. Proceedings of the Learning'98, Getafe (Madrid), Spain, 1998.
- [10] G.J. McLaghlan and T. Kishnan. *The EM Algorithm and Extensions*. John Wiley, 1997.
- [11] B. Moghaddam, and A. Pentland, *Probabilistic visual learning for object representation*. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 19, pp. 696-710, 1997.
- [12] J. Piernas, A. Flores, and J.M. García. *Analyzing the Performance of MPI in a Cluster of Workstations Based on Fast Ethernet*. 4th European PVM/MPI Users' Group Meeting, LNCS, Springer-Verlag, Vol. 1332, pp. 17-24, 1997.
- [13] R.A. Redner and H.F. Walkner. *Mixture Densities, Maximum Likelihood Estimation and the EM algorithm*. Society for Industrial and Applied Mathematics (SIAM) Review, vol. 26, pp. 195-239, 1984.

УДК 62-83-52.003(082)

**Закладний О.М., Закладний О.О., Смоляр В.Г., Алемасова О.В.**  
**ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ЛІФТОВИХ УСТАНОВОК З**  
**РЕГУЛЬОВАНИМ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ**

*Наведено заходи і засоби підвищення енергетичної ефективності ліфтових установок. Порівняно існуючі системи електроприводу ліфтових установок. Розглянуто доцільність застосування синхронних машин з постійними магнітами для сучасних безредукторних лебідок ліфтових установок.*

*Ключові слова: енергоефективність, вентильний двигун, безредукторний привод, ліфтова установка.*

**Закладной А.Н., Закладной О.А., Смоляр В.Г., Алемасова О.В.**  
**ПОВЫШЕНИЕ УРОВНЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ЛИФТОВЫХ УСТАНОВОК С**  
**РЕГУЛИРУЕМЫМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ**

*Приведены меры и средства повышения энергетической эффективности лифтовых установок. Проведено сравнение существующих систем электропривода лифтовых установок. Рассмотрена целесообразность применения синхронных машин с постоянными магнитами для современных безредукторных лебедок лифтовых установок.*

*Ключевые слова: энергоэффективность, вентиальный двигатель, безредукторный привод, лифтовая установка.*

**Zakladnyi A., Zakladnyi O., Smolyar V., Aliemasova O.**  
**IMPROVING THE LEVEL OF ENERGY EFFICIENCY OF ELEVATOR WITH**  
**CONTROLLED ELECTRIC DRIVE**

*Showed measures and means of improving the energy efficiency of elevators. Compared existing systems of elevator electric drive. Examined the feasibility of synchronous motors with permanent magnet for modern gearless elevator drive.*

*Key words: energy efficiency, permanent magnet synchronous motor, gearless drive, elevator.*

**Вступ.** Останнім часом в світі значна увага приділяється енергозберігаючим технологіям. Це не оминувало і сфери житлово-комунального господарства України. Ліфтове господарство міста – це галузь з підвищеною енергоємністю. У зв'язку з цим зменшення енергоспоживання в даній сфері на сьогодні набуває особливої актуальності.

Для механізмів підйому ліфтової лебідки існує проблема створення енергоефективних електроприводів, які б задовольняли всім технічним вимогам ліфтової установки.

Найбільшого поширення в нашій країні набули електричні ліфти з канатними лебідками різного конструктивного виконання. На сьогодні найбільш поширені типи електроприводу ліфтових лебідок являють собою конструкцію, що складається з двохшвидкісного асинхронного двигуна (АД) з короткозамкненим ротором, редуктора, гальмівного пристрою і релейно-контакторної схеми управління. Основною причиною виходу з ладу електродвигунів підйому ліфтової лебідки є низька надійність релейно-контакторної схеми управління, що призводить до її розладу і збільшення кидків струмів під час пуску АД. Для механічного обладнання великопотужної системи головну небезпеку становлять високі динамічні



моменти, які виникають внаслідок недосконалості системи керування. Такі типи приводів встановлювалися ще в 60-х роках ХХ століття і вимагають не просто модернізації, а повної заміни.

На даний час намітилася тенденція до застосування частотно-регульованого електроприводу в ліфтових лебідках. Управління електроприводом за допомогою перетворювача частоти забезпечує рух кабіни без ривків під час розгону і гальмування, точне позиціонування кабіни на поверховому майданчику і дозволяє відмовитися від використання багатошвидкісного ліфтового АД. Ще однією причиною є зниження енергоспоживання на 40...60% [1], яке досягається в основному значним зниженням моменту інерції лебідки головного приводу за рахунок видалення маховика з ведучого валу.

У багатьох галузях промисловості спостерігається перехід до безредукторних приводів, які працюють при низьких частотах і не потребують наявності редуктора. У безредукторних приводах, на сьогодні в більшості випадків застосовують синхронні машини з постійними магнітами в режимі вентильного двигуна, а також асинхронні тихохідні двигуни.

**Мета роботи.** Розробка заходів і засобів підвищення рівня енергоефективності ліфтових установок з регульованим електроприводом змінного струму.

**Матеріали та результати дослідження.** Основні вимоги до електроприводу ліфта. Ліфт являє собою єдину електромеханічну систему, динамічні характеристики якої залежать як від параметрів механічної частини, так і від структури та параметрів електричної частини. Кінематична схема ліфта спричиняє істотний вплив на вимоги, що ставляться до двигуна і системи управління електроприводом. У свою чергу, вибір типу електроприводу та параметрів електродвигуна впливає на кінематичну схему ліфта.

Режим роботи електроприводу ліфта характеризується частими включеннями і відключеннями, тобто є повторно-короткочасним, з тривалістю включень 40-50%. Однією з основних вимог до електроприводу ліфтів є забезпечення мінімального часу руху кабіни від початкового поверху положення кабіни до поверху призначення за викликом або наказом. Ліфти з великою швидкістю руху кабіни, коли остання повинна робити зупинки на кожному поверсі, по суті недовикористовуються за швидкістю, оскільки на перегоні між поверхами введено обмеження прискорення й уповільнення. Кабіна не встигає досягти номінальної швидкості, оскільки шлях розгону до цієї швидкості в цьому випадку зазвичай більший половини міжповерхової відстані.

Виходячи із зазначеного вище, залежно від умов роботи доцільно використовувати приводи, що забезпечують різні усталені швидкості руху.

Крім основної швидкості руху кабіни, яка багато в чому визначає продуктивність ліфта, електропривод і система управління ліфтом з номінальною швидкістю понад 0,71 м/с повинні забезпечувати можливість руху кабіни зі швидкістю не більше 0,4 м/с, що необхідно для контрольного обстеження шахти (режим ревізії).

Похідна прискорення і уповільнення (ривок) правилами не регламентуються, однак необхідність його обмеження, як і обмеження прискорення, визначається потребою обмеження динамічних навантажень у механічній передачі під час перехідних процесів і завданням забезпечення необхідного комфорту для пасажирів, а виконання цього завдання в істотній мірі залежить від структури електроприводу та системи його управління. Для забезпечення максимальної продуктивності ліфта під час перехідних процесів електропривод повинен забезпечувати розгін і уповільнення кабіни з максимальними допустимими значеннями прискорення та ривка.

Важливою вимогою до електроприводу ліфта є забезпечення точної зупинки кабіни на заданому рівні. Відповідно до правил, точність зупинки кабіни на рівні поверхової площадки повинна дотримуватися в межах, що не перевищують: для вантажних ліфтів,

---

якізавантажуються наземним транспортом, і для лікарняних -  $\pm 15$  мм, а для решти ліфтів -  $\pm 50$  мм.

Природною вимогою до електроприводу ліфта є також можливість його реверсування для забезпечення підйому та опускання кабіни. Робота ліфта не повинна супроводжуватися високим рівнем шуму і створювати перешкоди теле-та радіотрансляції. Існують також інші додаткові вимоги, що ставляться до приводу ліфтів. Вони визначаються необхідністю забезпечення безпеки його експлуатації.

### **Заходи з економії електроенергії і підвищення енергоефективності ліфтової установки**

Економії електроенергії і підвищення енергоефективності ліфтової установки можна досягти запровадженням таких заходів: виконання оптимальної діаграми швидкості; скорочення тривалості роботи установок на неробочому ході; перехід на двигуни з кращими енергетичними показниками; вибір раціонального способу і діапазону регулювання швидкості електроприводу в залежності від технологічних умов роботи машин і механізмів; регулювання режимів пуску і гальмування електроприводу; використання фільтрокомпенсуючих пристроїв; застосування активних фільтрів; удосконалення процедури вибору двигуна для конкретної технологічної установки з метою дотримання номінального теплового режиму двигуна при експлуатації; забезпечення рекуперації, усунення проміжних передач.

Згідно перерахованих пропозицій, на рис.1 наведено структуру, що містить основні напрямки енергозбереження для ліфтових установок.

Перший напрямок полягає у виборі раціональних режимів роботи й експлуатації електроприводу. До нього можна віднести такі методи зниження електроспоживання ліфтовими установками: скорочення тривалості роботи установок на неробочому ході, вибір раціонального способу і діапазону регулювання швидкості електроприводу в залежності від технологічних умов роботи машин і механізмів, виконання оптимальної діаграми швидкості, збільшення швидкості руху ліфта для висотних будівель, використання міжекспресних зон (за можливістю).

Під оптимальною тахограмою розуміють таку діаграму, що забезпечує найменшу витрату електроенергії за найбільшої швидкості за період руху. Виконання оптимальної діаграми швидкості забезпечується повною автоматизацією керування установкою, в результаті чого підвищується її продуктивність, і забезпечується робота з найменшою витратою електроенергії.

Другий напрямок полягає у виборі раціонального типу електроприводу для конкретної технологічної установки і переході від нерегульованого електроприводу до регульованого. Основним шляхом реалізації даного напрямку є регулювання режимів пуску і гальмування електроприводу. Використання регульованих приводів у ліфті дозволяє значно підвищити показники комфортності роботи ліфта через ефективне обмеження прискорень і ривків. У цьому разі пасажери практично не відчувають руху. У свою чергу, плавні перехідні процеси, що забезпечуються частотно-регульованим приводом, призводять до значного зниження динамічних навантажень в елементах кінематичного ланцюга приводу, що дозволяє підвищити надійність і довговічність роботи механічного обладнання ліфта, виключає необхідність частої заміни редуктора, канатоведучого шківів, гальмівних колодок, електродвигуна і елементів підвіски противаги при експлуатації ліфта.



Рисунок1 - Заходи підвищення енергоефективності ліфтової установки і засоби їх досягнення

Застосування перетворювача частоти (ПЧ) дозволяє використовувати в ліфтах одношвидкісні АД з короткозамкненим ротором, загального призначення. Маховий момент ротора таких двигунів на порядок менший аналогічних ліфтових двошвидкісних двигунів, а вартість їх у 3 - 4 рази нижча в порівнянні з двошвидкісними.

Таким чином, економічний ефект від впровадження частотно-регульованого електроприводу в ліфтах складається з економії електроенергії та зниження експлуатаційних витрат.

Якщо за сукупністю вимог до керування механізмом доцільно використовувати частотно-регульований електропривод, то реалізація режимів частотного пуску і гальмування дозволяє знизити втрати енергії в перехідних режимах у кілька разів у порівнянні з некеруваними перехідними процесами.

Дуже перспективними для застосування в ліфтових установках є вентильні двигуни з постійними магнітами. Новим шляхом енергозбереження стає переведення двигунів на модульну конструкцію й оптимізація режимів їх роботи на базі мікроконтролерів, що дозволить знизити втрати енергії до 30%.

З'явився попит на більш надійні безколекторні машини, експлуатація яких потребує менше витрат. Назріла також необхідність у застосуванні безконтактних приводів змінного струму, що забезпечують підвищення ККД і енергетичних показників установки, її продуктивності й надійності.

У ліфтових установках підвищення ККД, надійності, ресурсу працездатності і зменшення експлуатаційних витрат неможливі без заміни приводу постійного струму на безредукторний безколекторний привод змінного струму з аналогічними регульовальними властивостями. Економічна доцільність використання синхронних двигунів (СД) робить застосування безколекторного, безконтактного регульованого приводу змінного струму з СД перспективним для ліфтових установок.

Наступним напрямком забезпечення енергоефективності є використання рекуперації. Сучасні модулі рекуперації (наприклад фірм Siemens (Німеччина), АВВ (Швеція), ShneiderElectric (Франція)) мають такі переваги: просте введення в експлуатацію; автономність модуля (не потребує узгодження з наявним ПЧ), можливість підключення до ланки постійного струму декількох ПЧ, можливість паралельного підключення до чотирьох модулів рекуперації. Перспективною також є схема на базі матричного перетворювача, що містить два блоки мережевих фільтрів (для забезпечення електромагнітної і електромеханічної сумісності) і напівпровідниковий комутатор (НК), який являє собою спеціальну вентиляну групу на базі 9 IGBT і діодів. Такі перетворювачі, реалізовані на новій елементній базі, забезпечують одноразове перетворення енергії і можуть здійснювати повернення енергії в мережу в гальмівних режимах. Таким чином, це один з перспективних видів ПЧ для модернізації ліфтових установок у найближчому майбутньому.

Четвертий напрямок полягає в поліпшенні якості електроенергії засобами силової перетворювальної техніки регульованого електроприводу. До даного напрямку енергозбереження відносяться два методи зниження електроспоживання: використання фільтро-компенсуючих пристроїв та застосування активних фільтрів.

Регульований електропривод впливає на мережу електропостачання, що виражається в зниженні коефіцієнта потужності на вході перетворювача, коливаннях напруги в мережі і спотворенні синусоїдальної форми напруги. Зниження коефіцієнта потужності збільшує реактивну потужність системи електропостачання, що призводить до додаткових витрат напруги й енергії і вимагає збільшення пропускної здатності її елементів.

Для регулювання якості електроенергії традиційно використовувалися тиристорні стабілізатори, компенсатори реактивної потужності та пасивні фільтри. Нова елементна база

силової електроніки дозволяє створювати перетворювачі змінного/постійного струму, що працюють у чотирьох квадрантах комплексної площини на стороні змінного струму з імпульсною модуляцією на підвищених частотах. Це дозволяє керувати потоками електроенергії в будь-якому напрямку за заданим законом.

Ще одним технологічним заходом з економії електроенергії є удосконалення процедури вибору двигуна для конкретної технологічної установки з метою дотримання номінального теплового режиму двигуна при експлуатації. Розв'язання цієї задачі не завжди елементарне, помилки є частими. Коли навантаження незмінне, помилки викликані лише низькою кваліфікацією проектувальників. Коли ж навантаження змінюється, вибір додатково ускладнюється недостатністю вихідної інформації, паспортних і каталожних даних.

Шостим напрямком є перехід на двигуни з покращеними енергетичними показниками. В його основі лежить заміна старих двигунів електричними машинами з кращими енергетичними показниками, перехід на енергозберігаючі двигуни і двигуни поліпшеної конструкції.

В енергозберігаючих двигунах за рахунок збільшення маси активних матеріалів (заліза і міді) підвищено номінальні значення ККД і  $\cos\phi$ . Доцільність застосування енергозберігаючих двигунів повинна оцінюватися з урахуванням додаткових витрат, оскільки невелике (до 5%) підвищення номінальних ККД і  $\cos\phi$  досягається за рахунок збільшення маси заліза на 30-35%, міді на 20-25%, алюмінію на 10-15% і в цілому двигуна на 25-30% відносно звичайних двигунів.

Перспективним для застосування в ліфтових установках може бути також синхронно-реактивний двигун, що за прогнозами матиме масогабаритні показники, які лежать у проміжку між відповідними високими значеннями синхронного й асинхронного двигунів, а за енергетичною ефективністю, можливо, перевершить їх, причому за нижчої вартості.

У США на сьогоднішній день гідравлічні ліфти є найбільш поширеним типом ліфтів (близько 75% всієї кількості). Але вони обмежені максимальною висотою підйому, яка становить 6-7 поверхів.

Сьомий метод полягає в усуненні проміжних передач. У механічних передачах втрачається до десяти відсотків потужності, тому актуальним є питання зведення проміжних передач до мінімуму.

Розглянемо **сучасний стан проблеми**. На даний момент ліфтобудівними фірмами усунення проміжних передач досягається низкою методів. Так, більшість провідних фірм (ВАТ «НИПТИЭМ», ВАТ «КМЗ» Росія, «OTIS» США, «Mitsubishi» Китай та ін.), що займаються будівництвом ліфтів, випускає безредукторні приводи ліфтових установок на базі синхронної машини з постійними магнітами. Цей двигун має ряд переваг перед іншими двигунами і на даний момент є найперспективнішим.

Фірма «OTIS» (США) і «KONE» (Фінляндія) для комплектації своїх ліфтів широко застосовують мотор-редуктори.

Російські підприємства ВАТ «ВЭМЗ» спільно з ВАТ «МЛЗ» розробили лебідку для ліфта 400 кг зі швидкістю 1,0 м/с, потужністю 3,0-3,5 кВт і ремінною передачею. Використання ремінної передачі замість редуктора зменшує шум.

Фінська фірма KONE запатентувала безредукторну лебідку EcoDisk, яка споживає до 40% менше електроенергії, ніж ліфти з традиційними або гідравлічними приводами. Завдяки низькій швидкості обертання цієї лебідки в ліфтах практично відсутні шуми і вібрація, відсутність потреби в змащуванні знижує витрати на її технічне обслуговування, а сам ліфт стає більш економічним. Безредукторний електропривод EcoDisk був спроектований на основі спеціального дискового СД з постійними магнітами. Лебідка розрахована на ліфт з поліспастовою підвіскою кабіни. Застосування дискової конструкції ротора СД і

багатополюсного статора дозволило створити тихохідний привід з числом обертів менше 100 об/хвза достатньої величини крутного моменту. Але такий привід має високу вартість.

У таблиці 1 наведено порівняльний аналіз експлуатаційних показників ліфтів [2].

Таблиця 1. Технічні показники різних типів ліфтів

Пасажирський ліфт - 630 кг	Гідравлічний ліфт	Канатний, 2-швидкісний	Ліфт KONE з лебідкою EcoDisk
Швидкість (м/с)	0,63	1,0	1,0
Потужність (кВт)	11	5,5	3,7
Номінальний струм ( А)	30	20	8
Пусковий струм (А)	40	60	10
Споживана електроенергія при 100000 пусках на рік, кВт*год	4200	3000	1800
Витрата мастил, л	200	3,5	0
Вага, кг	650	430	230
Середній рівень шуму, дБ	65-70	65-70	50-55

Рядом фірм (ВАТ «ЯЭМЗ-ELDIN» спільно з ВАТ «КМЗ») проводяться роботи зі створення безредукторних лебідок на основі АД з ПЧ вантажопідйомністю 1000 кг і швидкістю переміщення до 4 м/с.

З наведеного аналізу випливає, що перспективним для підйомно-транспортного устаткування є використання синхронних (вентильних) двигунів з постійними магнітами (ВДПМ), які мають кращі регульовальні та енергетичні характеристики в порівнянні з АД [3].

**Порівняння різних видів лебідок ліфтів.** Порівняння здійснюється для таких лебідок: безредукторної на базі асинхронного тихохідного двигуна, безредукторної на базі синхронної машини з постійними магнітами (з рекуперацією і без), лебідки з черв'ячним редуктором (з регулятором і без).

На стенд-башті ВАТ «Щербинськийліфтобудівний завод» (Росія) проведено оцінку ряду конструкцій лебідок з точки зору забезпечення їх працездатності у складі ліфтів, а також здійснено випробування окремих лебідок у складі ліфта 400 кг, 1,0 м/с з метою оцінювання їх енергоефективності [4].

Було проведено аналіз для ліфтів 400 кг і 630 кг, за кратності підвісу кабіни і противаги 1:1, із застосуванням редукторних і безредукторних лебідок, визначено рівні статичних і динамічних зусиль, необхідних для зрушення і переміщення «вгору» з рівня нижньої зупинки навантажених кабін ліфтів.

В розрахунках було використано наступні значення впливових факторів:

- вага кабіни ліфта вантажопідйомністю 400-650 кг, ліфта 630-1000 кг;
- коефіцієнт врівноваження кабіни і противаги - 0,5;
- кратність підвісу кабіни і противаги - 1:1;
- урівноваження канатів здійснювалось з 25 м;
- балансування противаги і кабіни виконувалось з похибкою  $\pm 25$  кг;
- прискорення розгону -  $0,5 \text{ м/с}^2$ ;
- допустиме перевантаження кабіни - 25 кг,
- коефіцієнт втрат у шахті - 0,95.

У процесі досліджень різних видів лебідок у складі ліфта 400 кг, 1,0 м/с оцінювалось

наступне:

1 – рівень енергоспоживання різними типами лебідок в режимі навантаження в житлових будівлях, в редукторних лебідках із застосуванням регулятора і без нього, а також з різними потужностями електродвигунів;

2 – перевищення температури обмоток двигунів;

3 – рівень рекуперації в редукторних і безредукторних лебідках.

За результатами досліджень редукторних і безредукторних лебідок у складі ліфта вантажопідйомністю 400 кг і швидкістю руху 1,0 м/с було зроблено такі висновки:

1. У процесі досліджень були підтверджені результати порівняння параметрів різних установок, а саме:

- редукторні лебідки забезпечують надійну роботу, що підтверджується позитивним досвідом їх експлуатації;

- безредукторні лебідки на базі синхронних двигунів з постійними магнітами забезпечують надійну роботу у всіх режимах за рахунок високої перевантажувальної здатності;

- безредукторні лебідки на базі асинхронного двигуна забезпечують певний запас за зусиллям лише у випадку добре збалансованої системи, у інших випадках слід очікувати нестабільної роботи, виявлено, що для забезпечення задовільної роботи цього типу лебідок слід підвищити рівень номінального моменту, а отже - потужність лебідок.

2. Найбільш енергоефективною за результатами досліджень виявилась лебідка на базі синхронного двигуна з постійними магнітами.

Відносне енергоспоживання різними типами лебідок наведено на рис. 2. За одиницю прийнято рівень енергоспоживання лебідкою з черв'ячним редуктором, без застосування регулятора частоти.

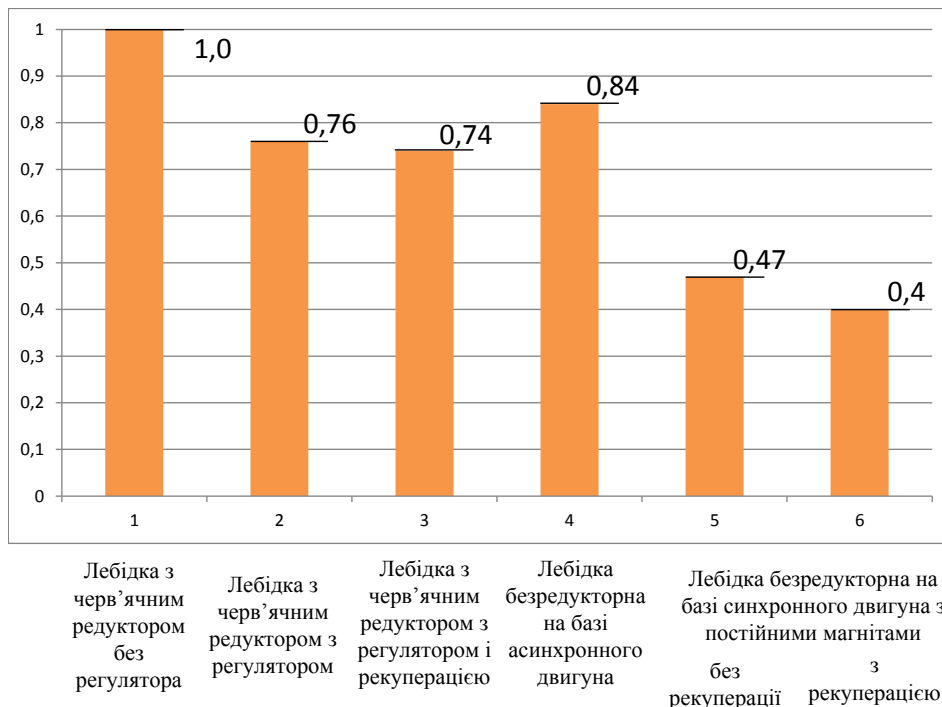


Рисунок2 - Відносне енергоспоживання лебідками ліфта.

Безредукторні лебідки на базі синхронних електродвигунів з постійними магнітами нині практично повністю витіснили редукторні в ліфтах, які виробляють провідні закордонні фірми - «KONE», «OTIS», «Thyssen», «Wittur» та ін.

3. Використання регуляторів частоти в складі редукторних лебідок дозволяє знизити енергоспоживання на 20-25%.

4. Не підтвердилась можливість зниження рівня енергоспоживання за рахунок зниження потужності електродвигуна.

5. Безредукторні лебідки на базі асинхронних двигунів практичного застосування в ліфтах провідних закордонних фірм не знайшли.

Проведені аналізи і розрахунки підтвердили, що найбільш раціональним є вибір синхронної машини з постійними магнітами для електроприводу ліфтових установок. Тому на сьогодні слід визнати за доцільне використання саме синхронних машин з постійними магнітами.

#### Вентильний двигун.

Вентильний двигун являє собою систему, що містить електромеханічну частину, силовий напівпровідниковий перетворювач, блоки керування й датчики (рис.3). На рисунку використано такі позначення: В – випрямляч, І – інвертор, СМ – синхронна машина, ДПР – датчик положення ротора, СКІ – система керування інвертором, СКВ – система керування випрямлячем.

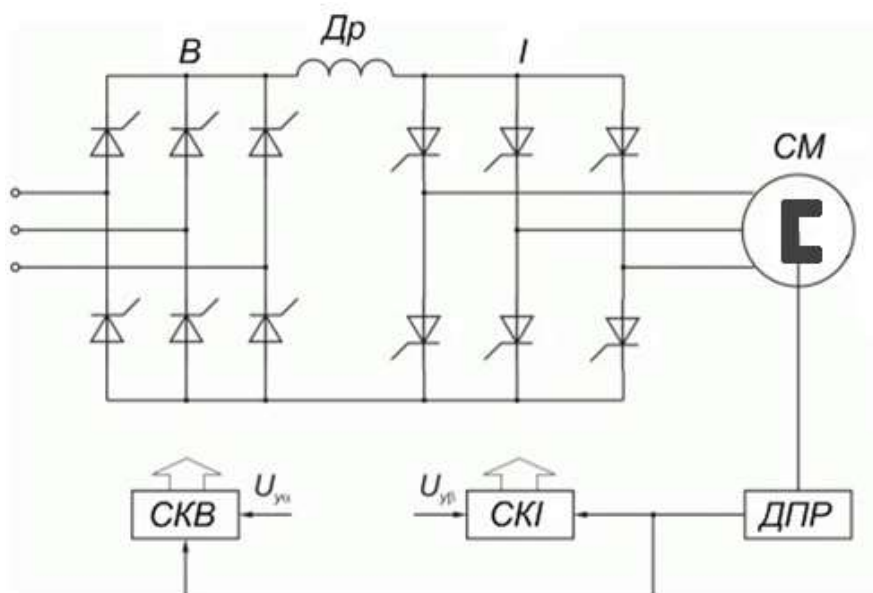


Рисунок 3 -Схема синхронної машини з постійними магнітами (ВДПМ)

Існують наступні способи керування комутатором ВД.

Перший, найбільш простий, спосіб керування полягає у підтриманні постійного значення кута випередження  $\beta_0 = \text{const}$  ( $\beta_0$  – кут між струмом і ЕРС холостого ходу машини). Джерелом напруги синхронізації є ДПР. Фазовий зсув між першою гармонікою струму і ЕРС холостого ходу

$$\psi_1 = \varphi + \theta = \beta_0 - \frac{\gamma}{2},$$

де  $\varphi$  – кут зсуву між векторами основної гармоніки струму і фазової напруги;  $\theta$  – кут навантаження СМ;  $\gamma$  – кут комутації.

У другому способі керування підтримується сталим кутвипередження  $\beta = \text{const}$  ( $\beta$  – кут між струмом і напругою машини). Джерелом напруги синхронізації є датчик напруги статора (ДНС). У цьому випадку попередній вираз набуває вигляду

$$\psi_1 = \beta - \frac{\gamma}{2} + \theta.$$



Третій спосіб полягає у підтриманні постійної величини кута запасу  $\delta$  на мінімальному рівні

$$\beta_0 = \beta_{0\min} = f(\gamma, \theta) \text{ при } \delta = \delta_{\min} = \text{const},$$

$$\beta = \beta_{\min} = f(\gamma) \text{ при } \delta = \delta_{\min} = \text{const}.$$

При цьому

$$\psi_1 = \frac{\gamma}{2} + \delta_{\min} + \theta.$$

Останній метод керування потребує наявності датчиків кутів комутації і навантаження, а також системи імпульсно-фазового керування (СІФК), синхронізованої від ДПР, або ДНС.

Третій спосіб є найбільш енергоефективним, про що свідчать результати розрахунків [5].

На рис. 4 наведено структурну схему двоконтурної системи автоматичного регулювання (САР) швидкості ВД при  $\beta = \text{const}$ . [6].

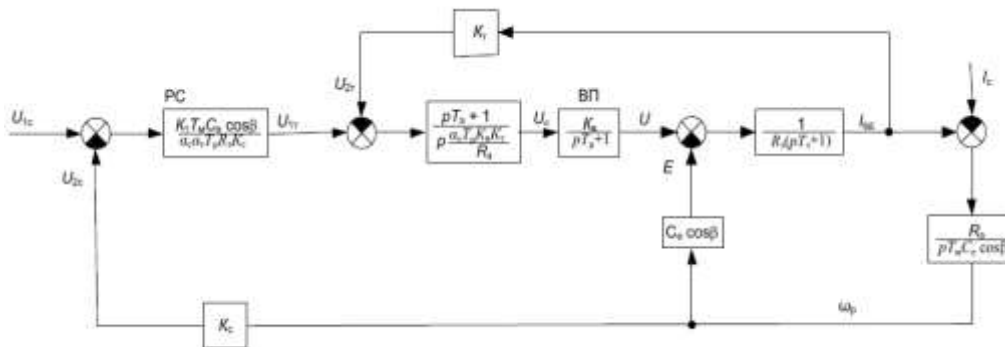


Рисунок 4 - Однократнінтегруючаструктурна схема двоконтурної САР швидкості ВД

Розглянемо модель замкненої системи автоматичного регулювання вентильного двигуна, побудовану у середовищі MATLABSimulink (рис.5).

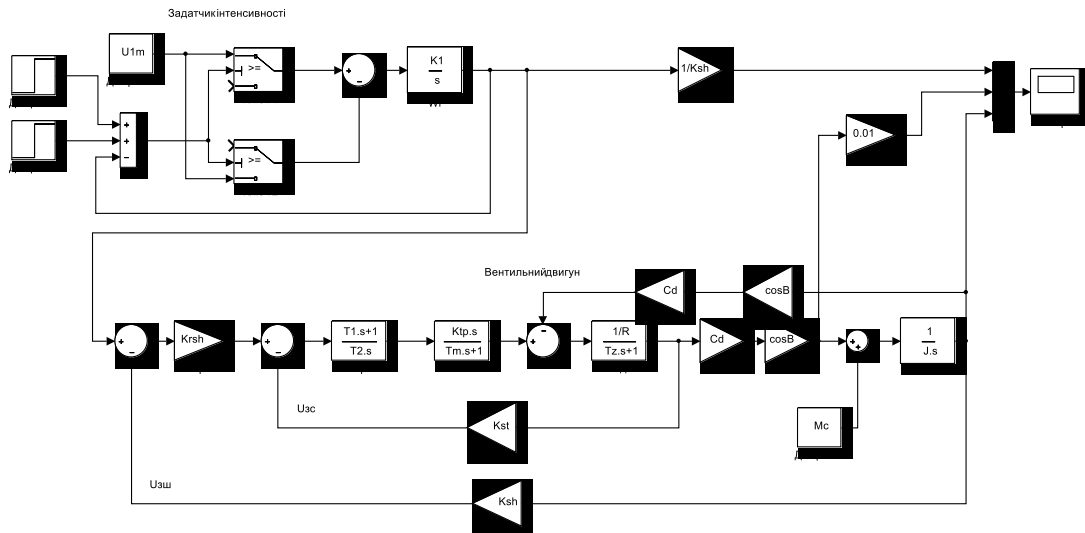


Рисунок 5 - Схема моделі замкненої системи автоматичного регулювання вентильного двигуна в середовищі MATLABSimulink

У таблиці 2 наведено позначення основних елементів схеми.

Таблиця 2. Позначення основних елементів схеми

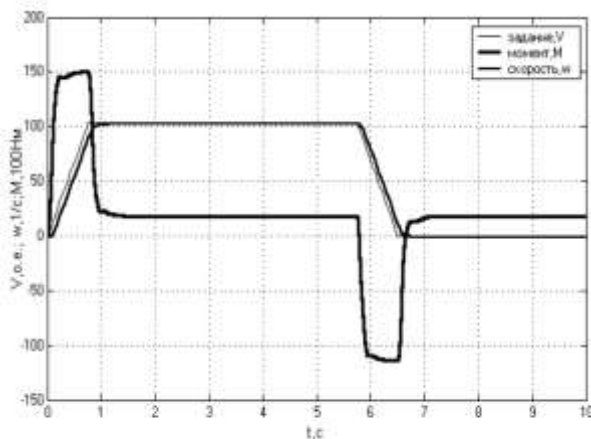
Позначення	Призначення
------------	-------------

$U_{1m} = 10; K_1 = \frac{\varepsilon_{\max}}{\omega_{\max}}$ $\varepsilon_{\max} = \frac{(0.8...0.9)M_{\max} - M_c}{J'}; J' = J + J'_{р.м.}$	Задатчик інтенсивності
$K_{ст} = \frac{U_{от\max}}{I_{\max}}; I_{\max} = \frac{M_{\max}}{C_M \cos\beta}$	Коефіцієнт передачі за струмом
$W_{pc}(p) = \frac{T_1 p + 1}{T_2}; T_1 = T_c; T_2 = \frac{a_r T_{\mu} K_{п} K_T}{R_c}$	Передатна функція регулятора струму
$W_{рш}(p) = \frac{T_3 p + 1}{T_4};$	Передатна функція регулятора швидкості
$1/K_S, 0,01$	Масштабні коефіцієнти

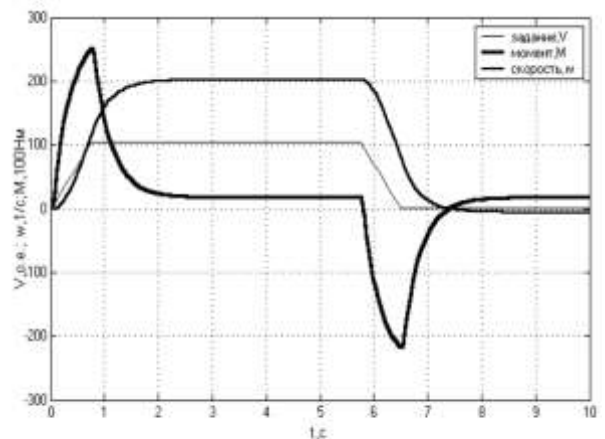
Як приклад вибрано двигун типу СД2-74/25-604з паспортними даними:

- $U = 380V;$
- $P = 225кВт;$
- $n = 1000об/хв.;$
- $I_C = 406A;$
- ККД = 93.8%;
- $\cos\varphi = 0.9;$
- $f = 50Гц;$
- $I_{пуск}/I_{ном} = 5.5;$
- $M_{пуск}/M_{ном} = 1.1;$
- $M_{вх}/M_{ном} = 1.1;$
- $M_{max}/M_{ном} = 1.7.$

На рис.бнаведено діаграми зміни заданої і дійсної швидкостей та моменту ВД відповідно: а)  $\beta=0^\circ$ , б)  $\beta=30^\circ$ , в)  $\beta=60^\circ$  при  $M_c=M_n$  і  $U_3=100\%$ ; г)  $\beta=60^\circ$  при  $M_c=M_n$  й  $U_3=30\%$ , отримані в результаті комп'ютерного моделювання.



а



б

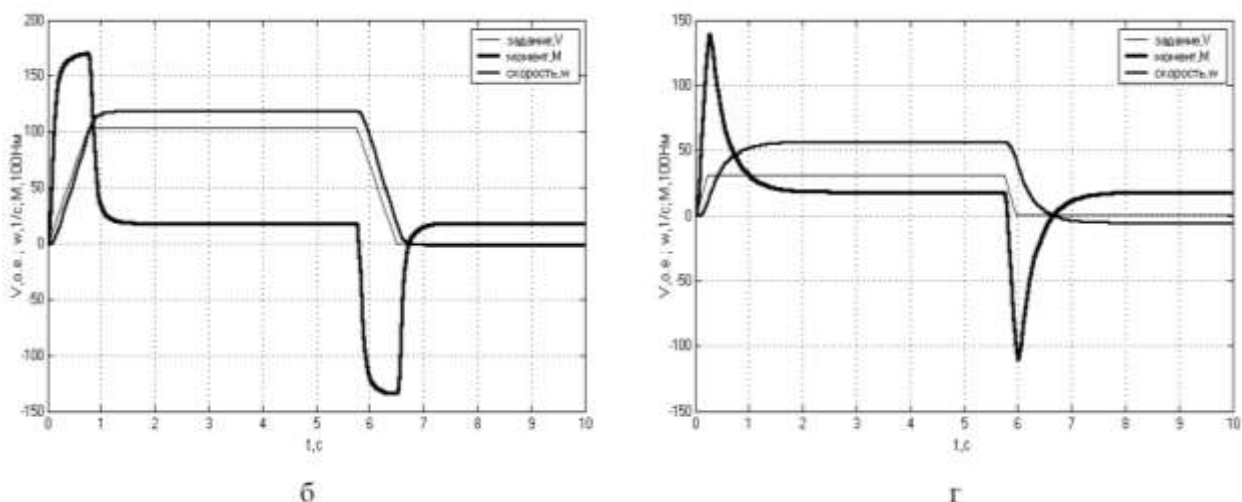


Рисунок 6 - Результати комп'ютерного моделювання режимів пуску і гальмування вентильного двигуна.

**Висновки:** 1. Розглянуто режими роботи ліфтових установок. За результатами аналізу режимів роботи визначено, що найбільш доцільним до застосування є безредукторний електропривод змінного струму.

2. Визначено заходи і виконано порівняння різних видів лебідок ліфтів і показано, що з точки зору економії електроенергії найбільш вагомими результатами дає застосування енергоефективного вентильного двигуна з постійними магнітами.

3. Розглянуто три способи керування комутатором ВД і визначено, що найбільш енергоефективним є третій закон керування, який підтримує постійним значення кута запасу.

4. Наведено результати дослідження в середовищі MATLAB вентильного двигуна з однократно інтегруючою системою автоматичного регулювання і показано, що є можливим одночасне виконання двох умов: оптимальної швидкодії та високого рівня енергоефективності.

### Література

1. Чуватов А.Б. Внедрение энергосберегающих технологий при модернизации лифтового оборудования // «Лифтинформ». – 2000. – № 10. – С. 5–7.
2. Марков А.М., Маркова Т.А. Современные и перспективные конструкции электрических и гидравлических лифтов. Труды ППИ / Псков: Изд-во ППИ, 2008. – №11.3. – с. 254–258.
3. Овчинников, И.Е. Вентильные электрические двигатели и привод на их основе. – СПб.: КОРОНА – Век, 2006. – 336 с.
4. Е. Ю. Ганкевич. Энергосбережение и надежность работы лифтов // Лифт. № 3, 2011. С. 45–48.

5. Закладний О.М., Якимчук А. В. «Математичні моделі для визначення рівня енергоефективності електропривода з вентильним двигуном у відповідності зі способами керування», // Енергетика. Екологія. Людина. Наукові праці НТУУ «КПІ», ІЕЕ.–Київ: НТУУ «КПІ», ІЕЕ, 2012.–511с. С. 320-326.

6. Закладний О.М., Закладний О.О. Енергоефективний електропривод з вентильним двигуном: Монографія / . – К.: «Либра», 2012.

7. А.И. Хитров, А.А. Хитров «Перспективы применения энергосберегающих решений в электроприводах главного движения лифта», // Журнал "Труды Псковского политехнического института" 2011. –№ 14.3, с 367-376.

Лебедєв Л.М., Моцак Д.О, Кіянець С.М.

## ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОБЛЕМИ ПОВ'ЯЗАНОЇ З НЕСИНУСОЇДАЛЬНИМИ СКЛАДОВИМИ НАПРУГИ

*В даній роботі ми наведемо декілька прикладів фільтрів для зменшення несинусоїдальності. Розглянуто принцип роботи, переваги та недоліки.*

*Ключові слова: перетворювач частоти, фільтр, гармоніка.*

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОБЛЕМЫ СВЯЗАННОЙ С НЕСИНУСОИДАЛЬНЫМИ СОСТАВЛЯЮЩИМИ НАПРЯЖЕНИЯ

*В данной работе мы приведем несколько примеров фильтров для уменьшения несинусоидальности. Рассмотрим принцип работы, преимущества и недостатки.*

*Ключевые слова: преобразователь частоты, фильтр, гармоника.*

## RESEARCH ISSUES RELATED NON-SINUSOIDAL COMPONENT OF THE VOLTAGE

*In this paper, we present several examples of filters to reduce the non-sinusoidal. Consider the principle of operation, advantages and disadvantages.*

*Keywords: frequency inverter, filter, harmonic.*

### Вступ

Обладнання, що включає силові електронні компоненти (частотне регулювання двигунів, тиристорні випрямлячі і т.д.) значно збільшує проблеми, викликані гармонійними складовими в системі електроживлення.

Гармоніки створюють проблеми з моменту зародження промисловості і є викликані нелінійними опорами тиристорів, діодів, намагнічування трансформаторів, реакторів, баластними опорами резонансних ламп і т.д.

Гармоніки симетричних трифазних систем є, як правило, непарними (третья, п'ята, сьома, дев'ята), і їх величина зменшується з збільшенням порядкового номера. Кілька пристроїв можуть бути використані для зниження конкретних гармонік до нехтувано малих значень – повне усунення неможливо. В даній доповіді рекомендуються практичні засоби зниження впливу гармонік, особливо для захисту КБ.

Конденсатори особливо чутливі до гармонійних складових напруги живлення, в силу того, що ємнісний реактивний опір зменшується при збільшенні частоти. На практиці це означає, що відносно малий відсоток гармонійних напруг може викликати протікання значного струму в ланцюзі конденсаторів.

Присутність гармонік викликає спотворення (нормально синусоїдальної) форми хвилі напруги або струму. Чим вищий вміст гармонік, тим більший ступінь спотворення.

Якщо власна резонансна частота комбінації «КБ – реактивний опір енергосистеми» близька до частоти конкретної гармоніки, виникає частковий резонанс з підвищеними значеннями напруги і струму при частоті гармоніки. В даному випадку підвищений струм викличе перегрів конденсатора з поступовим погіршенням діелектрика, яке в підсумку приводить його до виходу з ладу.

Є кілька рішень цих проблем із застосуванням таких засобів:

- паралельно підключені фільтр і / або реактори для придушення гармонік;
- активні силові фільтри;
- гібридні фільтри.

### Використання пасивного фільтра

Присутність гармонік в напрузі приводить до ненормально високих рівнів струму через конденсатори. Поправка на це робиться при розрахунку з урахуванням середньоквадратичного значення струму, який в 1,3 рази більше номінального струму. Всі послдовні елементи, такі як плавкі запобіжники, перемикачі, пов'язані з конденсаторами, розраховуються з аналогічним збільшенням (в 1,3 А1, 5 рази більше номінального значення).

Спотворення гармоніками форми хвилі напруги часто виражається в появі «піків» і збільшення амплітуди нормальної синусоїдальної хвилі. Така можливість разом з іншими умовами перенапруги, які можуть виникати при протидії резонансним ефектам, які описуються нижче, враховуються шляхом збільшення рівня ізоляції вищереівня ізоляції «Стандартних» конденсаторів. У багатьох випадках ці два заходи достатні для забезпечення задовільної роботи. Принцип роботи пасивного фільтра представлений на рис. 1.

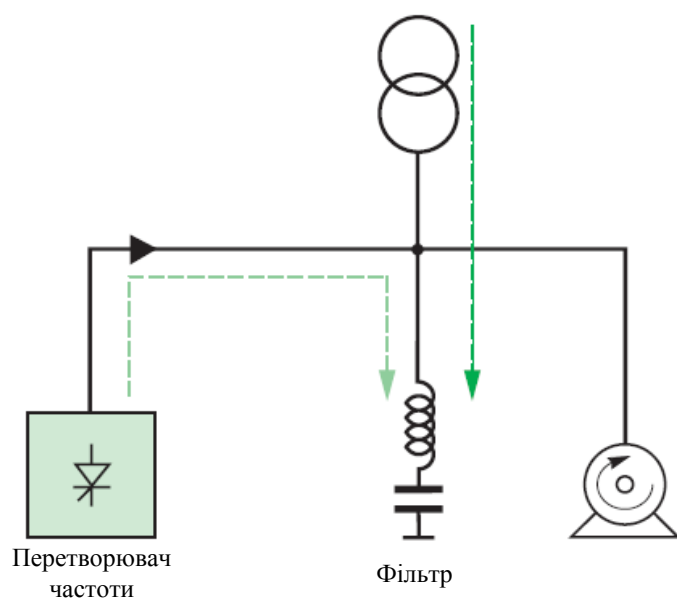


Рисунок 1. Принцип роботи пасивного фільтра

Конденсатори є лінійними реактивними пристроями і, як наслідок, не генерують гармонік. Однак, установка конденсаторів в енергосистемі (у якій опір є переважно індуктивними) може приводити до сумарного абочасткового резонансу з однією із гармонійних частот.

Порядок гармоніки й найменшої резонансної частоти між індуктивністю системи та КБ визначається за формулою:

$$h_o = \sqrt{\frac{S_{sc}}{Q}}$$

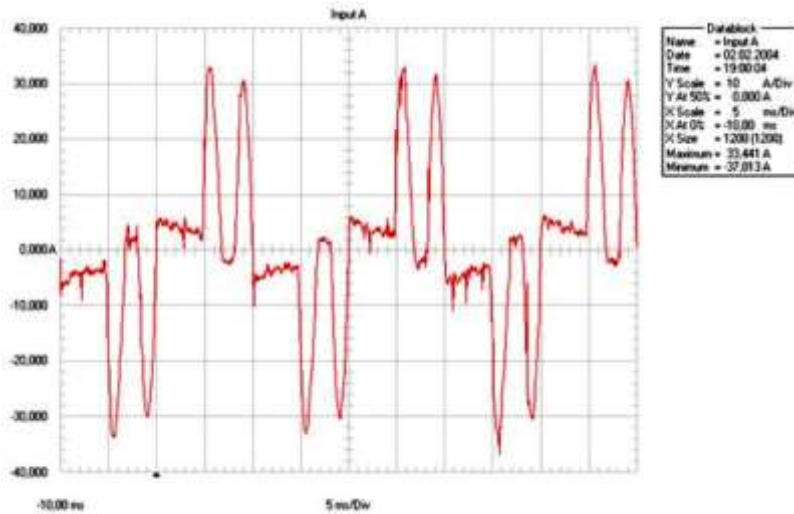
де  $S_{sc}$  - потужність КЗ системи (кВА) в точці приєднання КБ;

$Q$  - номінальна потужність КБ в квар;

$h_o$  - порядок гармоніки, найменшою резонансної частоти  $f_o$ , тобто  $\frac{f}{50}$

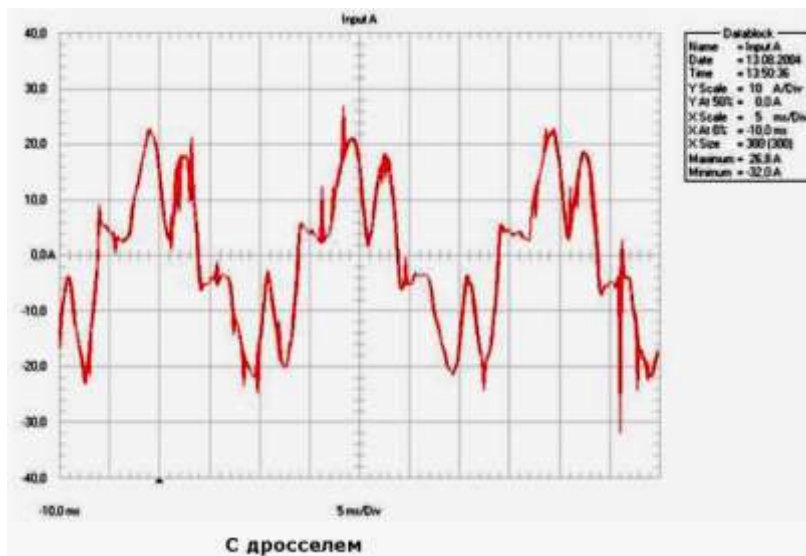
для системи 50 Гц або  $\frac{f}{60}$  для системи 60 Гц.

Наприклад, на діаграмі представлена реальна форма струму знята з входу перетворювача частоти потужність 5,5 кВт, номінальний вхідний струм 13,2 А, при живленні трифазним напругою 400 В і навантаженні номінальним навантаженням без дроселя і з дроселем.



Без дроселя

Рисунок 2. Графік зміни вхідного струму ПЧ без дроселя



С дроселем

Рисунок 3. Графік зміни вхідного струму ПЧ з дроселем

Як видно з графіків, рис. 2 і рис. 3, при номінальному вхідному струмі 13,2 А, викиди досягають 33 - 34 А без дроселя і 22 - 23 А з дроселем. Небезпека таких викидів полягає в тому, що вони можуть чинити сильний вплив на інших споживачів, а в разі роботи декількох перетворювачів від однієї мережі, вони можуть сильно впливати і один на одного аж до виходу перетворювача з ладу.

Дві характеристики - амплітудна і фазова, як модулі та аргументи комплексних коефіцієнтів ряду Фур'є повністю визначають структуру частотного спектра періодичного коливання. Наочне уявлення про «ширину» спектра дає графічне зображення спектра амплітуд. Як приклад на рис. 4, а побудований спектр коефіцієнтів  $|C_n|$ , а на рис. 4, б - спектр амплітуд  $A_n = 2 |C_n|$  для одного і того ж

періодичного коливання.

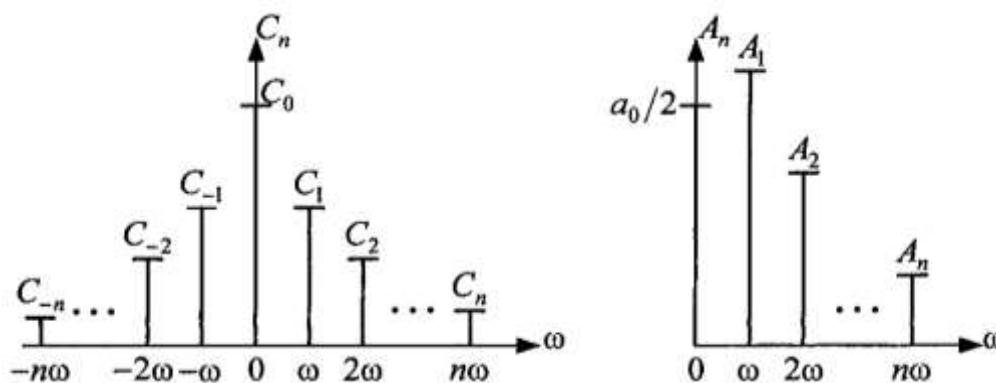


Рисунок 4. Спектр коефіцієнтів ряду Фур'є

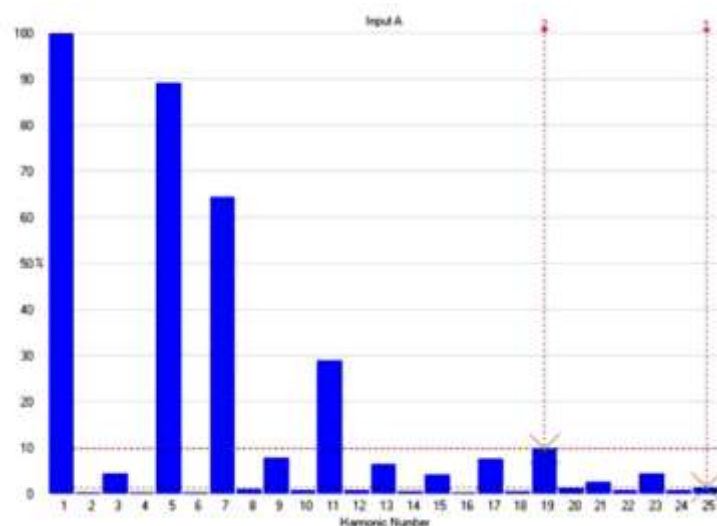


Рисунок 5. Гістограма гармонік вхідного струму ПЧ без дроселя

Спектр періодичної функції називається лінійчатим або дискретним, так як складається з окремих ліній, відповідних дискретними частотами  $0, \omega, 2\omega, 3\omega, \dots$ . При розкладанні даних сигналів в ряд Фур'є коефіцієнт, що характеризує несинусоїдальність форми, в даному випадку дорівнює 66%.



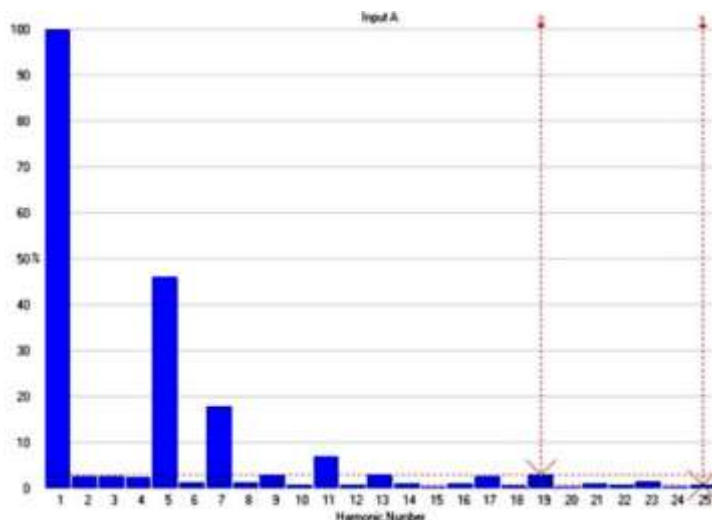


Рисунок 6. Гістограма гармонік вхідного струму ПЧ з дроселем

Коефіцієнт, що характеризує несинусоїдальність форми в разі використання дроселя дорівнює 89%.

Як видно з вищевведених діаграм використання дроселя суттєво впливає на форму споживаного струму і значно наближає його до синусоїдальної, однак, це не єдина перевага використання дроселя. Дросель суттєво послаблює скидки напруги в мережі при включенні або виключенні великих споживачів, так як, якість провідної електроенергії не завжди відповідає вимогам ГОСТ 13109-97.

При використанні дроселя в діапазоні від 10 кГц до 300 кГц досягається зменшення навантажувальних перешкод аж до 30 dB, збільшується термін служби конденсаторів проміжного контуру, а надійність перетворювача частоти збільшується в 5 - 7 разів. При використанні дроселя обмежується швидкість наростання струму.

### Використання активного фільтра

Активні фільтри засновані на використанні силової електроніки. Як правило, вони встановлюються паралельно з нелінійним навантаженням. Принцип роботи активного фільтра представлений на рис. 7.

Активні фільтри аналізують гармоніки, що вводяться на навантаження, і потім подають струм такої ж гармоніки на навантаження з відповідною фазою. В результаті гармонійні струми повністю нейтралізуються. Це означає, що вони не можуть більше пройти вгору до джерела живлення і більше не видаються джерелом.

Основна перевага активних фільтрів полягає в тому, що вони гарантують ефективну компенсацію гармонік навіть при зміні установки. Вони виключно прості у використанні в силу наступних характеристик:

- автоматична настройка конфігурації під гармонійні навантаження незалежно від порядку гармонік;
- усунення ризиків перевантаження;
- сумісність з електрогенераторами;
- приєднання в будь-якій точці електричної мережі;

- кілька фільтрів можуть використовуватися в одній і тій же установці для підвищення ефективності усунення гармонік (наприклад, у випадку встановлення нової машини).

Крім того, активні фільтри можуть також забезпечити компенсацію реактивної потужності.

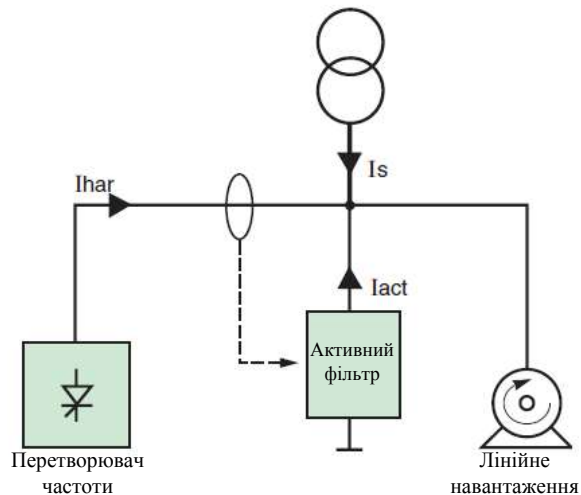


Рисунок 7. Принцип роботи активного фільтра

### Використання гібридного фільтра

Даний тип фільтра об'єднує переваги пасивного і активного фільтрів. Одна частота може фільтруватися пасивним фільтром, а всі інші частоти – активним фільтром. Принцип роботи гібридного фільтра представлений на рис. 8

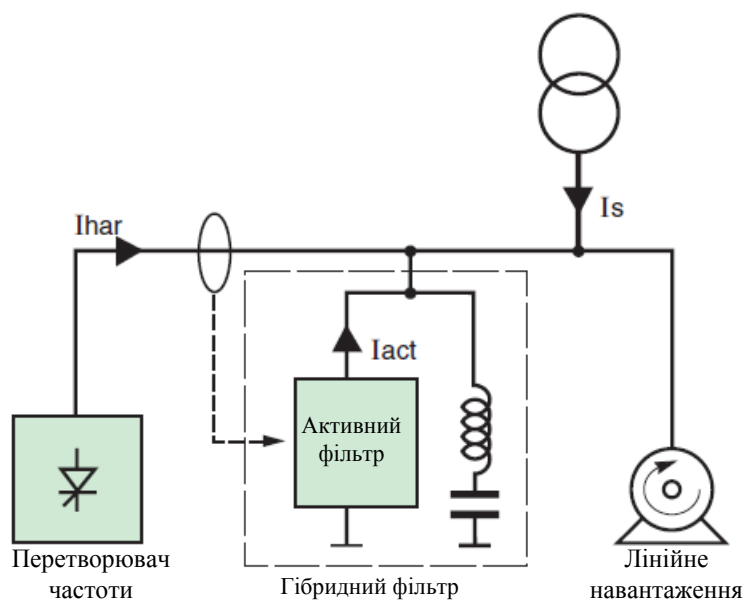


Рисунок 8. Принцип роботи гібридного фільтра

### Висновки

Виходячи з результатів порівняння основних характеристик фільтрів для зменшення несинусоїдальності можна зробити таблицю для вибору фільтра.

Рис. 9 показує критерії, які можуть враховуватися при виборі найбільш придатної технології в залежності від області застосування.

	Пасивн. фільтр	Акт. фільтр	Гібрид. фільтр
Область використання при загальній потужності нелінійного навантаження	Промисловість	Третього порядку	Промисловість
	Вище 200 кВА	Нижче 200 кВА	Вище 200 кВА
Компенсація реактивної потужності		НІ	
Придушення гармонічних спотворень в напрузі для чутливих навантажень			
Придушення гармонічних спотворень в струмі для запобігання перенавантаження кабелів			
Забезпечення строгих границь усунення гармонік	НІ		

Рисунок 9. Вибір найбільш підходящих технологій в залежності від області використання

Для пасивного фільтра вибір робиться на основі наступних параметрів:

- $G_h A$  сума номінальних значень кВА всіх пристроїв, що генерують гармоніки (статичні перетворювачі, інвертори, регулятори швидкості), що живляться від шин, до яких підключена КБ. Якщо номінальні потужності деяких з таких пристроїв вказуються тільки в кВт, приймається середній коефіцієнт потужності 0,7 для отримання номінальних значень кВА.
- $S_{sc} A$  потужність трифазного короткого замикання в кВА на затискачах блоку конденсаторів.
- $S_n A$  сума номінальних потужностей кВА всіх трансформаторів.

### Література

1. Сверкунов Ю. Д. Идентификация и контроль качества нелинейных элементов радиоэлектронных схем (спектральный метод). / Ю. Д. Сверкунов – М.: Энергия, 1975. – 75 с.
2. Штамбергер Г. А. Измерения в цепях переменного тока (методы уравнивания) / Г. А. Штамбергер; Под ред. К. Б. Карандеева. – Новосибирск: Наука, 1972. – 164 с.
3. Сулейманов А. О. Определение неактивной мощности и ее составляющих по массивам мгновенных значений токов и напряжений / Е. И. Гольдштейн - Томский политехнический университет. Томск., 2006. - 257 с.

УДК 62-83:621.313.2

**Б.Л.Тишевич, канд,техн.наук, А.В.Осоченко, магістрант**  
**ИНТЕЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА НЕЙРО-НЕЧЕТКОГО УПРАВЛЕНИЯ**  
**ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ ЗМІННОГО СТРУМУ**

*В данной работе предлагается новый подход для робастного управления электроприводом переменного тока. Для решения такой задачи были объединены системы с нечеткой логикой и нейронные сети. Такое комбинирование позволило разработать новый алгоритм управления. Нечеткая логика была использована для адаптации алгоритма обучения с целью повышения точности обучения и действия нейронной сети. Разработан алгоритм управления является устойчивым (робастным) к изменению параметров и внешних воздействий.*

*Ключевые слова - асинхронный двигатель (АД), нечеткая логика управления, нейронные сети управления.*

**Б.Л.Тышевич, канд,техн.наук, А.В.Осоченко, магістрант**  
**ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА НЕЙРОНЕЧЕТКОГО УПРАВЛЕНИЯ**  
**ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА**

*У даній роботі пропонується новий підхід для робастного управління електроприводом змінного струму. Для вирішення такої задачі були об'єднані системи з нечіткою логікою і нейронні мережі. Таке комбінування дозволило розробити новий алгоритм управління. Нечітка логіка була використана для адаптації алгоритму навчання з метою підвищення точності навчання і дії нейронної мережі. Розроблений алгоритм управління є стійким (робастним) до зміни параметрів і зовнішніх впливів.*

*Ключові слова - асинхронний двигун (АД), нечітка логіка управління, нейронні мережі управління.*

**B.L.Tyshevych, Ph.D, A.V.Osochenko, undergraduate**  
**INTELLIGENT SYSTEM NEURO-FUZZY CONTROL FOR ELECTRIC DRIVES**

*In this paper, a novel approach for robust trajectory tracking of induction motor drive is presented. By combining variable structure systems theory with fuzzy logic concept and neural network techniques, a new algorithm is developed. Fuzzy logic was used for the adaptation of the learning algorithm to improve the robustness of learning and operating of the neural network. The developed control algorithm is robust to parameter variations and external influences.*

*Keywords– Induction motor, fuzzy-logic control, neural network control.*

**ВСТУП**

Завдяки досягненням в області силової електроніки та мікропроцесорній техніці, електроприводи змінного струму із цифровим керуванням стають все більш популярними. У багатьох промислових приводах, використовуються передові цифрові системи управління, з орієнтацією по полю асинхронного двигуна із звичайним ПД-регулятором швидкості. Такі системи набули найбільшого поширення у високопродуктивних серво системах змінного струму, якщо зміни навантаження малі, а умови експлуатації не змушують систему занадто далеко відхилитися від номінального режиму роботи.

Проте, в деяких прикладних застосуваннях, таких як металопрокат, паперова промисловість, робототехніка, та т.і., електропривод працює в широкому діапазоні зміни характеристик і параметрів системи. Щоб подолати цей недолік, алгоритм управління повинен виконувати складний процес обчислення для усунення негативного впливу на характеристики електроприводу зміни навантаження і параметрів системи. Проте, алгоритми управління на базі яких будуються такі системи стають все більш складними, що вимагає великих за обсягом обчислень в режимі реального часу.

В останні роки, штучні нейронні мережі (ШНМ) і нечіткі логічні контролери (НЛК) отримали значний розвиток і довели свою здібність управління складними динамічними системами [2,3]. У цій області були представлені декілька робіт [7,8,9,12,13]. Цей напрямок має великий потенціал для використання топологій ШНМ яка не потребує наявності математичної моделі для об'єкту управління. При цьому, для моделювання та управління динамічними системами, використовуються багато ШНМ різних типів. З кінця 1990-х років, були описані кілька практичних застосувань з використанням нейронних мереж для компенсації нелінійностей викликаних впливом зовнішнього навантаження або зміни параметрів [1,2,3]. Поєднання різних технологій штучного інтелекту в сфері управління призвело до розробки цікавих і ефективних алгоритмів [4,6]. Справді, ШНМ має декілька особливостей, які роблять їх цікавими як альтернативну систему управління асинхронним двигуном. Однією з цих особливостей є паралельна структура, якщо ШНМ побудована з високим числом прихованих шарів. Параметри всіх нейронів в шарі можна обчислити одночасно для підвищення швидкості. Інша особливість це простота необхідних обчислень для кожного нейрону мережі.

У цій роботі, для визначення моделі процесу були використані багат шарові перцептронні нейронні мережі (БПНМ) з використанням для навчання алгоритму зворотного поширення похибки. Нечіткій логічний блок додається для поліпшення загального зворотнього зв'язку.

### ЗАВДАННЯ ТА МЕТА ДОСЛІДЖЕННЯ

На першому етапі необхідно за математичним описом скласти модель АД. За допомогою перетворення система трифазних обмоток статора (sA, sB, sC) може бути перетворена в еквівалентну систему обмоток (Sd, Sq). Динамічна модель двигуна змінного струму описується набором електричних і механічних нелінійних диференціальних рівнянь:

$$\frac{dw_r}{dt} = \frac{n_p M}{J L_r} (\psi_{rd} i_{sq} + \psi_{rd} i_{sd}) - \frac{T_l}{J}, \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \frac{di_{sd}}{dt} &= \frac{M R_r}{\sigma L_s L_r^2} \psi_{rd} + \frac{n_p M}{\sigma L_s L_r} w_r \psi_{rd} - \frac{M^2 R_r + L_r^2}{\sigma L_s L_r^2} i_{sd} \\ \frac{di_{sq}}{dt} &= \frac{M R_r}{\sigma L_s L_r^2} \psi_{rq} - \frac{n_p M}{\sigma L_s L_r} w_r \psi_{rd} - \frac{M^2 R_r + L_r^2}{\sigma L_s L_r^2} i_{sq} + \frac{1}{\sigma L_s} u_{sq}, \end{aligned} \quad (2)$$

$$\frac{dw_{rd}}{dt} = -\frac{R_r}{L_r} \psi_{rd} - n_p w_r \psi_{rd} + \frac{R_r}{L_r} M i_{sd}, \quad (3)$$

$$\frac{dw_{rq}}{dt} = -\frac{R_r}{L_r} \psi_{rq} + n_p w_r \psi_{rd} + \frac{R_r}{L_r} M i_{sq}$$

$$\sigma = 1 - \frac{M^2}{L_s L_r}$$

де  $i, u, \psi$  - відповідно струм, напруга і потокозчеплення;  $r, s$  - індекси які відповідають ротору і статору;  $\omega_r$  - кутова швидкість ротору;  $d, q$  - відповідно прямі та перетворені складові векторів відносно фіксованих координат статору;  $L, R$  - відповідно самоіндукція та опір;  $M$  - взаємна індуктивність;  $T_l$  - момент навантаження.

Далі, необхідно розробити інтелектуальну систему управління скомбінувавши ШНМ та НЛК, яка повинна стабілізувати систему і забезпечити таке значення  $y(t)$ , щоб відслідковувати пов'язане завдання  $r(t)$  асимптотично. Іншими словами, мета полягає у

визначенні керуючого входу  $u(t)$  для всіх  $t \geq t_0$ , таким чином, щоб  $\lim_{t \rightarrow \infty} \|\omega_r(t) - \omega(t)\| \leq \varepsilon$  для деякого значення похибки  $\varepsilon \geq 0$ .

На рисунку 1. зображена блок-схема замкнутої системи інтелектуального управління. Заданим сигналом управління є  $\omega_r$ . Рекурентна нейронна мережа ідентифікатор (РНМІ) була використана для визначення приблизної нелінійної моделі для АД з невідомою динамікою та параметрами. Рекурентна нейронна мережа управління (РНМУ) була використана для синтезу адаптивного управляючого сигналу таким чином, щоб швидкість двигуна точно відповідала сигналу завдання  $\omega_r$ .

Сигнал управління  $u_n(k)$  комбінується з вихідним сигналом  $u_f(k)$  НЛК для отримання вхідного сигналу  $u(k)$  для управління процесом. Як для РНМІ так і для РНМУ, при навчанні широко використовується алгоритм зворотного поширення похибки.

Мета управління полягає в тім, що вихід процесу  $\omega(k)$  повинен точно відповідати сигналу задаючої моделі, яка формує оптимальний для конкретних умов сигнал зміни швидкості.

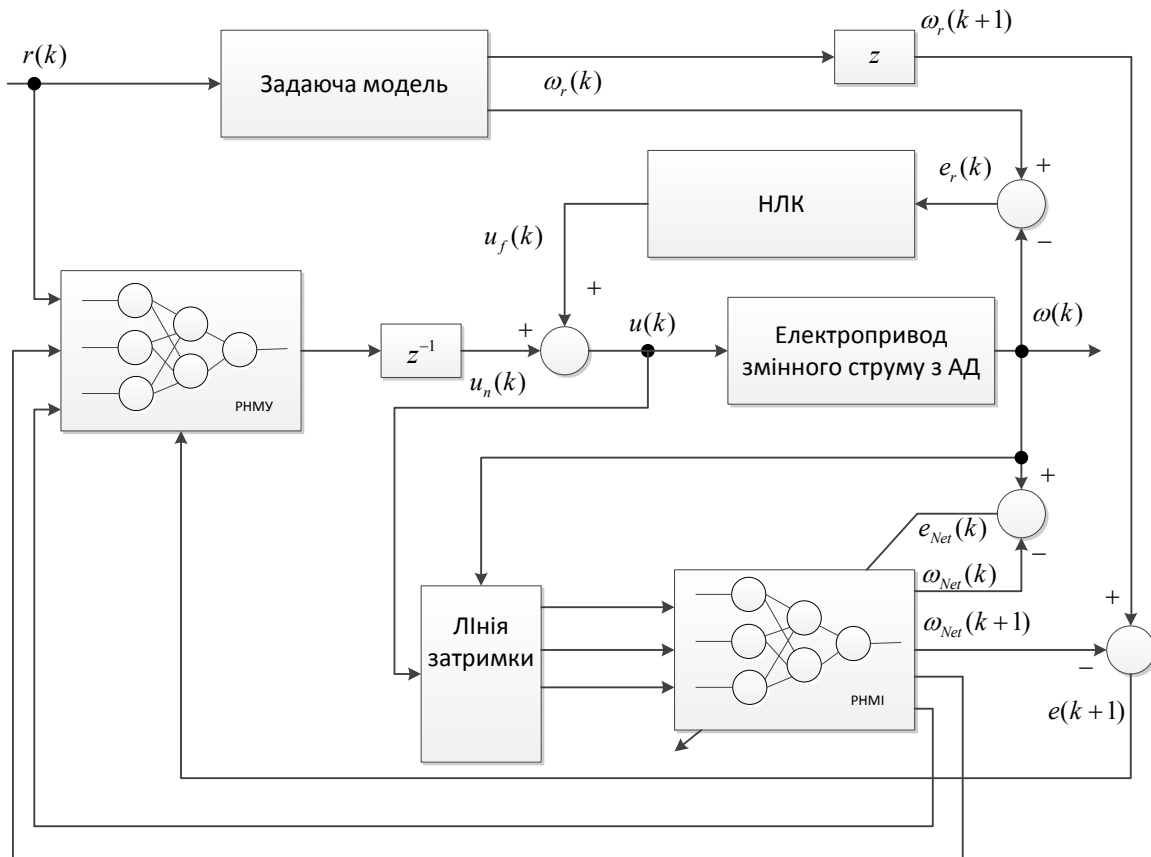


Рисунок 1. Інтелектуальна комбінована система управління

Для ідентифікації динаміки електроприводу змінного струму спочатку потрібно було описати зміну управляемого сигналу.

$$\omega(k) = f(\omega(k-1), \dots, \omega(k-n+1), \dots, i_{qs}(k-m)), \quad (4)$$

де  $f$  - невідома нелінійна функція, яку потрібно ідентифікувати;  $\omega$ ,  $i_{qs}$  - відповідно вихід і вхід управляемого процесу,  $n$  і  $m$  - відлік у часі для  $\omega$  і  $i_{qs}$ .

Розглянемо ідентифікацію невідомої функції  $f$  на основі нейронної мережі. Структура запропонованої РНМІ приведена на рисунку 2. Така нейронна мережа містить три шари -

вхідний, прихований і вихідний шар. Кожен шар складається з декількох нейронів. Кількість нейронів вхідних і вихідних шарів залежить від кількості обраних вхідних та вихідних змінних.

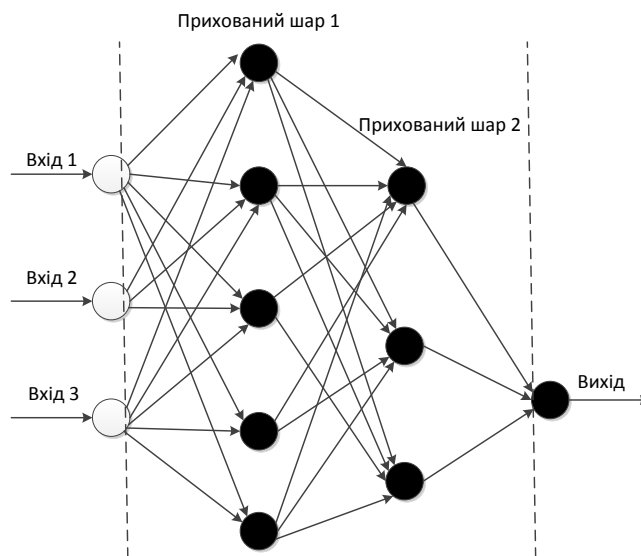


Рисунок 2. Структура тришарової РНМІ.

Кількість прихованих шарів і кількість нейронів у кожному шарі залежить від динаміки системи та бажаного ступеня точності. У програмних додатках, які формують ШНМ, вибір кількості нейронів вхідного шару є важливим аспектом. Отримана емпіричним методом база, що описана в [5], може бути використана для вибору прихованих нейронів. Всі нейрони в сусідніх шарах з'єднані між собою. Ступінь зв'язку між нейронами визначається ваговим вектором нейронної мережі. Найбільш поширеним методом навчання ШНМ є алгоритм зворотнього розповсюдження помилки [6]. Алгоритм заснований на пошуку градієнта, який мінімізує середньо-квадратичну функцію вартості помилки. Вагові коефіцієнти  $w_{ij}$  взаємозв'язків між двома сусідніми шарами можуть бути оновлені за формулою [5,6].

$$w_{ij}(k+1) = w_{ij}(k) + \eta \frac{\partial E}{\partial w_{ij}(k)}, \quad (5)$$

де  $\eta$  - задана швидкість навчання;  $k$  - число ітерацій;  $i, j$  - індекси вказують на  $i$ -го вузла у вхідному шарі,  $j$ -го вузла в прихованому шарі.

Вартість функції  $E$  для навчання нейронної мережі визначається наступним чином:

$$E = \frac{1}{2} \sum_{l=1}^P \sum_{r=1}^K (o_r^l - d_r^l)^2, \quad (6)$$

де  $O$  - вихід нейрона;  $d$  - бажане, або попередньо встановлене значення;  $K$  - число нейронів у вихідному шарі;  $P$  - кількість навчаючих образів.

У процесі навчання були використані біполярні сигмоїдальні функції активації (ФА). Ця ФА є нелінійною і дуже підходить для довготривалих алгоритмів навчання. Вона визначається як:

$$O_j = g(Net_j) = \frac{1}{1 + \exp(-\lambda Net_j)}, \quad (7)$$

де  $\lambda$  - коефіцієнт який визначає крутизну характеристики.

Структура РНМУ подібна структурі РНМІ. Мета, при використанні РНМУ полягає в застосуванні алгоритму зворотного поширення похибки при навчанні, і налаштуванні вагових коефіцієнтів, щоб вихідний сигнал  $\omega_r(k)$  процесу відслідковував сигнал завдання  $\omega(k)$ .

Якщо використовується пропорційно-інтегральний (ПІ) контролер, адаптований в контур управління швидкістю електроприводу, то для розрахунку наступного значення управління  $u$  використовується поточне ітераційного значення  $u$ , а також поточне та попереднє ітеративне значення помилки  $e(k+1)$ . При використанні ПІ-управління ітеративне обчислення сигналу управління визначається за формулою:

$$u(k, t_k) = u(k, t_k) + k_p e(k, t_k) + k_I \sum_{k=0}^t e(k, t_k) , \quad (8)$$

значення помилки:

$$e(k, t_k) = \omega_r(k) - \omega_{Net}(k, t_k) , \quad (9)$$

де,  $k_P$  і  $k_I$  - параметри пропорційного-інтегрального алгоритму управління.

Для ідентифікації динамічного процесу в об'єкті управління потрібно тренувати РНМІ і ітеративно обчислити контрольне значення, щоб отримати невелику помилку  $e$ , на протязі кожного періоду дискретизації  $t_k$ . Таким чином, проблема відслідковування сигналу завдання, вирішується налаштуванням вагових коефіцієнтів РНМУ, таким чином щоб мінімізувати похибку:

$$E_c(k) = \frac{1}{2} (\omega_r(k) - \omega_{Net}(k))^2 , \quad (10)$$

Відповідні ваги для РНМУ розраховуються за допомогою градієнтного методу.

Правило поновлення ваг визначається:

$$w_{ij}(k+1) = w_{ij}(k) + \eta_c \frac{\partial E_c}{\partial w_{ij}(k)} , \quad (11)$$

де  $\eta_c$  - параметр швидкості навчання РНМУ.

Основна перевага нечіткої логіки, яку легко реалізувати полягає у можливості узагальнення. Базова конфігурація нечіткої логіки системи показана на рисунку 3.



Рисунок 3. Базова структура НЛК.

Алгоритм роботи НЛК будується на основі чотирьох добре відомих етапів: фазифікації, створення бази правил, обчислення алгоритму реалізації нечіткої логіки та дефазифікації. У даній системі вихід НЛК  $u_f(k)$  обчислюється за виразом:

$$u_f(k) = F_f(e(k) - ce(k)) , \quad (12)$$

де  $F_f$ - нелінійна функція яка визначається нечіткими параметрами:  $e(k)$ ,  $ce(k)$  -



похибкою та величиною зміни похибки відповідно.

В даному випадку НЛК реалізую функцію нечіткого контролера у якого вхід є похибкою  $e(k)$ :

$$e(k) = \omega_r(k) - \omega(k) \tag{13}$$

Задаюча модель, яка визначає динаміку входу-виходу управляемого процесу може бути представлена моделлю другого порядку:

$$\omega_r(k + 1) = a_1\omega_r(k) + a_2\omega_r(k - 1) + r(k) , \tag{14}$$

Сталі коефіцієнти рівняння (14) обираються для забезпечення сталості відслідковування сигналу завдання на вході  $r(k)$  задаючої моделі.

Для переводу фізичних величин у логічні в НЛК було обрано 5 лінгвістичних змінних: НВ - негативна велика; НМ - негативна мала; Н - нульова; ПВ - позитивна велика; ПМ - позитивна мала. Кожній лінгвістичній величині входів відповідає трикутна функція належності як показано на рисунках 4 та 5. У якості функцій належності виходу використовувались імпульсні функції які відповідали лінгвістичним змінним як показано на рисунку 6.

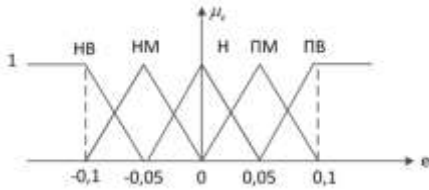


Рисунок 4.

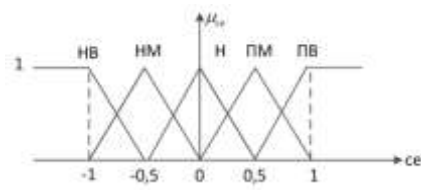


Рисунок 5.

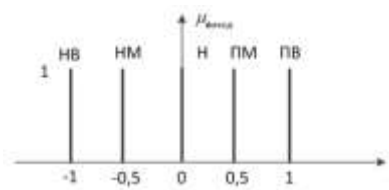


Рисунок 6.

Лінгвістичні змінні, в свою чергу були об'єднанні в базу правил яка наведена у таблиці 1.

Таблиця 1. База правил НЛК.

$e \setminus ce$	НВ	НМ	Н	ПМ	ПВ
НВ	НВ	НВ	НМ	ПВ	ПМ
НМ	Н	НМ	Н	ПМ	Н
Н	ПВ	ПВ	Н	ПМ	НВ
ПМ	Н	ПМ	ПВ	НМ	НВ
ПВ	ПВ	ПМ	НМ	НМ	НВ

## РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

При моделюванні інтелектуальної комбінованої системи було використане програмне забезпечення Matlab з пакетом Simulink. Задаюча модель, яка відповідає вимогам для управління швидкістю електроприводом змінного струму була обрана відповідно:

$$\omega_r(k + 1) = 0.48\omega_r(k) + 0.25\omega_r(k - 1) + r(k) , \tag{15}$$

Для всіх розрахунків, виконаних в даному дослідженні, початкові значення для регульованих параметрів (ваги і зміщення) обох мереж РНМУ та РНМІ були рандомізовані з використанням алгоритму Нгуен-Відроу [10]. Параметри пропорційної і диференціальної частин системи управління  $k_p = 0,52$  і  $k_d = 0,01$ . При моделюванні, коефіцієнт швидкості навчання РНМУ та РНМІ був емпірично обраний  $\eta = 0,2$ , щоб отримати хорошу швидкість реакції. Кількість нейронів у шарах обох мереж дорівнює 2,8,1 відповідно у вхідному, прихованому та вихідному шарах.

Результати моделювання без навантаження представлені на рисунку 7, а,б,в. при подвійном навантаженні представлена на рисунку 8, а,б,в

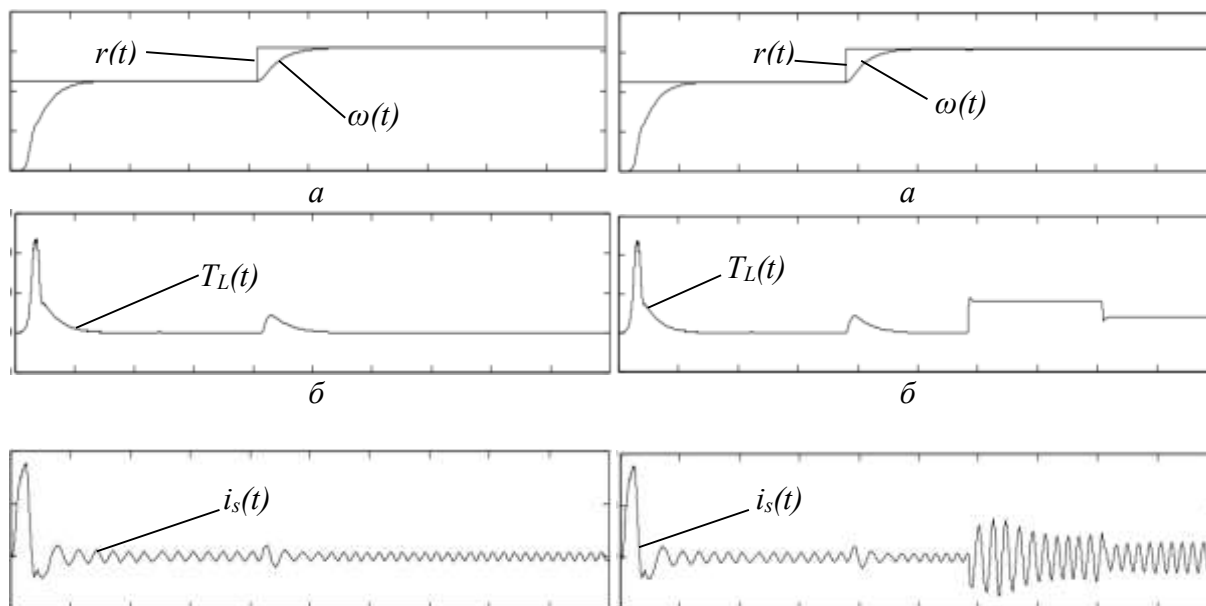


Рисунок 7, в

Рисунок 8, в

## ВИСНОВКИ

У даній статті була розглянута інтелектуальна система управління для регулювання швидкості асинхронних двигунів. Для перевірки теоретичних концепцій та особливостей реалізації було проведено імітаційне моделювання. Динамічні нейронні мережі використовуються для ідентифікації процесу в робочому режимі і потім обчислюється сигнал управління ітеративно за сигналом задаючої моделі. Теоретичний аналіз і результати моделювання показали, що запропонована схема управління може швидко і точно передбачити динаміку будь-якого двигуна змінного струму. Запропонована схема управління має хорошу швидкість реакції, незалежно від варіацій параметрів або зовнішніх впливів. Отримані результати є перспективними, тому надалі можна здійснювати подальші дослідження за аналогічними схемами.

## Література

1. C.M. Liaw, Y.S. Kung and C.M. Wu Design and implementation of a high-performance field-oriented induction motor drive. IEEE Trans. Ind. Electron., vol.38,4,pp.275-282,1991.
2. M.A. Wishart and R.G. Harley. Identification and control of induction machines using artificial neural networks. IEEE Trans. Ind. Applicat., vol.31,pp.612-619, 1995.
3. Y.S. Kung, C.M. Liaw and M.S. Ouyang. Adaptive speed control for induction motor drives using neural networks. IEEE Trans. Ind. Electron. Vol.42,1,pp.25-32, 1995.
4. T.C. Chen and T.T. Sheu. Robust speed-controlled induction motor drive based on model reference with neural networks. Inter. Journ. Of Knowledge Based Intelligent Engineering System. Vol.3,3,pp.162-171, 1992.
5. Levin and K.S. Narendra. Control dynamics systems using neural networks: Controllability and Stabilization . IEEE Trans. on Neural Networks, Vol.4,No.2, March 1993.
6. K.S. Narendra and K. Parthasarathy. Identification and control for dynamical systems using neural networks . IEEE Trans. Neural Networks, NN-1,1,4-27, 1990.
7. Y. Edward, Y. Ho and C. Paresh .Control dynamics of speed drive systems using

sliding mode controllers with integral compensation. IEEE Trans. On Industry Applications, Vol.,27, No.5, Sept-Oct. 1991.

8. Jie Zhang and T.H. Burton. New approach to field orientation control of CSI induction motor drive. IEE Proceedings, Vol.135,Pt. B. No.1; January 1988.

9. B. Burton and F. Kamran. Identification and control of induction motor stator currents using fast on-line random training of neural networks. IEEE Trans. on Industry Applications, Vol.33,No.3,May-June,1997.

10. D. Nguyen and B. Widrow. Improving the learning speed of two layer neural networks by choosing initial values of adaptive weights. Proc. Int. Joint Conf. Neural Networks, San Diego, CA, pp.21-26, july, 1990.

**Торопов А.В., Зубчевский Т.Ю., Добровольский А.В.**  
**ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ КОНТУРА СТАБИЛИЗАЦИИ МОЩНОСТИ  
РЕЗАНИЯ РОТОРНОГО ЭКСКАВАТОРА С ВЕНТИЛЬНЫМ РЕАКТИВНЫМ  
ДВИГАТЕЛЕМ**

*Рассмотрена схема стабилизации мощности резания роторного колеса с применением вентильного реактивного двигателя. Приведена схема и результаты моделирования системы. Произведена настройка параметров регулятора с помощью пакета MatlabSimulink.*

*Ключевые слова: роторный экскаватор, векторный реактивный двигатель, стабилизация, мощность резания, моделирование.*

**Торопов А.В., Зубчевський Т.Ю., Добровольський А.В.**  
**ПАРАМЕТРИЧНА ОПТИМІЗАЦІЯ КОНТУРА СТАБІЛІЗАЦІЇ ПОТУЖНОСТІ РІЗАННЯ  
РОТОРНОГО ЕКСКАВАТОРА З ВЕНТИЛЬНИМ РЕАКТИВНИМ ДВИГУНОМ**

*Розглянуто схему стабілізації потужності різання роторного колеса з застосуванням вентильного реактивного двигуна. Наведено схему і результати моделювання системи. Проведено налаштування параметрів регулятора за допомогою пакету Matlab Simulink.*

*Ключові слова: роторний экскаватор, векторний реактивний двигун, стабілізація, потужність різання, моделювання.*

**Toropov A., Zubchevskiy T., Dobrovolskiy A.**  
**PARAMETRIC OPTIMIZATION OF THE CIRCUITS STABILIZING CUTTING POWER  
BUCKET WHEEL EXCAVATOR WITH SWITCHED RELUCTANCE MOTOR**

*The stabilization scheme of cutting power of bucket wheel using a switched reluctance motor is examined. A scheme of the system and the simulation results is shown. Controller setting is made using Matlab Simulink package.*

*Key words: bucket wheel excavator, switched reluctance motor, stabilization, cutting power, modeling.*

**Введение.** Процесс добытия породы карьерных экскаваторов непрерывного типа характеризуется частыми перегрузками из-за изменения плотности и толщины среза породы. Используя скорость роторного колеса и поворота стрелы как регулируемую величину можно управлять силой мощности резания, что в свою очередь облегчит ремонтную эксплуатацию и работу экскаватора с максимальной производительностью.

**Цель исследования.** На примере показать практическое использование пакета Simulink Design Optimization для определения параметров регулятора для управления колесом роторного экскаватора при помощи контура мощности.

**Материалы исследований.** В качестве примера возьмем модель векторного реактивного двигателя и подберем для него параметры регулятора, которые обеспечат заданный переходной процесс в зависимости от мощности резания.

Электроприводы механизмов экскаваторов отличаются большим разнообразием от простейших с асинхронными короткозамкнутыми двигателями до приводов постоянного и переменного тока с широким диапазоном регулирования. В качестве примера взят вентильный реактивный двигатель - он устроен проще, чем традиционные машины переменного тока - синхронная и асинхронная, он более технологичнее и менее материалоемкий, что создает предпосылки для достижения высоких показателей надежности, экономичности, низкой

стоимости и стойкости ее к воздействиям окружающей среды. Впервые в системе управляемого электропривода удается сбалансировать показатели эффективности электронной управляющей части и электромеханического преобразователя машины.

Производственные процессы разработки сравнительно мягких и однородных грунтов многочерпаковыми экскаваторами достаточно просто могут быть автоматизированы. Но случайное воздействие плотности породы очень сильно влияет на усилие резания, что как вследствие и на производительность экскаваторов.

Удельное усилие резанию не является чистой характеристикой породы, а продуктом взаимодействия конструктивных и технологических параметров экскаватора и процесса копания с физическими свойствами породы и является нелинейной функцией вида:

$$P_z = f(\omega, \rho, t_{zp}, 1/V), \quad (1)$$

где  $P_z$  - тангенциальная составляющая мощности срезания, обуславливающая основную нагрузку на механизмы экскаватора;  $\rho, t_{zp}$  - плотность и толщина среза породы, соответственно;  $V$  - линейная скорость вращения роторного колеса. Отметим, что настройка контура регулирования скорости осуществляется таким образом, чтобы обеспечить максимальную жесткость характеристики электропривода роторного колеса. При этом колебания линейной скорости  $V$  при изменении нагрузки в широких пределах являются минимальными. Нелинейность изменения толщины срезаемой породы при снятии слоя грунта компенсируется косинусоидальной зависимостью снижения скорости вращения двигателя стрелы, в зависимости от угла поворота. В свою очередь изменение плотности грунта является величиной случайной, неизмеряемой, изменяющейся в широких пределах, что приводит к отсутствию возможности создания системы регулирования мощности резания по возмущению. Это, в свою очередь, приводит к необходимости создания замкнутой системы с обратной связью, обеспечивающей прямое или косвенное измерение мощности резания, без внесения значительных изменений в конструкцию роторного экскаватора.

Одним из возможных подходов к реализации замкнутой системы регулирования мощности резания является измерение тока двигателя роторного колеса, при постоянной линейной скорости резания и скорости поворота стрелы экскаватора. При этом обеспечивается косвенное определение тангенциальной составляющей мощности резания, составляющей порядка 70% от общей мощности. К тому же такой подход не приводит к необходимости внесения значительных изменений в конструкцию станка и применения дорогостоящих датчиков мощности.

Поскольку мощность резания при формировании косинусоидальной зависимости изменения скорости поворота является функцией плотности породы и максимальной скорости поворота стрелы, то формула (1) преобразуется к виду:

$$P_z = f(\omega_{\max}, \rho), \quad (2)$$

Поскольку изменения плотности во время одного прохода стрелы роторного колеса являются незначительными, то можно осуществить линеаризацию выражения (2) в рабочей точке:

$$P_z = K_{рез} \omega + K_{zp} \rho, \quad (3)$$

где  $K_{рез} = \frac{\partial P_z}{\partial \omega}$   $K_{zp} = \frac{\partial P_z}{\partial \rho}$  - частные производные по аргументам функции мощности резания.

С учетом инерционности процесса резания и датчика тока двигателя роторного экскаватора

контур стабилизации мощности резания примет вид, изображенный на рис.1. При этом контур регулирования скорости поворота стрелы представлен колебательным звеном.

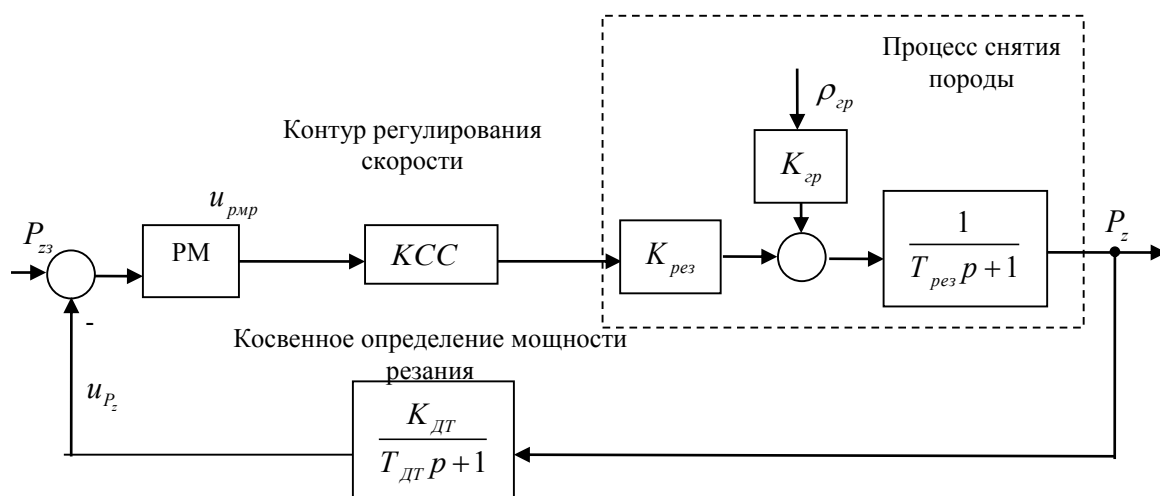


Рис.1. Структурная схема контура регулирования мощности резания породы роторного экскаватора.

На рис.1 введены следующие обозначения:  $K_c$  - коэффициент обратной связи по скорости;  $K_{срез}$  - коэффициент усиления по скорости вращения двигателя;  $K_{зр}$  - коэффициент усиления по глубине резания;  $T_{рез}$  - постоянная времени резания, обусловленная временем набегания породы на ковш;  $P_{з3}$ ,  $P_z$  - заданное и текущее значение составляющей мощности резания, обусловленной нагрузкой на роторное колесо;  $T_v$  - постоянная времени контура скорости;  $\xi$  - показатель колебательности контура скорости; РМ – регулятор мощности резания;  $u_{рмп}$  - закон управления регулятора мощности резания;  $K_{дт}$ ,  $T_{дт}$  - коэффициент усиления и постоянная времени датчика технологического параметра;  $u_{P_z}$  - сигнал обратной связи по мощности резания.

При этом управляющим сигналом является задание по скорости поворота стрелы, а возмущающим воздействием – изменение плотности породы.

Осуществим процедуру синтеза регулятора мощности резания методом последовательной коррекции с учетом требований к переходному процессу. Для приближенной «грубой» настройки регулятора мощности на удовлетворительное качество переходных процессов используем настройку на модульный оптимум. Для этого осуществим приведение системы к единичной обратной связи. Тогда передаточная функция контура регулирования мощности, приведенного к единичной обратной связи, принимает вид:

$$W_{P_z}(p) = \frac{1/K_c}{T_v^2 p^2 + 2\xi T_v p + 1} \cdot \frac{K_{дт}}{T_{дт} p + 1} \cdot \frac{K_{рез}}{T_{рез} p + 1} \quad (4)$$

Поскольку  $T_{дт} < T_v < T_{рез}$  передаточная функция (4) может быть приближенно описана выражением:

$$W_{P_z}(p) \approx \frac{1/K_c}{2\xi T_v p + 1} \cdot \frac{K_{рез} \cdot K_{дт}}{T_{рез} p + 1} \quad (5)$$

При этом желаемая передаточная функция разомкнутой системы при настройке на модульный оптимум запишется:

$$W_{жел}(p) = \frac{1}{2T_F p(T_F p + 1)}, \quad (6)$$

где  $T_F = 2\xi T_v$  - некомпенсируемая постоянная времени, обусловленная инерционностью контура скорости.

В случае использования метода последовательной коррекции получаем передаточную функцию регулятора мощности, представляющую собой ПИ – регулятор:

$$W_{жел}(p) = \frac{K_c(T_{рез} p + 1)}{2T_F \cdot K_{рез} \cdot K_{дт} p} = K_p + \frac{K_I}{p}, \quad (7)$$

где  $K_p = \frac{K_c \cdot T_{рез}}{2T_F \cdot K_{рез} \cdot K_{дт}}$ ,  $K_I = \frac{K_c}{2T_F \cdot K_{рез} \cdot K_{дт}}$  - коэффициенты ПИ - регулятора.

При получении значений коэффициентов, обеспечивающих удовлетворительное качество регулирования, осуществим уточненную настройку контура с использованием средств систем автоматизированного проектирования (САПР). Для этого используем математическое программное обеспечение Matlab, а также его приложение Simulink. Уточненную настройку регулятора произведем с помощью блока SignalConstraint, позволяющего методом последовательных приближений получить необходимое качество переходных процессов.

Математическая модель векторного реактивного двигателя с контуром стабилизации мощности резания в Simulink имеет вид, изображенный на рис.2.

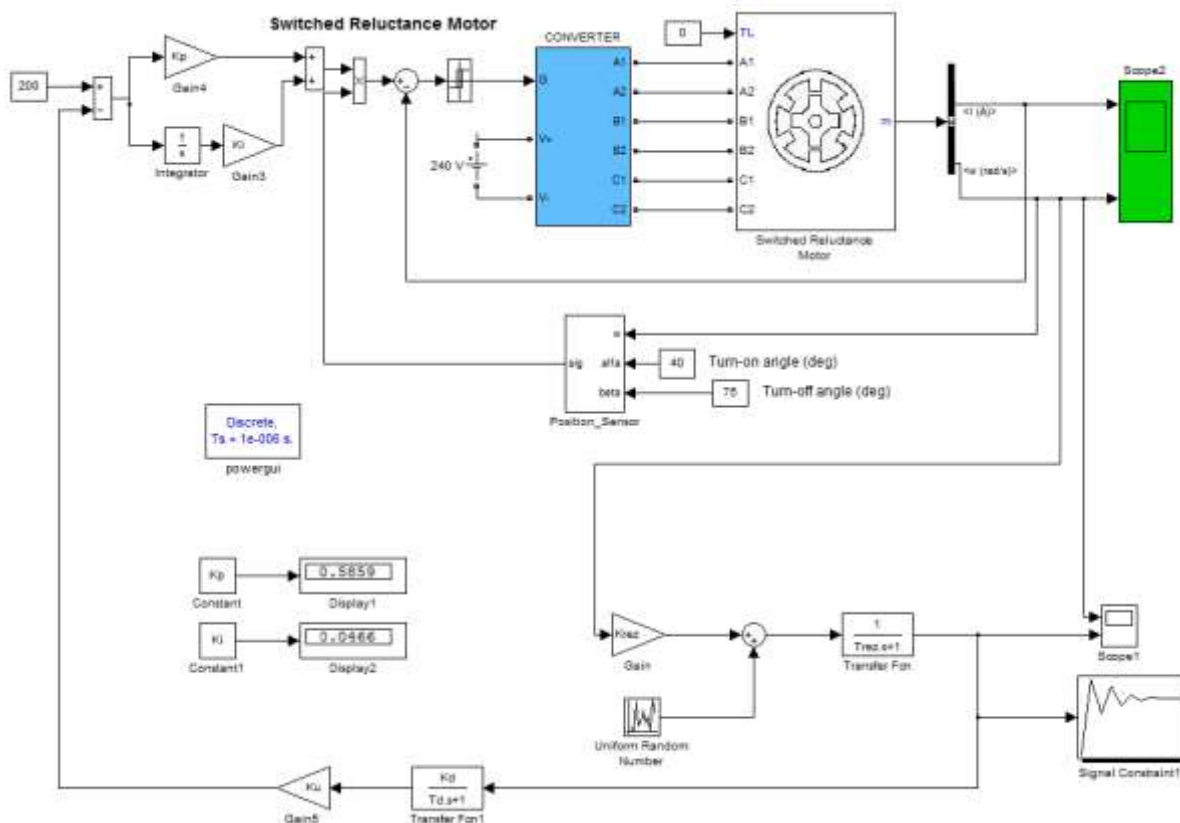


Рис.2. Математическая модель вентильного реактивного двигателя с контуром стабилизации мощности резания.

В нашем случае коэффициентом усиления по глубине резания выступает блок UniformRandomNumber, который обеспечивает необходимое случайное возмущение на протяжении всего процесса резания.

После запуска процедуры оптимизации методом последовательных приближений в САПР реализуется процедура поиска оптимального решения, удовлетворяющего требованиям к переходному процессу. При этом количество итераций в нашем конкретном случае равно шести. В конце шестого пересчета коэффициентов ПИ – регулятора достигается необходимое качество переходных процессов. При этом параметры итераций последовательного поиска представлены на рис.3.



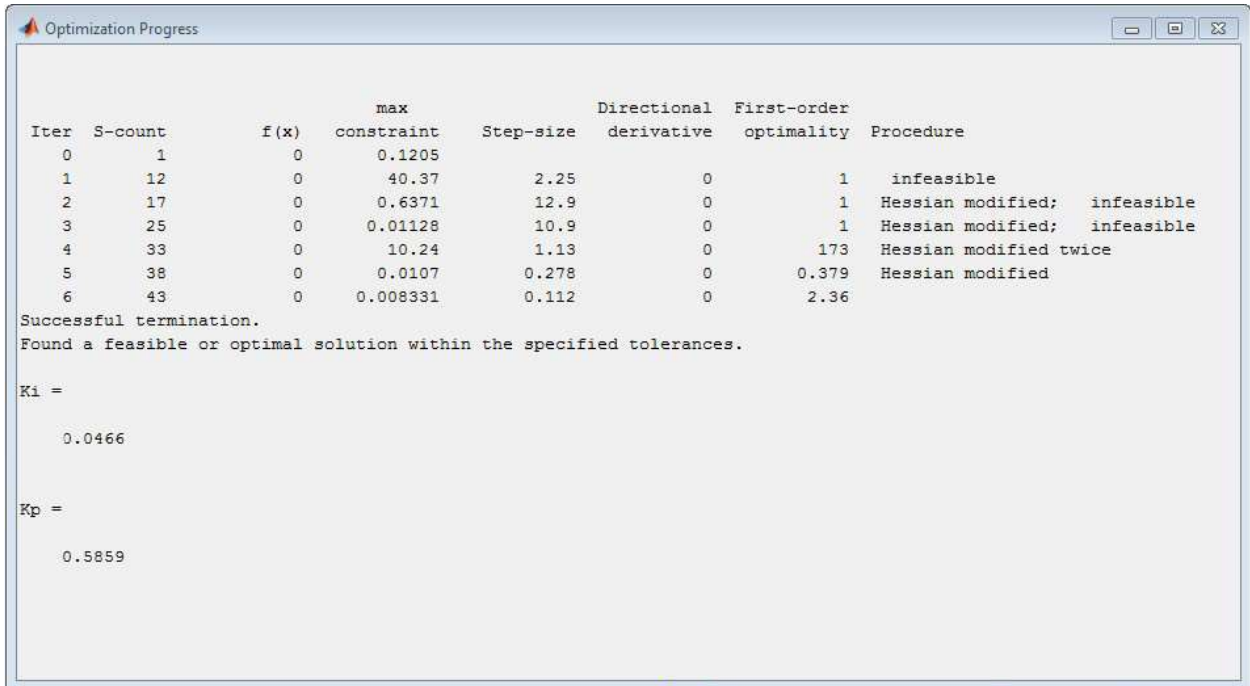


Рис.3. Окно параметров итераций последовательного поиска параметров ПИ – регулятора.

Графики переходных процессов, а также пределы зоны ограничений, при использовании метода последовательного поиска параметров ПИ-регулятора имеют вид, изображенный на рис.4.

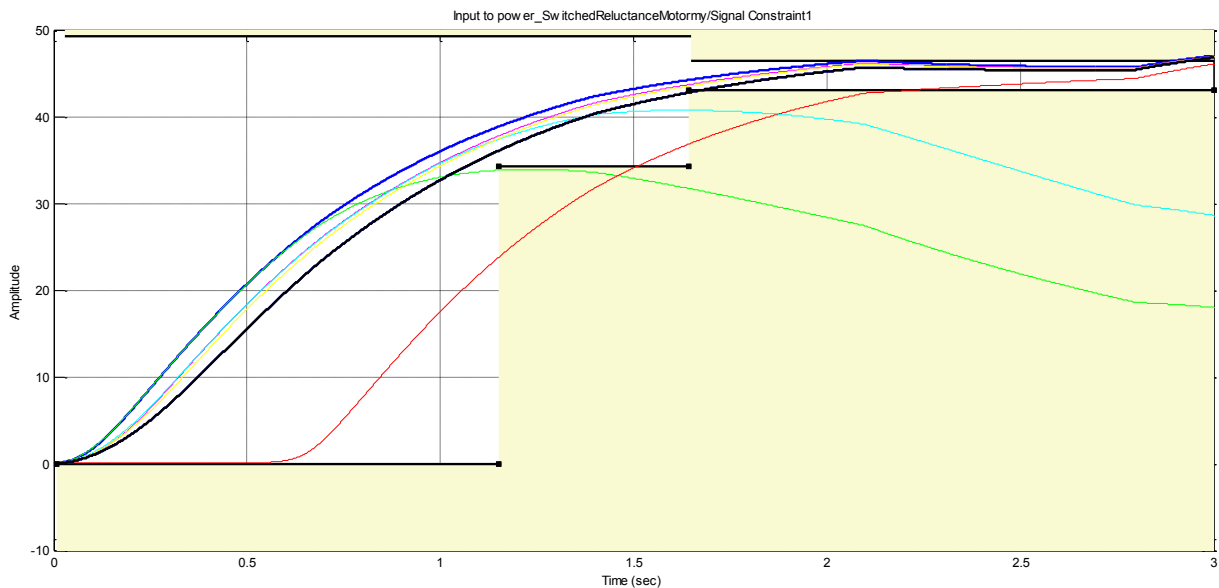


Рис.4. Графики переходных процессов при различных итерациях поиска параметров ПИ – регулятора.

Графики тока и скорости вращения вентильного реактивного двигателя имеют вид, изображенный на рис.5

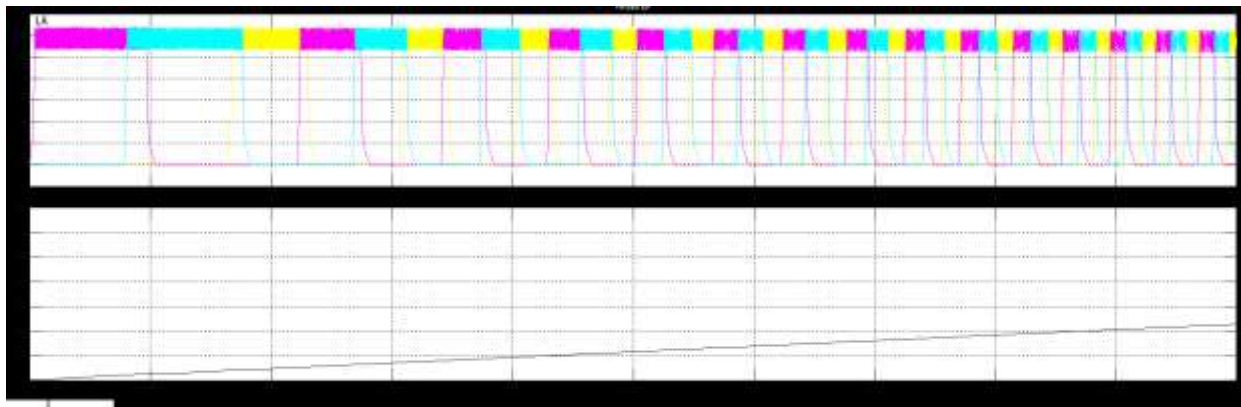


Рис.5 Графики тока и скорости вращения вентильного реактивного двигателя

После нахождения параметров корректирующего устройства методом цифрового моделирования исследована не только реакция системы на случайное воздействие по мощности резания, а также влияние изменения плотности на мощность резания. График переходного процесса по мощности резания и скорость двигателя в скорректированной системе регулирования имеет вид, изображенный на рис.6. При этом осуществлялась подача случайного сигнала каждые 0,7с с целью исследования реакции системы на возмущающее воздействие.

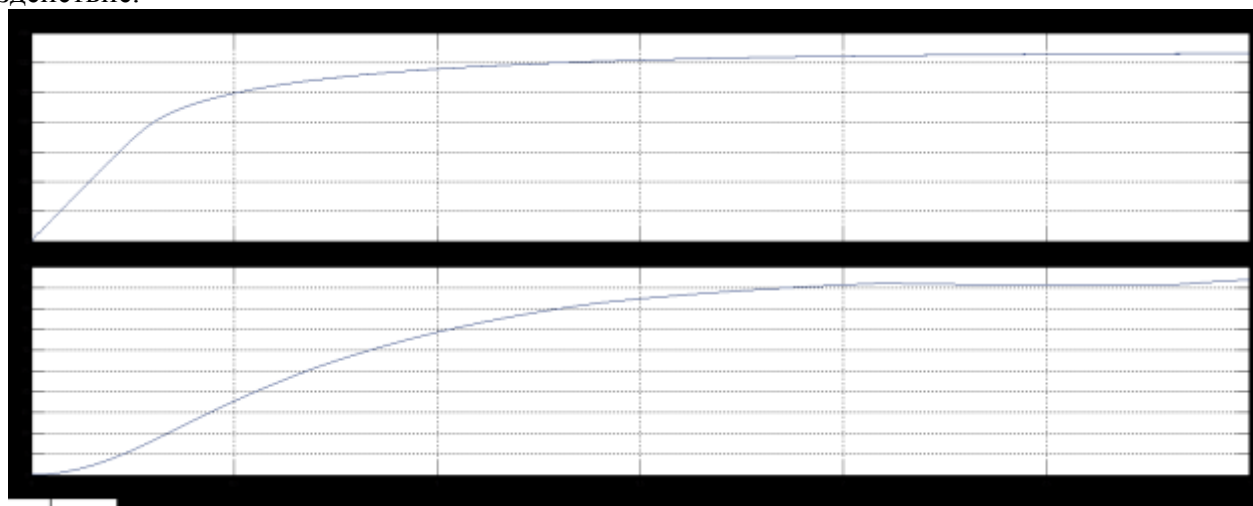


Рис.6. График переходного процесса по мощности резания при использовании регулятора, синтезированного с использованием САПР.

**Выводы.** Как видно из графиков, выход функции мощности резания в конце процесса обусловлен сильными возмущениями, имитированными как плотность породы. Но в результате все же мы получаем скорректированную характеристику, удовлетворяющую нашу систему управления.

Использование САПР улучшает корректировку параметров регулятора для обеспечения стабилизации мощности резания роторного колеса экскаватора даже при случайных изменениях плотности породы и уменьшения времени переходных процессов.

**Список литературы**

1. Старков В.К. Обработка резанием. Управление стабильностью и качеством в автоматизированном производстве. – М.: Маш-ние, 1989. – 296 с.
2. Островерхов М. Я., Пыжов В. М. «Моделирование электромеханических систем в SIMULINK» Киев - 2008г.
3. Бесекерский В.А., Попов Е. П. «Теория систем автоматического управления» Издательство «Наука», главная редакция физико-математической литературы. Москва - 1972г.
4. Системы электропривода и электрооборудование роторных экскаваторов/ Ю. Т. Калашников, А. О. Горнов, В.Н. Остриров и др. —М.: Энерго-атомиздат, 1988. — 312 с

УДК 620

к.т.н. доц.Пермяков В.Н., Гавалешко С.С.

**ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ СОНЯЧНОЇ ТРЕКЕРНОЇ УСТАНОВКИ**

*В даній роботі розглянуто ефективність використання сонячних трекерних установок. Запропонована методика дослідження системи.*

*Ключові слова: трекер, сонячна батарея, орієнтація, сонячна радіація, фотомодулі.*

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОЛНЕЧНОЙ ТРЕКЕРНОЙ УСТАНОВКИ**

*В данной работе рассматривается эффективность использования солнечных трекеров. Предложена методика исследования системы.*

*Ключевые слова: трекер, солнечная батарея, ориентация, солнечная радиация, фотомодули.*

**RESEARCH EFFICIENCY OF SOLAR TRACKER USING**

*In this work review the effectiveness the use of solar trackers. And the methods of research of the system.*

*Key words: solar tracker, solar cell, orientation, sun radiation, photovoltaic.*

**Вступ.** Сонячна батарея, фотоелектричний модуль (ФЕМ) - це поновлюване джерело електроенергії, яке перетворює світлову енергію сонця в електроенергію. Фотоелектричні модулі знаходять саме широке застосування, як ефективні, екологічно чисті джерела енергії для різноманітного використання. Це в першу чергу, системи для передачі енергії від ФЕМ в загальну мережу регіону через мережевий інвертор. Так само фотомодулі використовуються, як поновлювані джерела енергії в системах резервного та автономного живлення. Крім стаціонарних конструкцій для установки фотоелектричних модулів на землі, існують також поворотні в одній, або двох площинах конструкції (рис 1), системи стеження за сонцем - трекерна системи орієнтації. Використання трекерів дозволяє максимально ефективно зорієнтувати активну поверхню фотомодулів і значно збільшити продуктивність енергії в порівнянні з фіксованим розміщенням на нерухомих металоконструкціях - до 30 - 40%. Трекери виготовляють із сталевих нержавіючих і алюмінієвих профілів. Співвідношення вартості та ефективності трекерів визначає оптимальну потужність розміщуваних на них фотомодулів, яка може становити від одиниць до десятка кіловат.

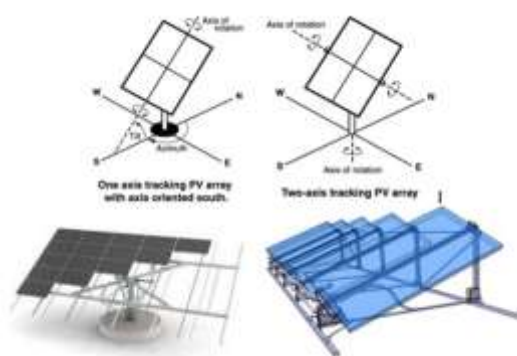


Рис.1 Двовісний і одновісний трекер.

**Мета роботи** - підвищення техніко-економічних показників фотоелектричних модулів

**Тези:** Енергетичні розрахунки і оптимальна орієнтація

Сонячна радіація, падаюча на довільно орієнтовану поверхню, складається з прямої

радіації від Сонця, дифузійної від неба і відбитої від поверхні землі. У свою чергу дифузна радіація від неба складається з ореольної дифузійної радіації, тобто радіації із зони неба, що знаходиться безпосередньо навколо диска сонця, і фонової дифузійної радіації, яку вважають рівномірно розподіленою по всьому напівсферичному небосхилу. Для сонячних електричних панелей або колекторів важливо знати оптимальний кут нахилу до площини горизонту для отримання максимальної кількості енергії. Для цього треба підрахувати місячні суми сонячної радіації, падаючої на площину з кутом нахилу до горизонту від  $10^\circ$  до  $90^\circ$  з кроком в  $10^\circ$ . Пряма радіація  $R_{dir}$  обчислювалася за формулою:

$$R_{dir} = R_{CH} \cdot \cos i, \quad (1)$$

де  $i$  - кут між нормаллю до поверхні сонячної панелі і напрямом на Сонце,  $R_{CH}$  - виміряна пряма сонячна радіація на перпендикулярну площину.

$$\cos i = \cos \alpha \cdot \sin h + \sin \alpha \cdot \cos h \cdot \cos A, \quad (2)$$

де  $\alpha$  - кут нахилу поверхні до горизонту,  $h$  - висота Сонця,  $A$  - різниця азимутів Сонця і проєкції нормалі до поверхні на горизонтальну площину. Експериментально встановлено, що ореольна радіація на поверхні приблизно складає 7% прямої сонячної радіації на цій поверхні. Фонова радіація прямо пропорційна тій частині небесного склепіння, до якої звернена поверхня. Наприклад, вертикальна поверхня звернена тільки до половини небесної півсфери. Тому фонова радіація на вертикальній поверхні становить половину радіації на горизонтальній поверхні. Поверхня, нахилена до горизонталі під кутом  $\alpha$ , буде звернена до  $0.5(1 + \cos \alpha)$  частини півсферичного зводу. Тому фонова радіація на похилій поверхні дорівнює:

$$R_F = 0.5 \cdot (1 + \cos \alpha) \cdot (R_{dif} - 0.07 \cdot R_{dir}) \quad (3)$$

де  $R_{dif}$  - виміряна дифузна радіація на горизонтальну площину. Похила площина отримує радіацію також і від навколишньої земної поверхні. Вона пропорційна  $0.5(1 - \cos \alpha)$  частини земної поверхні, до якої звернена площина. Відображена радіація від землі виражається наступним рівнянням:

$$R_{ref} = 0.5 \cdot A_l \cdot R_{gl} \cdot (1 - \cos \alpha), \quad (4)$$

де  $R_{gl}$  - виміряна глобальна радіація на горизонтальну площину,  $A_l$  - коефіцієнт відбиття поверхні землі, званий альбедо. Таким чином, повна радіація на похилу площину складе:

$$R_{sum} = R_{dir} + R_{cor} + R_F + R_{ref}. \quad (5)$$

Для кожного виміряного хвилинного значення прямої, дифузійної та глобальної радіації обчислені висота і азимут Сонця і за формулами (1) - (5) обчислені сумарні значення радіації для кутів нахилу від  $10^\circ$  до  $90^\circ$ . Далі для кожного з кутів пораховані місячні суми. Крім того, для площини, весь час орієнтованої перпендикулярно сонячним променям, тобто забезпечену трекером, аналогічні обчислення проводилися за формулою:

$$R_{norm} = 1.07 \cdot R_{CH} + R_F + R_{ref}. \quad (6)$$

Далі обчислювалися середньомісячні суми радіації за 3 роки. Вони представлені в таблиці 1. Усі суми падаючої сонячної радіації виражені в кіловат-годинах на квадратний метр ( $\text{кВт} \cdot \text{ч}/\text{м}^2$ ).

Таблиця 1. Середньомісячні суми сонячної радіації ( $\text{кВт} \cdot \text{ч}/\text{м}^2$ ), що падає на похилі площини сонячних панелей.

Наклон Месяц	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	геліостат
1	34.73	41.56	47.68	52.91	57.12	60.17	61.96	62.43	61.53	59.27	68.26
2	48.64	54.49	59.43	63.30	65.99	67.43	67.55	66.34	63.82	60.03	74.08
3	102.37	112.05	119.48	124.45	126.81	126.48	123.43	117.72	109.47	98.89	151.49
4	133.16	139.84	143.63	144.43	142.20	137.00	128.94	118.24	105.17	90.14	175.03
5	182.58	187.36	188.22	185.19	178.34	167.84	153.95	137.11	117.84	96.84	241.14
6	194.00	196.21	194.47	188.89	179.62	166.91	151.10	132.70	112.35	90.97	254.19
7	201.44	205.32	204.94	200.35	191.67	179.11	163.03	143.91	122.41	99.39	270.93
8	156.85	163.78	167.22	167.09	163.38	156.18	145.67	132.13	115.95	97.64	215.04
9	119.53	130.17	137.98	142.74	144.29	142.57	137.59	129.46	118.35	104.57	179.94
10	76.00	86.82	95.79	102.63	107.16	109.22	108.72	105.66	100.07	92.08	128.71
11	36.32	42.88	48.60	53.31	56.87	59.19	60.17	59.78	58.00	54.87	66.54
12	21.88	25.35	28.43	31.01	33.04	34.45	35.19	35.24	34.58	33.21	37.35
1-12	1307.5	1385.8	1435.9	1456.3	1446.5	1406.6	1337.3	1240.7	1119.5	977.9	1862.7
4-9	987.6	1022.7	1036.5	1028.7	999.5	949.6	880.3	793.6	692.1	579.6	1336.3
10-3	319.9	363.2	399.4	427.6	447.0	456.9	457.0	447.2	427.5	398.4	526.4

На рис. 2 представлені середньомісячні суми сонячної радіації для різних кутів нахилу площини сонячної панелі до горизонту. Верхня крива відповідає площині, завжди перпендикулярної до променів Сонця, на яку падає найбільша кількість сонячної енергії. Як видно з малюнка, найбільше радіації, крім перпендикулярної площини, надходить на поверхні, нахилені під кутами від 0° до 30°.

Проведені розрахунки дозволяють визначити оптимальний кут нахилу сонячної панелі в різний час року. На рис. 3 представлені залежності місячних сум сонячної радіації від кута нахилу поверхні до горизонту для кожного місяця року. Оптимальний кут нахилу варіюється від 10° в червні до 70° у грудні-січні, що наочно демонструє рис. 4.

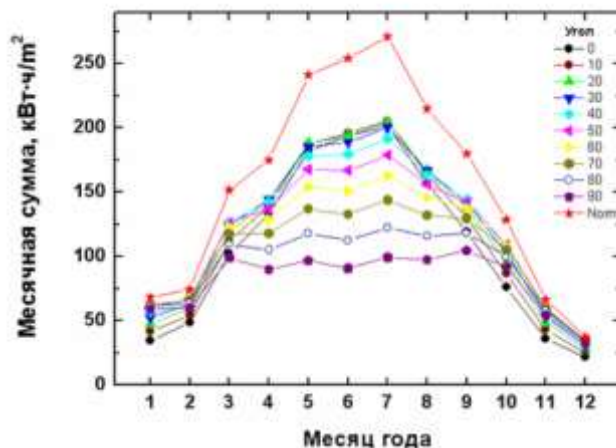


Рис. 2. Приплив сонячної радіації для різних кутів нахилу площини сонячних панелей відносно горизонту

На практиці постійно змінювати кут нахилу сонячної панелі незручно і трудомістко, особливо якщо панелі великі чи їх багато. Тому доцільно розглянути застосування одного з трьох варіантів:

- а) трекер, коли спеціальний пристрій стежить за Сонцем і орієнтує панель завжди

перпендикулярно сонячним променям;

- б) двічі на рік змінюється нахил панелі - з літнього на зимовий і назад;
- в) кут нахилу панелі протягом року не змінюється.

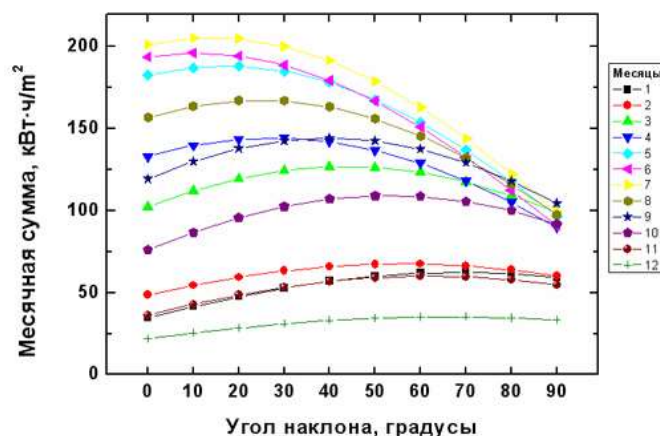


Рис. 3. Залежності місячних сум сонячної радіації від кутанахилу поверхні сонячної панелі

При першому варіанті можна отримати максимальну кількість енергії, але частина її споживається трекером і підвищується вартість. Другий варіант дешевше і простіше, особливо для невеликих панелей. Третій варіант взагалі не вимагає обслуговування і тому найнадійніший і економічний.

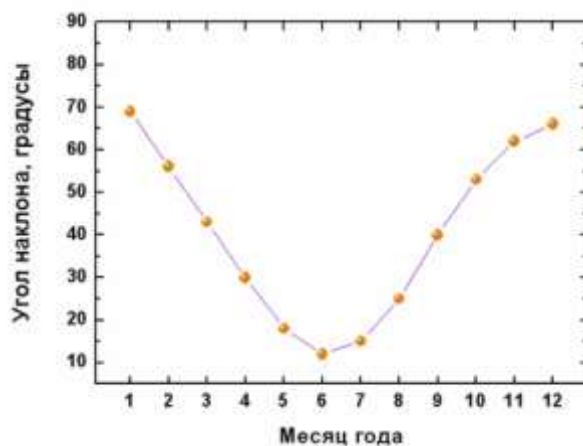


Рис. 4. Оптимальний кут нахилу сонячної панелі протягом року

Кількість сонячної енергії, одержуваної за рік одним квадратним метром, 1.863 МВт • год для першого варіанту, 1.493 МВт • год для другого і 1.456 МВт • год для третього. Як бачимо другий і третій варіанти мало відрізняються, тому економічно більш доцільно використовувати стаціонарні сонячні панелі, орієнтовані на південь під кутом близько 32° до горизонту цілий рік. Що стосується варіанту з трекером, то тут необхідно знати кількість енергії, споживаної самим трекером. Якщо споживання менше 400 кВт • г на рік з 1 м<sup>2</sup> площі сонячних панелей, то цілком виправдано використовувати трекер. Приймаючи ККД сонячних панелей в середньому за 15% можна протягом року з одного квадратного метра отримати від 218 кВт • год при постійному положенні панелі до 280 кВт • год з використанням трекера. Слід також врахувати, що прихід сонячної енергії на поверхню землі нерівномірно розподілений протягом року. За 2/3 року з березня по жовтень приходить 86% всієї кількості і всього 14% за 4 місяці з листопада по лютий.

**Висновки:**

- Оптимальний кут нахилу сонячних панелей до горизонту для літнього періоду близько  $20^\circ$ , для зимового періоду -  $55^\circ$ .
- При не змінному куті нахилу оптимальним є кут в  $32^\circ$ .
- Протягом року з одного квадратного метра сонячної панелі можна отримати  $218 \text{ кВт} \cdot \text{год}$  електроенергії при постійному положенні панелі,  $224 \text{ кВт} \cdot \text{год}$  при зміні кута нахилу з літнього на зимовий і назад,  $280 \text{ кВт} \cdot \text{год}$  при використанні трекеру.
- Якщо споживання менше  $400 \text{ кВт} \cdot \text{г}$  на рік з  $1 \text{ м}^2$  площі сонячних панелей, то цілком виправдано використовувати трекеру.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation / Sixth edition; WMO-No. 8, 1996.
2. Global Atmosphere Watch (GAW) Measurements Guide, WMO TD No. 1073.



УДК 697

к.т.н. доц. Пермяков В.М. Пьорушкіна Н.А.

**ДОСЛІДЖЕННЯ ПЕРЕХІДНИХ ПРОЦЕСІВ У ВЕНТИЛЬНОМУ ДВИГУНІ  
ВЕНТИЛЯТОРНОЇ УСТАНОВКИ ЗА ДОПОМОГОЮ ЦИФРОВОЇ МОДЕЛІ**

*У даній науковій статті досліджується електропривод вентилятора головного провітрювання рудника. Вибрано тип двигуна. Прийнята система управління електроприводом. Вироблено моделювання режимів роботи електродвигуна вентилятора з частотно-регульованим електроприводом.*

*Ключові слова: вентилятор головного провітрювання; система електроприводу; частотно-регульований електропривод; моделювання; режими роботи.*

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В ВЕНТИЛЬНОМ ДВИГАТЕЛЕ  
ВЕНТИЛЯТОРНОЙ УСТАНОВКИ С ПОМОЩЬЮ ЦИФРОВОЙ МОДЕЛИ**

*В данной научной статье исследуется электропривод вентилятора главного проветривания рудника. Выбран тип двигателя. Принята система управления электроприводом. Произведено моделирование режимов работы электродвигателя вентилятора с частотно-регулируемым электроприводом*

*Ключевые слова: вентилятор главного проветривания, система электропривода; частотно-регулируемый электропривод; моделирование; режимы работы.*

**RESEARCH OF TRANSIENTS IN THE SELF-CONTROLLED SYNCHRONOUS  
MOTOR DRIVE OF FAN USING DIGITAL MODELS**

*In this article investigate electric drive of main fans of mine. Is selected motor type. Adopted a system of electric drive control. Produced simulation modes of the fan motor with variable frequency drives.*

*KeyWords: mainventilationfan, electricdrivesystem, VFD, modeling, modesofoperation.*

Об'єктом дослідження є привід вентилятора головного провітрювання типу ВЦД-42, 5 (вентилятор відцентровий двосторонній з діаметром робочого колеса 42,5 дм). Головною метою дослідження є вибір потужності електроприводу, його режиму і тривалості роботи, моделювання його характеристик, отримання порівняльних результатів для укладення по роботі. Вентиляторні установки головного провітрювання використовуються для подачі повітря в рудник і розташовуються безпосередньо біля стовбура копальні.

Актуальність даної статті полягає в моделюванні режимів роботи синхронного електродвигуна з системою частотно-регульованого електроприводу (ЧРП) і застосуванні їх на практиці.

Метою моделювання є побудова характеристик залежності моменту і кутової швидкості обертання електродвигуна від часу при пуску, а також визначення пере регулювання і часу перехідного процесу.

Виконаємо моделювання на моделі з частотно-регульованим приводом. Для реалізації завдання щодо дослідження режимів роботи нашого обладнання збираємо математичну модель пуску синхронного двигуна в пакеті програм MatLab. Пакет програм MatLab призначено аналітичного і чисельного вирішення різних математичних задач, а також для моделювання електротехнічних та електромеханічних систем, завдяки додаткам і SimulinkSimPowerSystem. Математичну модель можна умовно розділити на 3 частини: блоки управління, блоки перетворювачів і модель двигуна. Модель електродвигуна являє

собою функціональну залежність передавальних блоків, блоків підсилювачів, логіки і нелінійних функцій. Модель двигуна складається з механічної частини і блоку перетворення моменту. При використанні моделей з частотним регулюванням час встановлення перехідних процесів зростає в кілька разів, але їх протікання стає більш плавним і точним.



Рис 1. Структура моделі синхронного двигуна з частотним регулюванням

Розглянемо більш детально, що собою представляє модель синхронного двигуна з частотним регулюванням, і зробимо невеликий опис даної моделі.

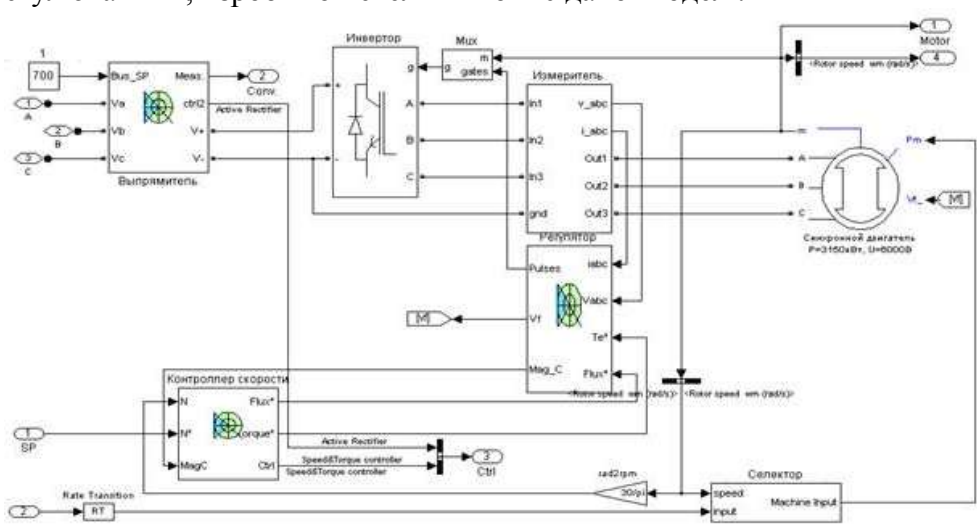


Рис 2. Структура моделі синхронного двигуна з частотним регулюванням

З джерела живлення змінне напруга надходить на випрямляч. Потім вже постійна напруга надходить на перетворювач струму і на інвертор, в якому воно знову перетворюється в змінну і живить сам синхронний двигун. У цей час із задатчиків швидкості і моменту сигнал надходить на контролер швидкості, туди ж приходить сигнал зворотного зв'язку з механічної частини двигуна і регулятора. Після всіх операцій сигнал з контролера швидкості надходить у вимірювач параметрів двигуна, де обробляється і видає остаточне значення швидкості обертання двигуна.



Рис 3. Вікно параметрів синхронного двигуна

У цьому вікні задаються основні параметри синхронного електродвигуна, такі як потужність, напруга, частота, опір і індуктивність обмоток, момент інерції, число пар полюсів. Після визначення всіх параметрів і внесення їх у вікно параметрів моделі двигуна, виробляємо моделювання і представляємо його результати.

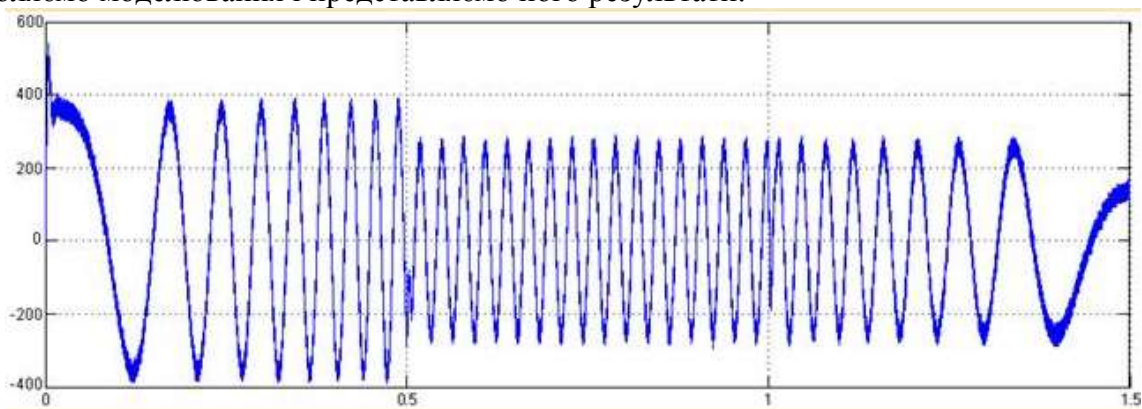


Рис 4. Струм статора синхронного двигуна

На цьому малюнку показана залежність струму статора синхронного двигуна від часу моделювання. Пусковий струм при запуску двигуна досягає значення 400 А, після виходу швидкості на номінальне значення струм знижується до 320 А, що майже відповідає розрахунковому номінальному струму.

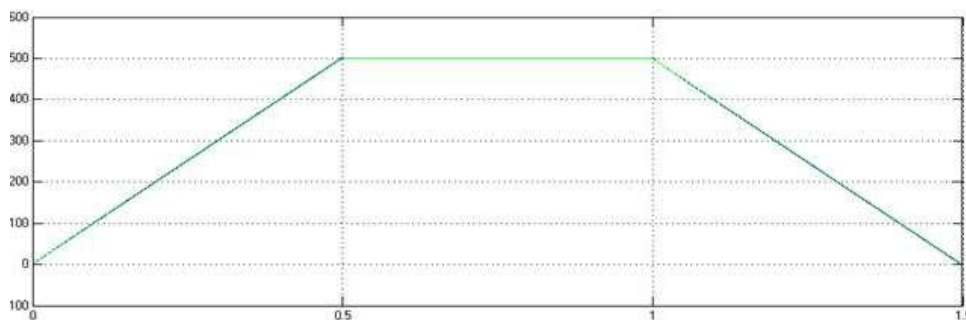
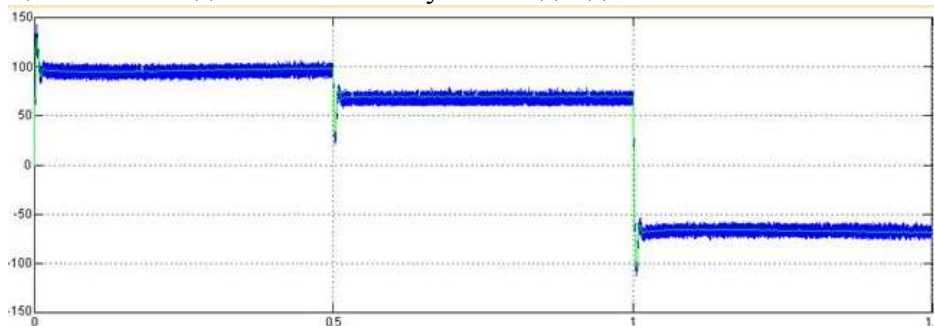


Рис 5. Швидкість обертання синхронного двигуна

На цьому графіку показана швидкість обертання двигуна залежно від часу моделювання. Тут можна виділити три основні режими роботи двигуна: а) пуск двигуна, б) робота двигуна на номінальній швидкості; в) гальмування двигуна. Аналізуючи характер графіка швидкості, можна стверджувати, що до часу 0,5 с після пуску двигуна швидкість обертання двигуна виходить на своє номінальне значення 500 об / хв. Зазначений проміжок часу показує, що система задовольняє вимогу за швидкодією. Система є стійкою.



Малюнок 6. Електромагнітний момент синхронного двигуна

На графіку моменту видно, що при пуску двигуна пусковий момент становить 100 кН \* м, а при виході швидкості на своє номінальне значення він знижується до 60 кН \* м, що збігається з розрахунковими даними. Після проведення моделювання та отримання всіх результатів було зведено розрахункові дані та результати моделювання в таблицю і обчислено похибку між ними.

Таблиця 1.

Зіставлення розрахункових значень з моделюванням

Назва	Розрахункве значення (каталожне)	Пуск в асинхр. режимі	Частотне регулювання	Похибка пуску в асинхр режимі від розрахунку(%)	Похибка частотного регулювання від розрахунку(%)
n(об/хв.)	500	500	500	0	0
Mн(кН*м)	60.2	63	60	4.4	0.3
Mп(кН*м)	84.3	158	100	47	15.8
Iн(а)	350	300	320	14.3	6.3

У результаті проведеної роботи була створена модель функціонального рівня системи синхронний двигун з частотним регулюванням. У ході роботи були визначені оптимальні параметри експерименту, забезпечують виконання розрахунків при необхідній точності і,

крім того, забезпечують кращу наочність результатів. Результати експерименту представлені у графіках і таблиці. Оцінка результатів дозволяє вважати дану систему задовольняє всіх цілях і вимогам. Можна однозначно вважати використання частотного регулювання більш кращим для синхронного двигуна вентиляторної установки головного провітрювання рудника. Опис інших варіантів використання частотно-регульованого електроприводу на гірничих підприємствах викладено в роботах.

УДК 658.512

*Лебедев Л.М. доцент, Дубовик В.Г., Торбанюк М.О. студент*  
**ПРИСТРІЙ ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ ТРУБ ВІД АСФАЛЬТОСМОЛОПАРАФІНОВИХ  
ВІДКЛАДЕНЬ**

*Винахід відноситься до нафтогазовидобувної промисловості і може бути використаний для очищення труб нафтового сортаменту від асфальтосмолопарафінових відкладень.*

*Ключові слова: асфальтопарафінові відкладення, очистка, пристрій*

**УСТРОЙСТВО ДЛЯ ОЧИСТКИ ТРУБ ОТ АСФАЛЬТОСМОЛОПАРАФИНОВЫХ  
ОТЛОЖЕНИЙ**

*Изобретение относится к нефтегазодобывающей промышленности и может быть использован для очистки труб нефтяного сортамента от асфальтосмолопарафиновых отложений.*

*Ключевые слова: асфальтопарафиновые отложения, очистка, устройство*

**DEVICE FOR CLEANING PIPES FROM ASPHALT-RESIN-PARAFFIN SEDIMENT**

*The invention relates to oil and gas industry and can be used to clean pipes assortment of a asphalt-resin-paraffin deposits.*

*Keywords: asphalt-resin-paraffin sediment, cleaning of the device*

**Вступ:** Відомий пристрій для очищення труб від асфальтосмолопарафінових відкладень [1] містить корпус у вигляді труби, обмотки індуктора приєднані до джерела живлення. Причиною, що перешкоджає спрощенню експлуатації пристрою є вертикальне розташування труб, що піддаються очищенню.

Найбільш близьким до запропонованого є пристрій очищення труб від асфальтосмолопарафінових відкладень [2], що містить індуктор, обмотки якого підключені до мережі змінного струму через перетворювач частоти, другий вхід якого сполучено з виходом термодатчика розташованого в контрольованій точці. Причиною що перешкоджає спрощенню експлуатації є наявність обмоток вздовж усїєї труби з великими габаритами, масою та витратами активних матеріалів.

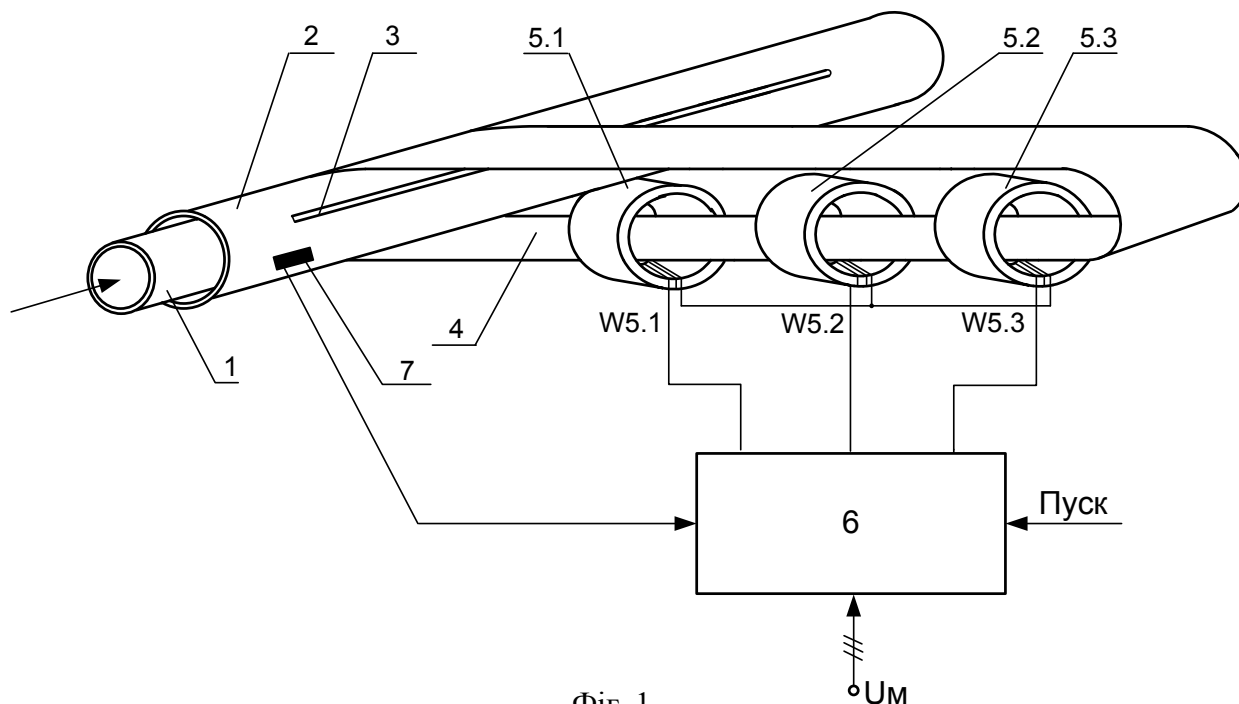
**Мета роботи:** Технічною задачею, покладеною в основу винаходу є спрощення експлуатації пристрою для очищення труб від асфальтосмолопарафінових відкладень шляхом зменшення габаритів і маси магнітопровода та обмоток індуктора за допомогою одновиткових вторинних ланцюгів, а також трансформаторного потроювача частоти.

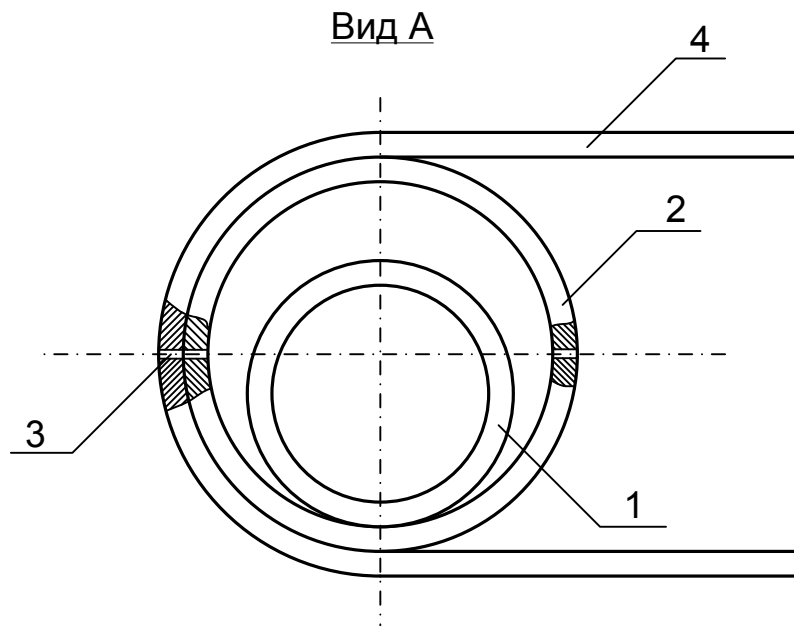
**Матеріал і результати дослідження:** Для вирішення поставленої задачі пристрій очищення труб від асфальтосмолопарафінових відкладень, що містить індуктор, обмотки якого підключені до мережі змінного струму через перетворювач частоти, другий вхід якого сполучений з виходом датчика температури, розташованого в контрольованій точці, теплоізольований корпус в якому розташовують труби, що підлягають очищенню **відрізняється** тим, що теплоізольований корпус виконано у вигляді теплоізольованої струмопровідної труби з двома симетричними подовжніми боковими прорізами, які не доходять до кінців труби на відстань не менше  $\pi/2$  її радіусу і ділять її на верхню та нижню секції, через вікна трьох магнітопроводів пропущена багатопарова електрична перемичка, яка з'єднує верхню та нижню секції по середині довжини прорізу, магнітопроводи охоплені обмотками, виходи яких з'єднані за схемою «зірка», а входи підключені до мережі змінного струму промислової частоти через трифазний перетворювач частоти та напруги, керуючі входи якого з'єднані з виходом датчика температури і ланцюгами керування «ПУСК» [3].

Причинно-наслідковий зв'язок між сукупністю істотних ознак і результатом, що

досягається, наступний. Наявність індуктора, вторинні кола якого мають вигляд порожнистої теплоізольованої струмопровідної труби, що поділена на верхню та нижню секції за допомогою подовжніх прорізів по боках, з'єднаних по середині довжини прорізів багат шаровою електричною перемичкою дозволяє вести одночасний рівномірний нагрів труби по всій її довжині. Нагрів порожнистої теплоізольованої струмопровідної труби ведеться за допомогою трьох трансформаторів, у вигляді магнітопроводів з обмотками, які представляють собою індуктор. Вторинними одновитковими ланцюгами трансформаторів є багат шарові електричної перемички з'єднані за схемою «відкритий трикутник». Навантаження «відкритого трикутника» - це паралельно з'єднані напівсекції порожнистої теплоізольованої струмопровідної труби. Таким чином, створено схему: напівпровідниковий перетворювач частоти – трансформаторний потроювач частоти. Використання недорогого стандартного перетворювача частоти з максимальною частотою порядку 600...700 Гц та потроювання цієї частоти за допомогою трансформаторного потроювача до 1800...2100 Гц дозволяє забезпечити зменшення масо-габаритних показників індуктора за рахунок підвищеної частоти. Додаткове зниження маси магнітопроводу досягнуто за рахунок того, що для створення третьої гармоніки потроювача частоти зменшено його переріз.

На фіг. 1 представлена схема пристрою очищення труб від асфальтосмолопарафінових відкладень. На фіг.2 показаний «Вид А» пристрою очищення труб від асфальтосмолопарафінових відкладень з торця труби. Прийняті позначення  $U_n^i$  – напруга на  $i$ -му виході  $n$  вузла.





Фіг. 2

Пристрій очищення труб 1 від асфальтосмолопарафінових відкладень (Фіг.1) складається з нагрівача у вигляді порожнистої теплоізольованої струмопровідної труби 2, що поділена на верхню та нижню секції за допомогою подовжніх прорізів 3, з'єднаних по середині довжини прорізів поперечною багат шаровою електричною перемичкою 4. Перемичка 4 виконана багат шаровою для того, щоб зменшити її омичний опір і відповідно нагрів обмоток. Нагрів теплоізольованої струмопровідної труби 2 ведеться за допомогою трьох магнітопроводів 5.1, 5.2, 5.3 з обмотками  $W_{5.1}$ ,  $W_{5.2}$ ,  $W_{5.3}$ . Вторинні одновиткові ланцюги магнітопроводів з'єднані за схемою «відкритий трикутник» за допомогою багат шарової електричної перемички 4. Навантаженням для «відкритого трикутника» слугують паралельно з'єднані напівсекції порожнистої теплоізольованої струмопровідної труби. Обмотки  $W_{5.1}$ ,  $W_{5.2}$ ,  $W_{5.3}$  з'єднані за схемою «зірка» без нульового дроту та підключені до виходу перетворювача частоти та напруги 6, який живиться від мережі  $U_M$  змінного струму промислової частоти. До керуючих входів перетворювача частоти та напруги 6 приєднано вихід датчика температури 7 та ланцюги керування «ПУСК». Шари теплоізоляції струмопровідної труби на фіг.1, фіг.2 не показані.

Працює пристрій наступним чином. Проводять співосне горизонтальне введення труб 1, що підлягають очищенню у струмопровідну трубу 2. На фіг.2 показано, що труба, яка підлягає очищенню і розміщена в середині струмопровідної труби, не закорочує між собою верхню та нижню секції. Прорізи віддалені від кінців труби на відстань не менше  $\pi/2$  її радіусу для того, щоб переріз одновиткових напівсекцій був однаковим.

Після завантаження труби, що піддається очищенню, переводять пристрій в робоче положення під кутом до горизонтальної поверхні. Подають напругу  $U_6$  з перетворювача частоти 6 на обмотки  $W_{5.1}$ ,  $W_{5.2}$ ,  $W_{5.3}$  магнітопроводів 5.1, 5.2, 5.3. У вторинних одновиткових паралельних напівсекціях індуктуються електрорушійні сили з напругою  $U_4$ , під дією яких в колах паралельних напівсекцій починає протікати струм, що викликає нагрів струмопровідної труби 2. Від стінок струмопровідної труби 2 тепло за рахунок теплового випромінювання та



теплопередачі передається трубі 1, що піддається очищенню. Далі тепло від стінок труби 1 передається асфальтосмолопарафіновим відкладенням в її середині. Температуру нагріву поверхні струмопровідної труби 2 контролюють за допомогою датчика 7, розташованого на її поверхні, і підтримують на заданому рівні, наприклад  $80...150^{\circ}\text{C}$ , за допомогою регулювання рівня напруги на виході напівпровідникового перетворювача частоти та напруги 6. Тонкий оплавлений шар асфальтосмолопарафінових відкладень на стінках труби, яку очищують, здатний служити мастилом, завдяки якому, під дією сили тяжіння, або зовнішніх сил (парогенератора) більша частина відкладень виходить з труби 2 не встигнувши розплавитися.

Вихід перетворювач частоти та напруги 6 дозволяє встановити вихідну частоту, яка перевищує промислову на порядок, що дає змогу знизити масо-габаритні показники магнітопроводів 5.1, 5.2, 5.3, а також дає можливість знизити кількість витків первинних обмоток  $W_{5.1}, W_{5.2}, W_{5.3}$  магнітопроводів. За рахунок зменшеної кількості витків первинних обмоток збільшується напруга вторинного одновиткового кола. Напруга вторинного контуру  $U_4 = U_6 (W_4 / W_5)$ , де  $U_6$  і  $W_5$  напруга та кількість витків, відповідно, первинного,  $U_4$  і  $W_4$  – вторинного контурів. Оскільки для одновиткової обмотки  $W_4 = 1$ , то при зменшенні  $W_5$  значення  $U_4$  зростає. Чим більше напруга вторинного контуру тим більше струм і менше час виходу пристрою на задану температуру.

Схема потроювання частоти складається з трьох однофазних трансформаторів у вигляді магнітопроводів з обмотками. Первинні обмотки трансформаторів включені в трифазну мережу за схемою «зірка» без нульового дроту, а вторинні обмотки з'єднані за схемою «відкритого трикутника», на вихід якого підключені, паралельно з'єднані, напівсекції струмопровідної труби. Електромагнітний режим магнітопроводів вибирається так, щоб отримати великі спотворення форм кривих струмів і напруги. Для цього зменшують переріз магнітопроводів. Роль фільтру гармонік кратних трьом виконує схема «відкритого трикутника». Гармоніки, що створюють симетричні системи прямої і зворотної послідовності в «відкритому трикутнику» взаємно компенсуються, а гармоніки кратні трьом складаються арифметично. Отже, на виході відкритого трикутника матиме місце потрібне значення напруги всіх гармонік, кратних трьом (3-я, 9-а і т.д.)

**Висновок:** Таким чином зменшення маси магнітопроводу отримано за допомогою насичення магнітопроводу і потроєння підвищеної частоти з виходу стандартного перетворювача частоти та напруги 6. Маса обмоток магнітопроводів зменшена також за рахунок того, що витки обмоток магнітопроводів індуктора намотано не на корпус нагрівача, як у прототипі, а на магнітопроводи зі зменшеним перерізом.

#### Література

1. Патент России № 2169831, МПК E21B 37/00. Устройство для очистки нефтяной скважины от асфальтосмолопарафиновых отложений. Шипулин А.В.; Загривный Э.А., Кудряшов Б.Б., Соловьев Г.Н., Габдрахманов Н.Х., Мингулов Ш.Г. Опубл. 27.06.2001
2. Патент России № 2437726. МПК B08B 9/00. Устройство очистки труб от асфальтосмолопарафиновых отложений. Орлов А.И., Попов И.И., Соловьев В.Г., Зелди И.П. Опубл. 27.12.2011. Бюл. № 36
3. Заявка № u 2013 05844 на корисну модель від 7.05.13 р. Лебедев Л.М., Дубовик В.Г., Лебедев М.М., Торбанюк М.О. Пристрій для очищення труб від асфальтосмолопарафінових відкладень МПК B08B 9/00.

УДК 622.23.05

О.В. Замараєва, проф. С.П. Шевчук

**ВПЛИВ МУЛЬТИПЛІКАТОРА ТИСКУ НА ГІРСЬКИЙ МАСИВ**

*Запропоновані результати дослідження впливу мультиплікатора тиску на гірський масив. Наведено характеристики впливу мультиплікатора в залежності від жорсткості гірського масиву.*

**ВЛИЯНИЕ МУЛЬТИПЛИКАТОРА ДАВЛЕНИЯ НА ГОРНЫЙ МАССИВ**

*Предложены результаты исследования влияния мультипликатора давления на горный массив. Показаны характеристики влияния мультипликатора в зависимости от жесткости горного массива.*

**THE INFLUENCE OF THE PRESSURE BOOSTER ON ROCK MASS**

*Abstract. Proposed findings multiplier effect of pressure on the mountain. Shows the characteristics of the multiplier effect, depending on the hardness of the rock mass.*

**Вступ.** Проблема енергозбереження в машинобудуванні пов'язана з проектуванням машин з мінімальними затратами потужності машини та максимальною працездатністю. Такі функції виконують машини, які адаптуються до умов робочого середовища, зокрема, машини з мультиплікаційним гідроприводом. В виробничих умовах ВАТ "Київметробуд" застосовуються прохідницькі щити Wirth з робочим обладнанням "зворотна лопата" та з роторним виконачим органом для різання ґрунтів. Застосування гідроприводу з мультиплікатором тиску підвищить ефективність впливу приводу робочого обладнання на гірський масив.

**Мета роботи.** Визначити характеристики впливу мультиплікатора тиску на гірський масив за допомогою трьохмасової моделі та її реалізації функціями Mathcad.

**Матеріал і результати досліджень.**

На основі моделі гідроприводу кінематичної схеми (рис.1) розроблена трьохмасова математична модель процесу руйнування гірських порід для узагальнених координат  $x_1$ ,  $x_2$ ,  $x_3$  (рис. 2).

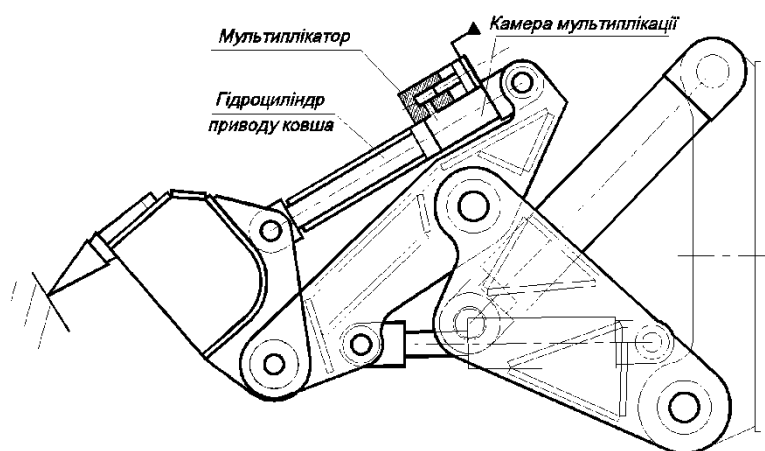


Рисунок 1 - Кінематична схема мультиплікаторного приводу робочого обладнання прохідницького маніпулятора

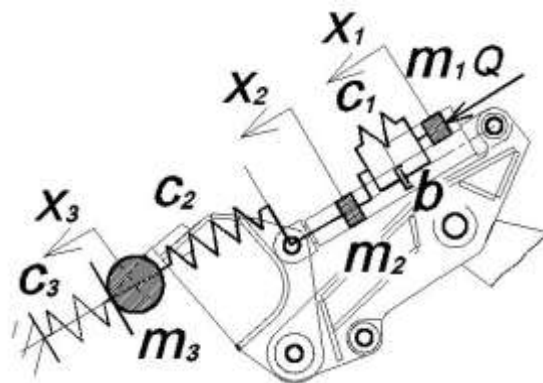


Рисунок 2 - Формування розрахункової схеми трьохмасової моделі мультиплікаторного приводу

Математична модель, яка відповідає розрахунковій схемі (рис. 2), запишеться

$$\begin{aligned} \frac{d^2 x_1}{dt^2} &= -\frac{C_1}{m_1}(x_1 - x_2) - \frac{b_1}{m_1} \left( \frac{dx_1}{dt} - \frac{dx_2}{dt} \right) + \frac{P}{m_1} \sin \omega_1 t, \\ \frac{d^2 x_2}{dt^2} &= \frac{C_1}{m_2}(x_1 - x_2) + \frac{C_2}{m_2}(x_3 - x_2), \\ \frac{d^2 x_3}{dt^2} &= -\frac{C_2}{m_3}(x_3 - x_2) - \frac{C_3}{m_3} x_3, \end{aligned} \quad (1)$$

де  $C_1, C_2, C_3, m_1, m_2, m_3$  – відповідно зведені в динамічному відношенні жорсткості і маси елементів конструкції маніпулятора та гірської породи;  $b_1$  – зведений коефіцієнт дисипаційного опору гідроприводу ковша маніпулятора,  $Q = P \sin \omega_1 t$  – силоне навантаження мультиплікатором тиску. За початкові умови прийняті незначні переміщення  $x_1(0) = 0,02$  м,  $x_2(0) = 0,014$  м,  $x_3(0) = 0,011$  м, що відповідає робочому положенню елементів системи (рис. 1).

На рис. 3 наведені графіки зміни переміщень, розраховані за результатами інтегрування системи (1) з застосуванням функцій оболонки Mathcad.

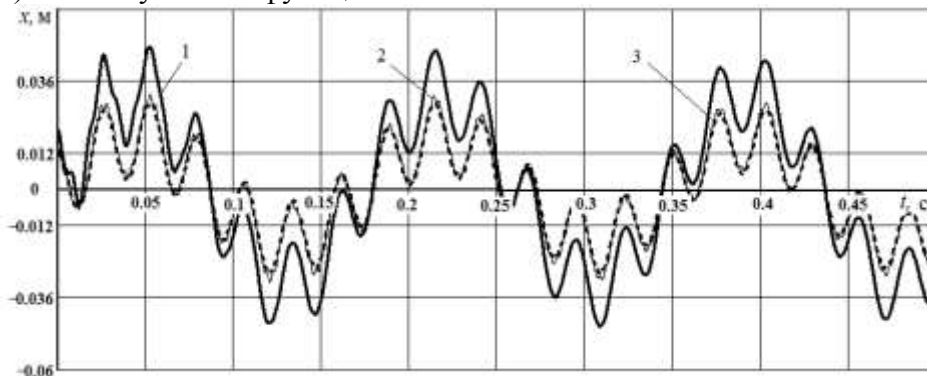


Рисунок 2 - Характеристики переміщень при жорсткості гірської породи

$C_{zp} = 4,9 \cdot 10^7$  Н/м, відповідно: 1 - штоку мультиплікатора ( $x_1$ ), 2 - поршня гідроциліндра ( $x_2$ ), 3 - ріжучого інструмента (зубців ковша) ( $x_3$ )

Як видно з графіків (рис. 3) коливання елементів в системі носить бігармонічний характер: основна гармоніка з частотою близько 6 Гц і амплітудою 0,048 м формує основний режим вимушених коливань і відповідає частоті коливань зовнішнього навантаження з круговою частотою  $\omega_1 = 36$  рад/с; інша гармоніка має частоту 36 Гц і амплітуду 0,024 м, що відповідає кратності 6. Коливання носять стабільний характер, що свідчить про режим встановлених коливань з поступовою передачею енергії гірському масиву. Причому впливовими при періодичній дії мультиплікатора є перша і шоста гармоніка в спектрі навантаження гірського масиву. Поява бігармонічного режиму коливань пов'язана з характеристикою жорсткості гірського масиву, яка досягає значної величини ( $C_{zp} = 4,9 \cdot 10^7 \frac{H}{M}$ ). При зменшенні

жорсткості масиву до величини  $C_{zp} = 4,9 \cdot 10^6 \frac{H}{M}$ , що відповідає гірській породі з коефіцієнтом відносної міцності за шкалою М.М. Протод'яконова  $f=1$ , режим бігармонічності зникає і процес коливань наближається до гармонічних вимушених коливань (рис. 4).

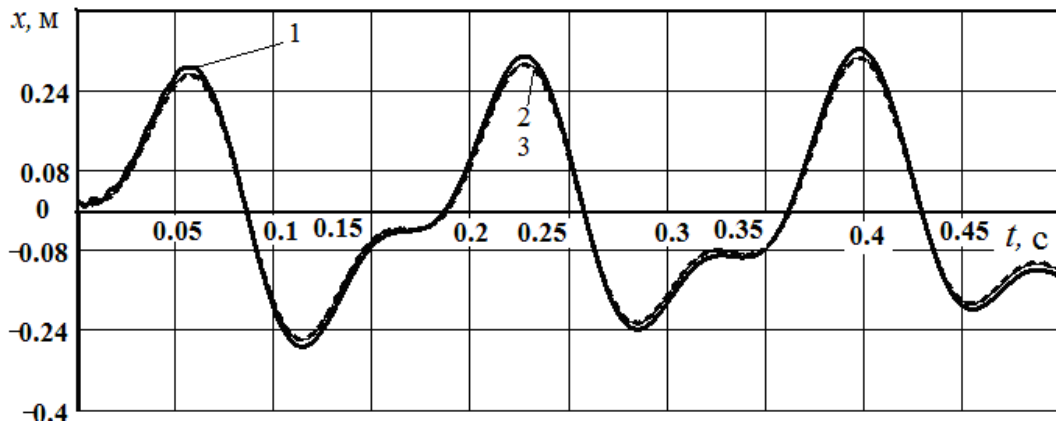


Рисунок 4 - Характеристики переміщень при жорсткості гірської породи  $C_{zp} = 4,9 \cdot 10^6$  Н/м, відповідно: 1 - штоку мультиплікатора ( $x_1$ ), 2 - поршня гідроциліндра ( $x_2$ ), 3 - ріжучого інструмента (зубців ковша) ( $x_3$ )

При цьому велика амплітуда коливань свідчить про значні деформації гірської породи і зростання в ній напружень.

**Висновки.** Запропонована трьохмасова модель мультиплікаторного гідроприводу відображає закономірності руху основних частин: штока мультиплікатора, поршня гідроциліндра та робочого органа. Встановлено, що пульсуючий режим функціонування мультиплікатора в гідроприводі виконавчого органа генерує бігармонічні коливання робочого органа з частотою, яка в 6 раз перевищує частоту навантажень мультиплікатором. Це пояснюється значним впливом на процес коливань жорсткості гірської породи, що зумовлює прискорену стабілізацію коливань в гідроприводі з адаптацією в ньому тиску до опору гірської породи. Частота коливань мультиплікаторного тиску 5 Гц призводить до коливань сили опору міцної гірської породи з періодом 0,01...0,02 с, які на порядок менше періоду фазового запізнення реакції гідроприводу на перевантаження (0,1 – 0,3 с) у зв'язку з інерційністю

спрацювання запобіжних клапанів, що дозволяє реалізувати імпульсно-коливальну дію мультиплікатора.

УДК 622.23.05

В.Я. Бокало, доц. В.М. Сліденко

### ІМПУЛЬСНО-СТРУМИННИЙ МОДУЛЬ ДЛЯ ВПЛИВУ НА НАФТОВУ СВЕРДЛОВИНУ

*Запропоновані результати дослідження імпульсно-струминного модуля з дією на привибійну зону нафтової свердловини. Наведені графіки зміну тиску і температури за результатами експериментальних вимірювань. Встановлено, що імпульсно-струминний модуль генерує значення амплітуд репресійного тиску близько 3,5 МПа з частотою близько 2 Гц, а максимальні значення депресії – близько 7,5 МПа.*

### ИМПУЛЬСНО-СТРУЙНЫЙ МОДУЛЬ ДЛЯ ВЛИЯНИЯ НА НЕФТЯНУЮ СКВАЖИНУ

*Предложены результаты исследований импульсно-струйного модуля с действием на призабойную зону нефтяной скважины. Приведены графики изменения давления и температуры по результатам экспериментальных измерений. Установлено, что импульсно-струйный модуль генерирует значения амплитуд репрессионного давления около 3,5 МПа с частотой около 2 Гц, а максимальные значения депрессии – около 7,5 МПа.*

### PULSE-JET MODULE FOR IMPACT ON OIL WELL

*Results of researches of the pulse-jet module are offered. This paper shows the variation of pressure and temperature on the results of experimental measurements. It is established that the pulse-jet module generates the amplitudes repression pressure of about 3.5 MPa with a frequency of about 2 Hz and the maximum depression - about 7.5 MPa.*

**Вступ.** Збільшення об'ємів власного видобутку нафти і газу є головною задачею, яка стоїть перед промисловістю як України, так і всього світу. Тому актуальною є задача, підвищення ефективності функціонування нафтових та газових свердловин.

Для підвищення продуктивності нафтових свердловин очищенням привибійної зона свердловини та збільшенням проникливості пластової системи використовуються різноманітні технічні засоби, в складі яких часто застосовують струминний апарат та генератор імпульсних навантажень на привибійну зону [1].

**Мета роботи.** Розробити структуру та модель інжекційної системи струминного апарату за визначеною методикою, та проаналізувати результати експериментальних досліджень інжекційної системи струминного апарату в виробничих умовах.

#### Матеріал і результати дослідження.

Основним елементом струминного апарату є інжекційна система, яка складається з конфузора 1, сопла 2, приймальної камери 3, камери змішування 4 та дифузора 5 (рис. 1)

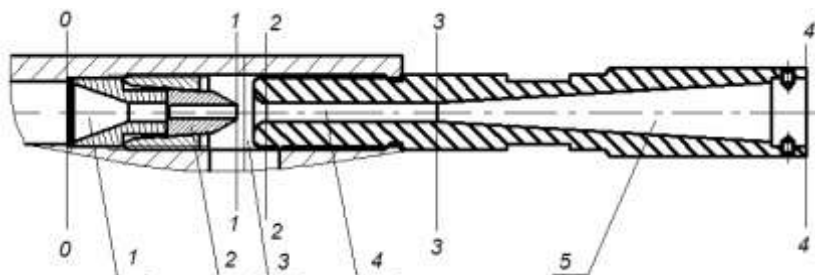


Рисунок 1 – Інжекційна система струминного апарату: 1 – конфузор; 2 – сопло;

3 – приймальна камера; 4 - камера змішування; 5- дифузор.

Конфузор 1 характеризується вхідним перерізом 0-0, а сопло 2 вихідним перерізом 1-1. Далі робочий потік разом з інжектіваним через приймальну камеру 2 потрапляє на вхід камери змішування 3 (переріз 2-2) і на вхід дифузора 5 (переріз 3-3). Переріз 4-4 – вихідний для інжекційної системи.

Коефіцієнт інжекції визначається за виразом [2]

$$i = \frac{Q_i}{Q_p}, \quad (3)$$

де  $Q_i$  - витратна характеристика інжектіваного потоку,  $Q_p$  - продуктивність поверхневого насосного агрегату.

Для конструктивних параметрів та умов експлуатації струминного апарату: діаметра робочого сопла  $d_c=4$  мм, діаметра камери змішування  $d_3=6$  мм, діаметра камери інжекції  $d_i=15$  мм, діаметра підвідного трубопроводу  $d_{mp}=22$  мм, продуктивності поверхневого насосного агрегату  $Q_{nn}=20$  л/с, глибини свердловини  $H=2000$  м, густини рідини  $\rho=800$  кг/м<sup>3</sup>, внутрішнього діаметру НКТ  $D=62$  мм максимальний коефіцієнт інжекції розрахований за методикою наведеною в [2] склав  $i=0.64$ .

Встановлено, що довжина робочого сопла на проміжку 5 – 30 мм не впливає істотно на коефіцієнт інжекції. Тому рекомендовано: робоче сопло довжиною близько 10 мм та діаметр робочого сопла 4 мм.

Для підтвердження результатів моделювання за прийнятою методикою розрахунку були проведені експериментальні вимірювання параметрів функціонування струминного апарату в складі комплексу для підвищення продуктивності свердловин за умов Єршовського родовища Нижневартовського нафтогазодобувного управління Тюменської області Російської Федерації.

На графіку (рис.2) визначені три області роботи обладнання комплексу. Область А - функціонування мультиплікатора тиску; область Б – функціонування струминного апарату; область В- область відключення та виймання обладнання комплексу.

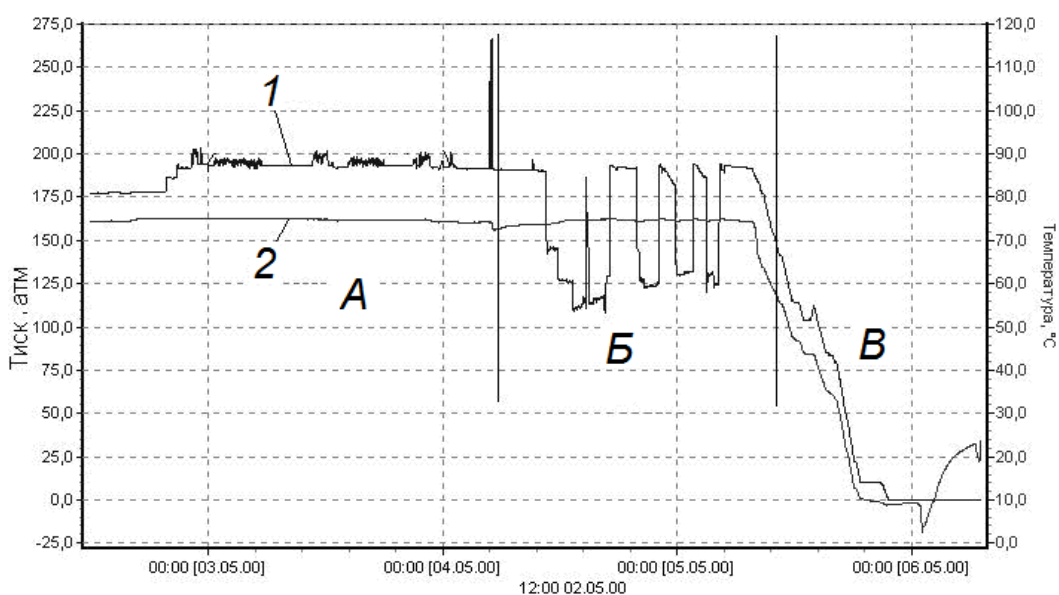


Рисунок 2 – Графіки зміни параметрів в свердловині: 1 – тиску, 2 – температури.

З графіків видно, що в області Б, коли в роботу вмикається струминний апарат, тиск в свердловині змінювався стрибками від 18,5 до 11,0 МПа. Тобто використання струминного апарату дозволяє створювати задану імпульсну депресію на пласт, при необхідності керувати її значенням і тривалістю та багаторазово повторювати цикли депресії - репресії на пласт.

**Висновки.**

Розроблено структуру та модель інжекційної системи струминного апарату за визначеною методикою, особливості якої полягають в тому, що вона дає змогу розрахувати максимальний коефіцієнт інжекції та визначити раціональні параметри: коефіцієнт інжекції  $i = 0.64$  ; діаметр робочого сопла  $d_c = 4$  мм, та довжину робочого сопла  $l_c = 10$  мм.

Експериментальними дослідженнями в виробничих умовах встановлено, що імпульсно-струминний модуль генерує значення амплітуд репресійного тиску близько 3,5 МПа з частотою близько 2 Гц, а інжекційна система струминного апарату створює депресією близько 7,5 МПа, що дозволяє проводити очищення привибійної зони свердловини і збільшувати її продуктивність.

**Перелік посилань:**

1. Богуслаев В.А., Слиденко В.М., Листовщик Л.К. Способ реагентно-импульсной-имплозионной обработки призабойной зоны пласта, установка для его осуществления, депрессионный генератор импульсов. Патент РФ № 2376455, опубл. 20.12.2009. Бюл. №35
2. Яремейчук Р.С. Технология повышения продуктивности скважин с помощью струйных аппаратов. – М.: 1992.- 70 с.

## ОСОБЛИВОСТІ УПРАВЛІННЯ БАГАТОСТАДІЙНИМ ПРОЦЕСОМ ПОДРІБНЕННЯ

*У статті розглянуто особливості управління багатостадійним процесом подрібнення. Особливість цієї статті полягає у багатоаспектності й змістовності. У ній проаналізовано і складові цього способу, і його етапи, і причини низького рівня якості керування цим способом. Проаналізовано особливості залежності контрольованих параметрів процесу подрібнення від фізико-механічних властивостей подрібнюваного матеріалу і продуктивності процесу. Описано користь від використання незалежних від продуктивності процесу подрібнення співвідношень значень бінарних інформаційних смуг, нейронних мереж. Автор детально описав реалізацію способу управління багатостадійним процесом подрібнення, починаючи від вибору інформативного сигналу і закінчуючи обрахуванням інформаційних смуг. Автор передбачає, що є вихідним значенням нейронної мережі, яка технічна задача, покладеною в основу способу і як визначено частку ділення. У статті проаналізовано реалізацію технічної задачі способу управління багатостадійним процесом подрібнення, зазначено, що при цьому потрібно брати до уваги і яким повинен бути причинно-наслідковий зв'язок між суттєвими ознаками та результатом. Автор робить висновок, які є додаткові переваги способу управління багатостадійним процесом подрібнення.*

## ОСОБЕННОСТИ УПРАВЛЕНИЯ МНОГОСТАДИЙНЫМ ПРОЦЕССОМ ДРОБЛЕНИЯ

В статье рассмотрены особенности управления многостадийным процессом измельчения. Особенность этой статьи заключается в многоаспектности и содержательности. В ней проанализированы и составляющие этого образа, и его этапы и причины низкого уровня качества управления этим способом. Проанализированы особенности зависимости контролируемых параметров процесса измельчения от физико-механических свойств измельчаемого материала и производительности процесса. Описана польза от использования независимых от производительности процесса измельчения соотношений значений бинарных информационных полос, нейронных сетей. Автор подробно описал реализацию способа управления многостадийным процессом измельчения, начиная от выбора информативного сигнала и заканчивая вычислением информационных полос. Автор предполагает, что является исходным значением нейронной сети, техническая задача, положенной в основу способа и как определена доля деления. В статье проанализированы реализацию технической задачи способа управления многостадийным процессом измельчения, указано, что при этом нужно принимать во внимание и каким должен быть причинно-следственная связь между существенными признаками и исходом. Автор делает вывод, какие есть дополнительные преимущества способа управления многостадийным процессом измельчения.

## MANAGEMENT OF MULTISTAGE GRINDING PROCESS

*The article deals with peculiarities of multistage grinding process. This article is meaningfulness. It also analyzes the components of this method and its steps and reasons for the low level of quality control in this way. The features based controlled grinding process parameters on the physical and mechanical properties of the material grind and process performance. We describe the benefits of using independent performance grinding process binary information value ratios bands neural networks. Described in detail by way of implementing control multistage grinding process, from choosing the informative signal and ending calculating informative bands. Author argues that the output value of the neural network that technical problem underlying the method and as*



*determined by dividing the share. The paper analyzes the implementation method of managing technical problem multistage grinding process, it is stated that this should be taken into account and how to be a causal link between the essential features and outcome. The author concludes that there are additional benefits management method multistage grinding process.*

Відомий спосіб управління багатостадійним процесом подрібнення, що включає вимірювання інформативного сигналу і використання його складових для управління продуктивністю процесу [1]. Причина низького рівня якості керування багатостадійним процесом подрібнення пов'язана зі спрощеним зв'язком між складовою сигналу що відображує комплекс фізико-механічних властивостей подрібнюваного матеріалу і вибраною продуктивністю живильника.

Спосіб управління багатостадійним процесом подрібнення, який містить вимірювання сигналу технологічної інформації агрегату первинного подрібнення, визначення його розмаху, вибір кількості і меж інформаційних смуг, вибір розміру інформаційних точок, формування часових рядів інформаційних смуг, вибір продуктивності живильника першої стадії подрібнення за допомогою значень перетину рядів інформаційних смуг [2]. Низький рівень якості керування регульованою змінною технологічного процесу пов'язаний з використанням тривимірних часових рядів характеристичних ознак сигналу технологічної інформації, які містять обмежений об'єм корисної інформації.

Технічною задачею, покладеною в основу винаходу, є підвищення рівня якості управління продуктивністю багатостадійного процесу подрібнення шляхом використання співвідношень значень перетину бінарних часових рядів інформаційних смуг за допомогою нейронних мереж які дозволяють більш точно вибирати продуктивність дробильно-помольного комплексу.

Для реалізації технічної задачі спосіб управління багатостадійним процесом подрібнення, який містить вимірювання сигналу технологічної інформації агрегату первинного подрібнення, визначення його розмаху, вибір кількості і меж інформаційних смуг, вибір розміру інформаційних точок, формування часових рядів інформаційних смуг, вибір продуктивності живильника першої стадії подрібнення за допомогою співвідношень значень перетину часових рядів інформаційних смуг відрізняється тим, що формують бінарні часові ряди інформаційних смуг підсумовуючи до часткових сум елементів кожного бінарного ряду інформаційної смуги «0», якщо значення інформаційної точки не перевищує межі смуги і «1», в разі її досягнення чи перевищення, знаходять співвідношення значень часткових сум у вибраному перетині бінарних інформаційних смуг, рішення щодо зміни продуктивності живильника першої стадії подрібнення приймають за допомогою нейронних мереж входом яких є частки від поділу значень бінарних інформаційних смуг у вибраному перетині, а виходом – сигнал пропорційний продуктивності живильника першої стадії подрібнення.

Причиною-наслідковий зв'язок між сукупністю суттєвих ознак та результатом який досягається полягає в наступному. Більшість контрольованих параметрів процесу подрібнення (струм, потужність, шум, вібрація) залежить одночасно від фізико-механічних властивостей подрібнюваного матеріалу і продуктивності процесу. Якщо рахувати, що значення часткових сум часових рядів інформаційних смуг пропорційні продуктивності процесу, то частки від поділу значень у перетині інформаційних смуг залежать тільки від фізико-механічних властивостей подрібнюваного матеріалу. Використання незалежних від продуктивності процесу подрібнення співвідношень значень бінарних інформаційних смуг у вибраному перетині дозволяє підвищити точність керування в умовах змінної продуктивності процесу

подрібнення. Нейронні мережі дозволяють врахувати особливості конкретної технологічної лінії за рахунок навчання, підвищити рівень якості керування процесом та зробити систему керування універсальною. Таким чином, усі наведені в формулі винаходу ознаки суттєві, а їх сукупність достатня для одержання технічного результату.

Реалізують спосіб таким чином. Вибирають інформативний сигнал для управління продуктивністю процесу подрібнення. В якості основного, як правило, використовують сигналіструму або потужності електродвигуна агрегату першої стадії подрібнення. З даних, отриманих за допомогою давача первинної інформації, формують інформаційні точки. Під інформаційними точками розуміють усереднені значення даних, отриманих від датчиків первинної інформації. Період усереднювання (розмір інформаційних точок) вибирають рівним або кратним періоду дискретизації сигналу датчика технологічної інформації.

За допомогою інформаційних точок формують часові ряди бінарних смуг. По суті справи бінарні смуги враховують час перевищення контрольованим сигналом меж інформаційних смуг, що спрощує вимірювальну частину системи автоматизації. Принадходженні знов виміряних інформаційних точок всі значення в елементах ряду бінарної інформаційної смуги зсовують на крок вперед, останнє значення видаляють, значення, що знов надійшло, ставлять на перше місце і підсумовують до інших елементів часового ряду. Максимальна кількість елементів (інформаційних точок) часового ряду визначається поділом часу переміщення вантажопотоку між стадіями подрібнення на розмір інформаційних точок. Чим більше розмір інформаційних точок, тим менше кількість елементів часового ряду.

Інформаційні смуги формують, поділом розмаху струмів (потужностей) електродвигуна агрегату першої стадії подрібнення на вибрану кількість смуг. Наприклад, якщо використовують три рівномірні смуги струмів, то смуги

$$I_1 = I_2 = I_3 = (I_{MAX} - I_{XX})/3,$$

де  $I_{MAX} = I_{XX} + I_1 + I_2 + I_3$ ,  $I_{XX}$  – струм холостого ходу.

В загальному випадку смуги можуть бути і не рівномірними.

Ряди бінарних смуг формують за допомогою перших часткових сум ряду. Вибирають місце перетину бінарних смуг. Знаходять значення бінарних полос для цього перетину. Визначають частки від ділення значень у вибраному перетині, величина яких

$$I_2/I_1, I_3/I_2, I_3/I_1,$$

залежить від фізико-механічних властивостей подрібнюваного матеріалу і не залежить від продуктивності живильника. Набуті значення часток від поділу використовують як вхідні для нейронної мережі. Вихідним значенням нейронної мережі є сигнал пропорційний оптимальної продуктивності живильника. Завдяки навчання нейронної мережі схема керування є універсальною і не залежить від обладнання і схеми конкретної технологічної лінії. Кількість входів нейронної мережі відповідає кількості співвідношень значень інформаційних смуг у вибраному перетині. Мінімально можлива кількість входів, потрібна для врахування фізико-механічних властивостей подрібнюваного матеріалу – не менше двох. Збільшення кількості співвідношень інформаційних смуг дозволяє підвищити точність врахування фізико-механічних властивостей подрібнюваного матеріалу.

Додатковою перевагою способу є використання тільки одного датчика технологічної інформації для керування подрібнювально-помольним комплексом зі змінною в залежності від фізико механічних властивостей перероблюваного матеріалу продуктивністю.

**ЛІТЕРАТУРА**

1. Авторское свидетельство СССР №1616704, МКИ В 02 С 25/00. Лебедев Л.Н., Дубовик В.Г., Данильчук Г.И. Способ автоматического регулирования загрузки дробильного агрегата. БИ.№48, 30.12.1990.
2. Патент на корисну модель UA 52161 U, МПК (2009) В02С 25/00, Лебедев Л.М., Дубовик В.Г., Мейта О.В. Спосіб керування багатостадійним процесом подрібнення, опубл. 10.08.2010, Бюл. №15, 2010.
3. Технічні засоби автоматизації в гірничій промисловості: Учбовий посібник / Груба В.І., Нікулін Є.К., Оголобченко А.С. Під редакцією Груби В.И. -Київ: ИСМО,1998.-373с.
4. Автоматизация конвейерного транспорта на угльных шахтах/ Лазукин Н.Я., Травкин Е.К. таін.-М.: ЦНИЭИуголь, 1975.-55с.

Закладний О.М., Закладний О.О., Прядко С. Л., Прусаков Д.А.

## ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ЕНЕРГОБЛОКУ ТЕЦ-5

*Розглянуто основні заходи підвищення рівня енергоефективності роботи енергоблоку на ТЕЦ-5. Розглянуті питання використання застосування керованого електроприводу за схемою вентильного двигуна для роботи з потужними насосними установками у енергоблоці.*

*Ключові слова: енергоефективність, енергоблок, вентильний двигун, втрати енергії, ТЕЦ-5.*

Zakladnyi A., Zakladnyi O., Pryadko S., Prusakov D.

### IMPROVING THE ENERGY EFFICIENCY LEVEL OF CCHP – 5.

*This article considers the main activities to increase energy efficiency level of the unit at CCHP-5. Were reviewed the applying of controlled electric drive with valve engine scheme for use with high-power pumps in power block.*

*Key words: energy, power block, valve engine, loss of energy, CCHP-5.*

**Вступ.** Історично склалося, що тривалий час економіка України розвивалася у напрямку переважного розвитку енергоємних галузей промисловості: гірничовидобувної, металургійної, хімічної, важкого машинобудування і енергетики. На першому етапі розвитку промисловості України це було зумовлено наявністю відповідних ресурсів, розвиненою інфраструктурою, сприятливими кліматичними та гірничо-геологічними умовами.

Україна, володіючи достатньо потужним паливно-енергетичним комплексом, має в ньому значну частку застарілого, технічно зношеного обладнання та устаткування.

Сьогодні проблема енергозбереження (підвищення рівня енергоефективності силового енергообладнання) нашої країни вже переросла в проблему національної безпеки. Від її вирішення безпосередньо залежить можливість остаточного подолання внутрішніх і зовнішніх кризових процесів у економіці і політиці. Надзвичайно важливим є всебічне осмислення проблем енергозабезпечення, технологічного та економічного обґрунтування заходів з енергозбереження.

**Теплоелектроцентраль № 5** на сьогодні – одна з найбільших теплоелектроцентралей України, яка виробляє теплову та електричну енергію.

**ТЕЦ-5** введено в експлуатацію в 1971 році. Встановлена електрична потужність теплоцентралі становить 700 МВт, теплопотужність – 1874 Гкал/год. На ТЕЦ-5 працюють 4 енергетичних блоки, а також 5 водогрійних котлів. У 2012 році на ТЕЦ-5 було вироблено 2,5 млрд. кВтг електроенергії та відпущено споживачам 4,2 млн. Гкал теплової енергії.

**Мета роботи.** Метою даної роботи є розроблення методів та заходів підвищення рівня ефективності роботи енергоблоку на ТЕЦ-5

Предметом дослідження є головні електроспоживачі – електроприводи живильних насосних установок енергоблоку ТЕЦ-5

## Найпотужніші споживачі на ТЕЦ-5

Споживачі	Кількість	Потужність $P_n$ , кВт	$\operatorname{tg}\varphi_p$	$\Sigma P_n$	$\cos\varphi_p$	$K_n$	$P_{p,с}$ , кВт	$S_{pt}$ , кВА
СН	2	2500	0,75	5000	0.8	0.7	3500	4375
Д	2	1700	0,75	3400	0.85	0.65	2210	2600
ДВ	2	630	0,75	1260	0.85	0.65	781,2	919
ДРГ	2	630	0,75	1260	0.85	0.65	781,2	919
ТВД	1	500	0,75	500	0.85	0.6	300	353
КНБ	4	320	0,75	1280	0.81	0.4	512	632
ПСН	2	1200	0,75	2400	0.85	0.6	1440	1694
НТВ	1	650	1,02	650	0.7	0.5	325	464
БПН	2	500	1,02	1000	0.7	0.5	500	714
ЦН	1	1600	1,02	1600	0.72	0.75	1200	1667
КНТ	2	320	1,02	640	0.7	0.5	320	457
НТВ	1	320	1,17	320	0.65	0.4	128	197
БПН	2	600	0,75	1200	0.85	0.6	720	847
ПЕМ	1	8000	1,02	8000	0.72	0.8	6400	8889
ПСН	1	400	1,17	400	0.65	0.4	160	246
РВ	1	2500	0,75	2500	0.8	0.7	1750	2188
ПМЗ	1	630	0,75	630	0.85	0.65	409,5	482

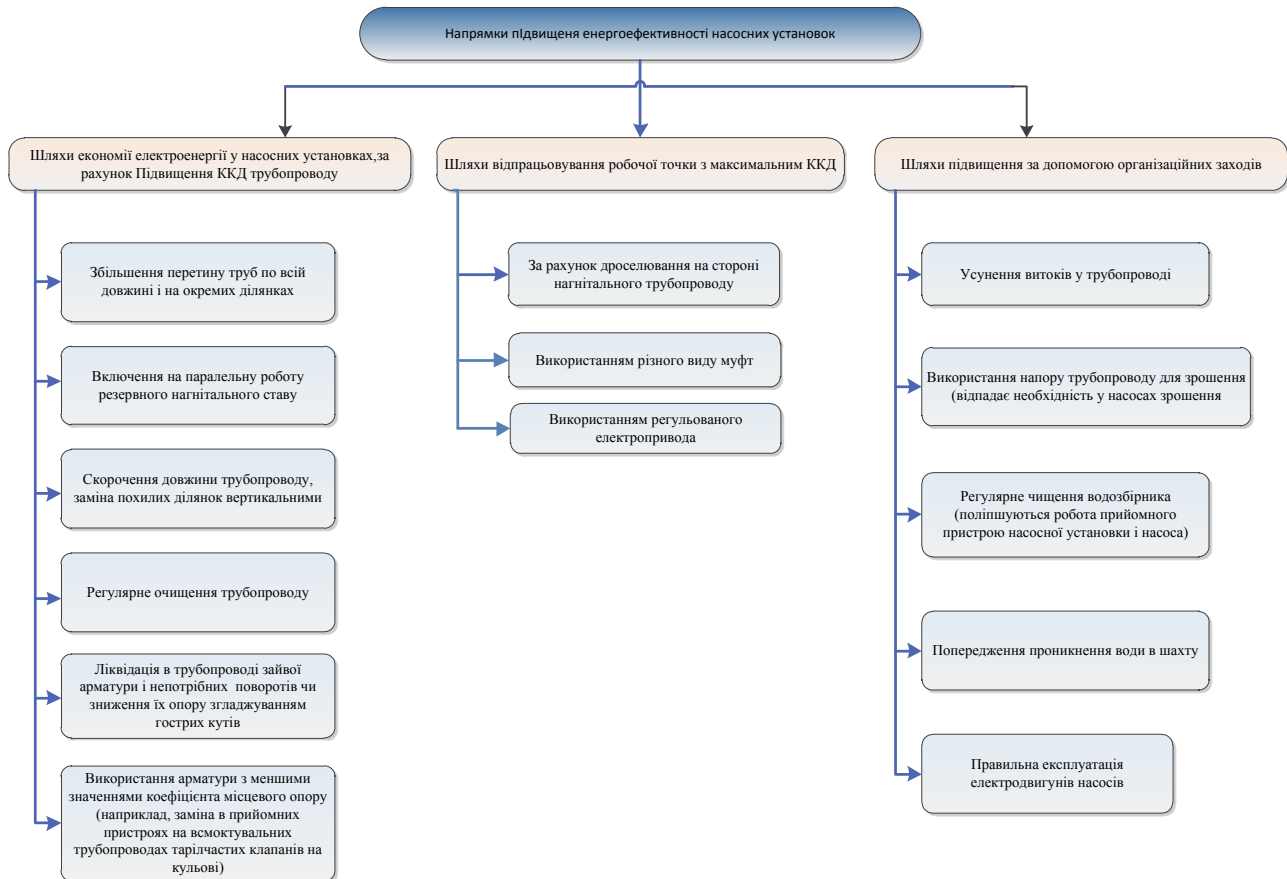
Як видно з таблиці, одними з найпотужніших споживачів є насосні установки. А саме, живильний електронасос типу ПЕ-600-300-4 потужністю 8000 кВт. Розглянемо основні напрямки підвищення енергоефективності насосних установок.

Шляхи економії електроенергії у насосних установках: підвищення ККД насосів і трубопроводів; регулювання продуктивності насосної установки; упорядкування графіка навантажень насосної установки, організаційні заходи. Підвищення ККД насосів забезпечується за рахунок ретельного балансування робочих коліс, регулярною заміною ущільнювачів, забезпечення робочої точки насоса в зоні максимальних значень ККД.

Живильна установка призначена для надійного постачання котла живильною водою у всіх режимах роботи блоку. Живильна установка складається з : трьох живильних електронасосів, два з яких є робочими, а один – резервним, при роботі блоків на номінальному навантаженні. Забор живильної води насосами здійснюється із деаератора.

Із усіх механізмів допоміжного обладнання турбоустановки живильні насоси являються найбільш відповідальними та складними агрегатами.

Живильна вода із деаератора бустерними насосами підводиться у всмоктувальний колектор живильних насосів, створюючи підпір. Пуск блоку та доведення його навантаження до 60% від номінального здійснюється від живильного електронасосу. При подальшому навантаженні блоку вводиться в роботу живильний турбонасос, а електронасос зупиняється та вводиться в резерв.



Таким чином, живильний електронасос є пуско-резервним, а турбонасос –основним.

Регулювання продуктивності обох живильних насосів створюється зміною числа обертів насосів. На живильному турбонасосі зміна числа обертів реалізується за допомогою парової турбіни, що є приводом насосу, а на живильному електронасосі для цієї мети встановлена гідромуфта.

В основі роботи насосу ПЕ-600 стоїть синхронний двигун з застарілою системою нерегульованого електроприводу. Тому одним з вирішальних заходів є впровадження замість нерегульованого – регульованого електропривода, а саме – вентильного двигуна.

Використання ВД відкриває нові можливості в галузі пуску надпотужних синхронних машин і створення низько і високошвидкісних безредукторних регульованих приводів великої потужності.

Основною складовою частиною ВД є синхронна машина, що має більш високі енергетичні показники, ніж інші машини. Вона характеризується високим ККД, можливістю роботи з випереджальним коефіцієнтом потужності, високою надійністю внаслідок більшої величини повітряного зазору, пропорційною залежністю статичної перевантажувальної здатності від напруги живлення.

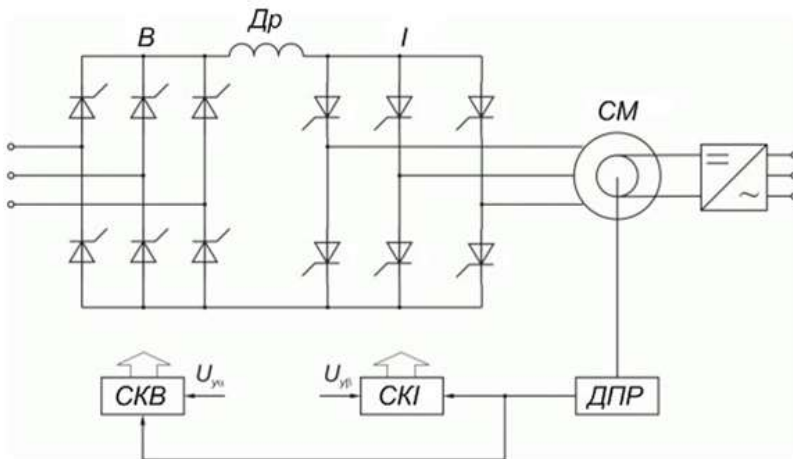
Надійність звичайного СД вище надійності будь-якої іншої машини, а за вартістю вона поступається тільки асинхронній з короткозамкненим ротором. Безконтактність СД забезпечується як звичайним способом (за допомогою безщіткових систем збудження), так і новими (застосуванням постійних магнітів на роторі, а також кіттеподібного ротора й обмотки збудження на статорі тощо ).

До перетворювачів ВД не ставиться особливих вимог щодо динамічних властивостей

тиристорів. Використання машинної комутації (за рахунок ЕРС синхронного двигуна) дозволяє підвищити граничну потужність комутатора, його надійність, спростити силові кола і систему керування, знизити вартість.

Можна виділити чотири основні елементи ВД:

- 1) Електромеханічний перетворювач (електрична машина ЕМ).
- 2) Інвертор, що виконує комутуючі функції, підключає та відключає фази електродвигуна та джерела живлення за визначеним алгоритмом. Окремо виділена у вигляді блока силова частина – К – комутатор.
- 3) Датчик положення ротора ДПР (може бути як окремий елемент ВД у тому випадку, якщо положення ротора визначається за кривою ЕРС).
- 4) Система управління ключами інвертора СУ, що обробляє сигнали з датчика положення ротора та інших датчиків



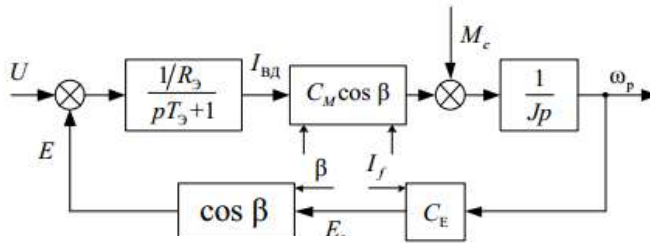
Узагальнена схема системи ВД

Істотну частину витрат енергії на власні потреби паротурбінної установки (ПТУ) припадає на привід живильного насоса. Зі зростанням початкового тиску пари питома потужність живильного насоса зростає і для енергоблоків надкритичних параметрів пари перевищує 4%. Велику роль тут відіграє економічність метода регулювання напору і продуктивності живильного насоса. Найбільш економічним є регулювання частотою обертання робочого колеса насоса. Використання "ковзного" тиску можливо лише при блоковому компонуванні обладнання. У цьому випадку початковий тиск пари зменшується за рахунок зменшення витрати живильної води і регулювання його насосом. При цьому початкова температура пари лишається постійною. При роботі на "ковзному" тиску температурний стан регулюючого ступеня практично не змінюється у всьому діапазоні зміни навантаження, тому надійність цього режиму для турбіни вища.

Для вирішення завдання ефективного теплопостачання споживачів, у тому числі розподілу теплового навантаження між ними, в системах теплопостачання потрібно враховувати зміни в часі теплових навантажень об'єктів промислового та житлового призначення, велику інерційність систем централізованого теплопостачання, необхідність транспортування теплової енергії за розгалуженим і протяжним тепловим мережам. Утруднення також викликає різноманітність теплових навантажень, підключених до мереж теплопостачання споживачів: опалення та гаряче водопостачання. Ці види теплових навантажень змінюються за різними сезонним і добовим графіками, є сезонними і залежать від температури зовнішнього повітря, збільшуючись при зниженні та зменшуючись при підвищенні температури зовнішнього повітря. Навантаження на гаряче водопостачання має

значну добову нерівномірність.

Одним з перспективних напрямків розвитку теплопостачання є вдосконалення технологій регулювання теплового навантаження шляхом переходу до низькотемпературного теплопостачання, кількісному і якісно-кількісному регулюванню. [1]



Лінеаризована структурна схема ВД

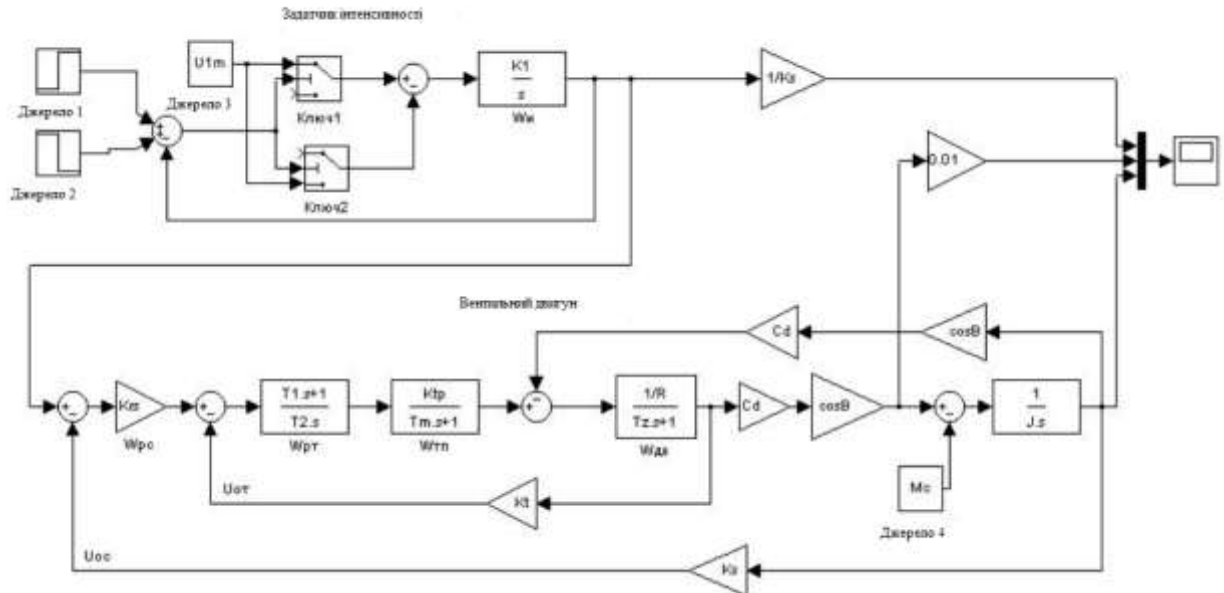


Схема моделі замкненої САР ВД в середовищі MATLAB

В універсальному інтегрованому математичному комп'ютерному середовищі

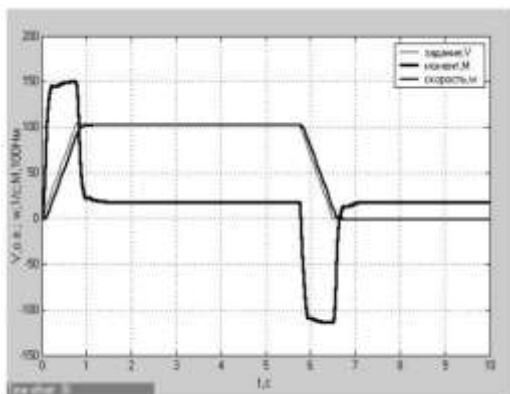
MATLAB модель ВД можна побудувати на функціональних елементах з використанням пакету моделювання динамічних систем SIMULINK. В комп'ютерну систему інтегровані текстові, формульні і графічні редактори, що дозволяє представити складні моделі та процеси з виведенням їх на друк.

Паспортні дані двигуна типа СТД-8000-2(3) УХЛ4

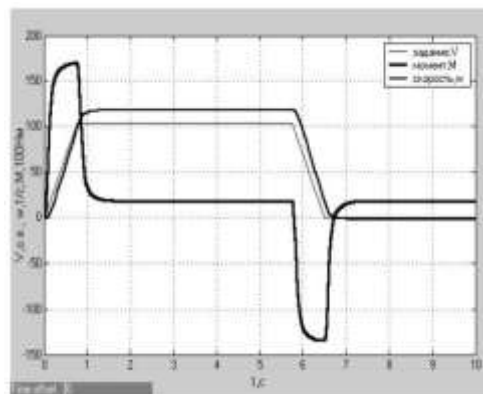
U, В	P, кВт	n, об/мин	КПД, %
6000	8000	3000	97,7

Нижче наведені графіки зміни заданної та дійсної швидкості, момента ВД: а)  $\beta = 0^\circ$  б)  $\beta = 30^\circ$ ; в)  $\beta = 60^\circ$  ,при  $M_C = M_{нi}$   $U_3 = 100\%$ ; г)  $\beta = 60^\circ$  ,при  $M_C = M_{нi}$   $U_3 = 30\%$ ,отримані в результаті комп'ютерного моделювання

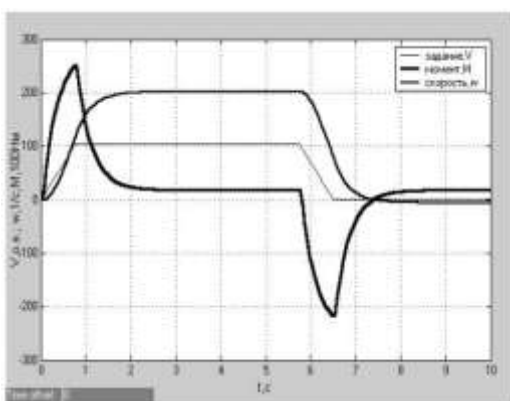




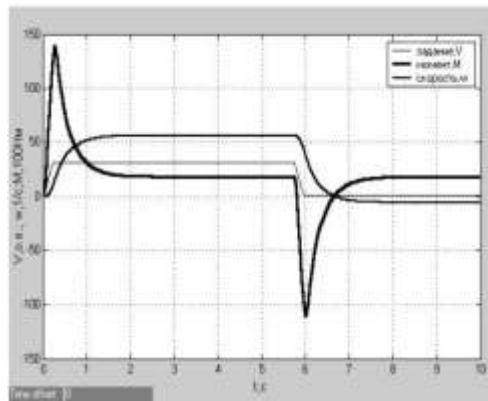
а



б



в



г

**Висновки:** Як видно з результатів моделювання, використання системи ВД дозволяє значно підвищити рівень енергоефективності енергоємних ланок енергоблоку, реалізувати всі необхідні заходи щодо підвищення якості роботи живильних насосів та системи загалом .

#### Література

1. Энергозбереження засобами промислового електропривода: Навчальний посібник / Закладний О.М., Праховник А.В., Соловей О.І. – К.: Кондор, 2005.
2. Енергоефективний електропривод з вентильним двигуном: Монографія / Закладний О.М., Закладний О.О. – К.: «Либра», 2012.
3. Вентильные электрические машины в системах регулируемых электроприводов / Аракелян А.К., Афанасьев А.А. – М.: «Высшая школа», 2006.
4. Моделирование электротехнических устройств в MATLAB. SimPowerSystems и Simulink. – М.: ДМК Пресс, 2007.
5. Шарпов В. И., Ротов П.В. Технологии регулирования систем теплоснабжения. Ульяновск: УлГТУ, 2003. - 160 с

УДК 681.5; 681.51; 681.52

**Дубовик В.Г., Лебедев Л.Н., Бычковский А.С.**  
**УСТРОЙСТВО УПРАВЛЕНИЯ КОНВЕЙЕРОМ**  
**С КОНТРОЛЕМ ЗАГРУЗКИ ЛЕНТЫ**

*Статья посвящена устройствам управления конвейером с контролем загрузки ленты. В статье представлена структурная схема устройства контроля загрузки конвейерной ленты. Проанализировано, как определяется момент интегрирования, зависимость между мощностью, потребляемой приводом ленты, и значением загрузки. Рассмотрено последовательность сигналов, что подаются с выходов блока. На основе анализа показано, как определяется количество разрядов регистров, какая зависимость момента на валу двигателя от усилия на барабане в относительных единицах. В результате анализа авторы делают выводы, почему по мере снижения производительности эффективность работы конвейера уменьшается, и какое регулирование обеспечивает привод ленты конвейера. В статье выявлено и обосновано необходимость экономии энергии при использовании регулируемого привода. Особое внимание обращено на главные достоинства новой модели устройства управления конвейером с контролем загрузки ленты, на осуществление использования преобразователя частоты для привода ленты конвейера.*

*Статья посвящена пристроям управління конвеєром з контролем завантаження стрічки. У статті представлена структурна схема пристрою контролю завантаження конвеєрної стрічки. Проаналізовано, як визначається момент інтегрування, залежність між потужністю, споживаної приводом стрічки, і значенням завантаження. Розглянуто послідовність сигналів, що подаються з виходів блоку. На основі аналізу показано, як визначається кількість розрядів регістрів, яка залежність моменту на валу двигуна від зусилля на барабані у відносних одиницях. У результаті аналізу автори роблять висновки, чому у міру зниження продуктивності ефективність роботи конвеєра зменшується, і яке регулювання забезпечує привід стрічки конвеєра. У статті виявлено та обґрунтовано необхідність економії енергії при використанні регульованого приводу. Особливу увагу звернено на головні переваги нової моделі пристрою управління конвеєром з контролем завантаження стрічки, на здійснення використання перетворювача частоти для приводу стрічки конвеєра.*

**Dubovik V.G., Lebedev L.N., Buchkivskii A.S.**

*The article is devoted to the control devices to control the conveyor belt load. In this article a block diagram of a control belt loading. Analyzed, as determined by the time of integration, the relationship between the power consumed by the drive belt, and the value of the load. Consider a sequence of signals, which are fed from the output of the unit. Based on the analysis shows how determined the number of bits of registers, what dependence shaft torque of the force on the drum in relative units. The analysis of the authors make conclusions why the lowering of the performance efficiency of the conveyor is reduced and which provides the drive control of the conveyor belt. The paper identified and justified by the need to save energy by using variable speed drive. Particular attention is drawn to the main advantages of the new model of the control device to control the conveyor belt load on the implementation of the use of the frequency converter for driving the conveyor belt.*

Большинство используемых конвейеров оснащено автоматизированными системами,

позволяющими осуществлять программирование работы, дистанционный контроль и управление конвейерами.

В известных устройствах для управления пуском конвейерной линии отсутствует возможность контролировать значения загрузки ленты конвейера при изменении заданной частоты вращения его приводного барабана для разных значений производительности [1]. На рис. 1 представлена структурная схема устройства контроля загрузки конвейерной ленты, которое имеет привод 1 ленты конвейера, соединенный с цепями трехфазного питания  $U_1$  через датчик 2 мощности, вход весов 3 конвейерных со соединен со входом блока 4 расчета пути, второй вход которого через преобразователь 5 скорости соединено с выходом датчика 6 скорости, который связан с лентой конвейера, четвертый вход привода 1 ленты конвейера соединено с выходом блока 7 управления, второй вход которого соединен с выходом первого порогового элемента 8, выход датчик 2 мощности соединен с входом блока 9 определения нагрузки, выход которого через блок 10 сравнения соединен с первым входом блока 7 управления, выход блока 4 расчета пути подключен через последовательно соединенные второй пороговый элемент 11 и формирователь 12 импульсов со входом блока 13 распределения сигналов, восемь выходов которого соединено со вторыми входами четырех регистров 14, 15, 16, 17 параллельных и четырех формирователей 18, 19, 20, 21 шинных,

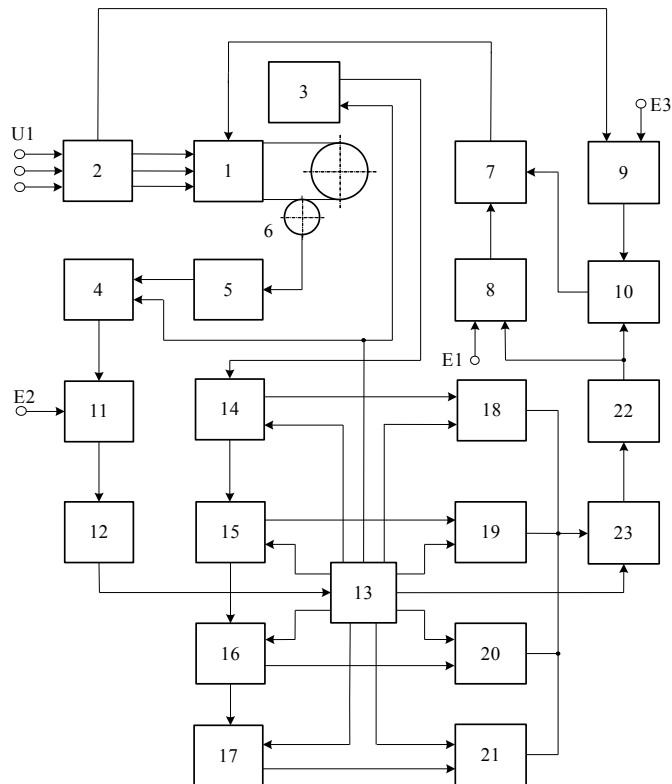


Рисунок 1. - Структурная схема устройства загрузки контроля конвейерной ленты

девятый выход соединен со входом весов 13 конвейерных и с входом блока 4 расчета пути, десятый выход соединен с цифро-аналоговым преобразователем 22 через сумматор 23, второй вход которого соединен с выходами четырех формирователей 18, 19, 20, 21 шинных, выход цифро-аналогового преобразователя 22 соединены со вторым входом блок 10 сравнения и входом первый порогового элемента 8, второй вход которого соединен с источником  $E1$  постоянного входного действия, два других источника  $E2$ ,  $E3$  сопряжено со вторыми входами, соответственно, второго порогового элемента 11, блока 9 определения нагрузки, выход весов

3 конвейерных подключен с последовательно соединенными регистрами 14, 15, 16, 17 параллельными, выходы которых соединены со входами, соответственно, формирователей 18, 19, 20, 21 шинных [2].

Блок 4 расчета пути обеспечивает определение фиксированного отрезка пути  $L_0$  пройденного лентой конвейера за время между сигналами обнуления текущего значения при переменной скорости  $V$  ленты и может быть выполнен с использованием интегратора, выходной сигнал  $U_4$  которого изменяется в зависимости от скорости  $V$ , в соответствии с выражением

$$L_0 = \int_{t_1}^{t_2} V dt, \text{ или } U_4 = \int_{t_1}^{t_2} U_5 dt.$$

Момент  $t_2$  интегрирования определяется при достижении сигналом  $U_4$  значение  $E_2$  в пороговом элементе 11 и подачей сигнала обнуления на вход блока 4 от блока 13, дальше начинается новый цикл интегрирования с момента  $t_1$ , при котором  $U_4 = 0$ .

Блок 9 определения загрузки обеспечивает расчет загрузки  $D_{роз}$  ленты конвейера с использованием значения потребляемой мощности  $P$  по выражению

$$D_{роз} = \frac{P - P_{xx}}{k(w \pm \sin \alpha)} \quad \text{или} \quad U_9 = \frac{U_2 - U_{2xx}}{k(w \pm \sin \alpha)}$$

Между мощностью  $P$ , потребляемой приводом 1 ленты, и значением загрузки  $D_{роз}$  существует указанная зависимость с использованием значений активной мощности  $P_{xx}$ , потребляемой двигателем при отсутствии груза на конвейере; коэффициента  $k$ , характеризующего конструктивные особенности ленточного конвейера; среднего значения коэффициента  $w$  сопротивления движению ленты; угла  $\alpha$  наклона конвейера. Выходной сигнал  $U_9$  блока 9 пропорционален значению мгновенной производительностью  $D_{роз}/сек$ . Обычно мощность  $P_{xx}$  холостого хода величина постоянная для любого конвейера и устанавливается с помощью значения напряжения источника  $E_3$ . Установка угла  $\alpha$ , коэффициентов  $k$ ,  $w$  выполняются при настройке устройства, а элементы для их выполнения не показаны.

С выходов блока 13 сигналы подаются в такой последовательности: сигнал в регистр 17 для записи числа значения веса из регистра 16, сигнал в регистр 16 для записи числа значение веса из регистра 15, сигнал в регистр 15 для записи числа значение веса из регистра 14, сигнал в регистр 14 для записи числа значение веса из весов 3 конвейерных, сигнал в сумматор для его обнуления, сигнал в формирователь 21 шинный и сумматор 23 для первого слагаемого, сигнал в формирователь 20 шинный и сумматора 23 для второго слагаемого, сигнал в формирователь 19 шинный и сумматор 23 для третьего слагаемого, сигнал в формирователь 18 шинный и сумматор 23 для четвертого слагаемого, сигнал в весы 3 конвейерные для обнуления его значений и блок 4 расчета пути для обнуления исходного значения сигнала. Линии прохождения сигналов в сумматор 23 для выполнения сложения не показаны. Формирование сигналов блоком 13 заканчивается при исчезновении, отсутствии последовательности импульсов от формирователя 12 импульсов после обнуления исходных значений блока 4 и переключения выхода порогового элемента 11 в нулевой исходный уровень.

Регистры 14, 15, 16, 17 параллельные, обеспечивают запоминание цифровой информации по результатам взвешивания груза на ленте конвейера на четырех единичных фиксированных отрезках  $L_0$  ее рабочей длины, которые определяются блоком 4. Количество разрядов регистров определяется разрядностью цифрового выходного сигнала весов 3 конвейерных. При двоичной записи максимальное число значения загрузки  $D$  при восьми

разрядах регистра может быть определено по выражению  $D = 2^n - 1$ ,  $n$  - число разрядов. Управление регистрами 14, 15, 16, 17 параллельными осуществляется сигналами блока 13 распределения сигналов. Количество регистров может быть изменено и равно количеству фиксированных отрезков пути, длина каждого пропорциональна значению  $E2$ . При длине  $L$  грузовой части конвейера, значение фиксированного отрезка пути  $L_0$  измерения загрузки ленты весами 3 конвейерными определяется по формуле  $L_0 = L / N$ , при четырех регистрах параллельных  $N = 4$ . С увеличением числа  $N$  регистров параллельных уменьшается транспортное запаздывание в обратной связи по значению загрузки ленты, а точность регулирования по заданному параметру увеличивается.

Движение ленты конвейера обеспечивается приводным барабаном от электродвигателя через редуктор. Момент  $M$  на валу приводного двигателя конвейера  $M = FR / (i_p \eta_p)$ , где  $F$  - усилие на приводном барабане.

$$F = F_{x.x} + F_T$$

$F_{x.x}$  - усилие, затрачиваемое на перемещение только ленты конвейера;  $F_T$  - усилие, необходимое на перемещение груза;  $R$  - радиус приводного барабана;  $i_p$  - передаточное отношение редуктора;  $\eta_p$  - КПД редуктора.

При отсутствии груза на ленте конвейера, двигатель создает момент холостого хода

$$M_{x.x} = F_{x.x} R / i_p \eta_{p.x.x},$$

где  $\eta_{p.x.x}$  - КПД редуктора, соответствующий усилию  $F_{x.x}$ . [3]

Учитывая линейную зависимость сил трения от усилий, необходимых для перемещения груза, зависимость момента на валу двигателя от усилия на барабане в относительных единицах можно представить следующим образом

$$M_* = M_{x.x*} + (1 - M_{x.x*}) F_{Г*}, \text{ где } M_* = M / M_{ном};$$

$$M_{x.x*} = M_{x.x} / M_{ном}; F_{Г*} = F_{Г} / F_{Г.ном}$$

$M_{ном}$  - номинальный момент на валу двигателя, необходимый для перемещения ленты и номинального груза при номинальной скорости;  $F_{Г.ном}$  - составная усилия в тянущем органе конвейера, возникающая при перемещении только номинального полезного груза.

Составляющая тянущего усилия  $F_{Г}$  и линейная скорость перемещения конвейера определяют в относительных единицах его производительность

$$Q_* = F_{Г*} v_*, \text{ где } Q_* = Q / Q_{ном}$$

$Q_{ном}$  - номинальная производительность конвейера. При постоянной номинальной скорости конвейера  $v_* = 1$ ,  $Q_* = F_{Г*}$ , поэтому, потребляемую мощность электродвигателем, можно записать в виде

$$P_* = M_* \omega_* = M_{x.x*} + (1 - M_{x.x*}) Q_*$$

где  $P_* = P / P_{ном} = 1$ ;  $\omega_* = \omega / \omega_{ном}$ ;  $\omega = Vi_p / R$ ;

$P_{ном}$  - номинальная мощность на валу электродвигателя,

$\omega_{ном}$  - номинальная угловая скорость вала электродвигателя. [4]

Из последней формулы следует, что по мере снижения производительности эффективность работы конвейера уменьшается, поскольку возрастает относительная доля мощности, расходуемой на преодоление момента холостого хода  $M_{x.x}$ . Экономическим является режим работы конвейера с переменной линейной скоростью, что обеспечивает ту же производительность, но при постоянстве составляющей усилия  $F_{Г*} = 1$ . Угловая скорость в этом

случае должна изменяться по закону  $\omega_* = v_* = Q_*$ , которому соответствует мощность на валу двигателя

$$P_* = M_* \omega_* = [M_{x.x*} + (1 - M_{x.x*})] Q_* = Q_*$$

В этом случае мощность на валу двигателя будет меньше на величину  $\Delta P_*$

$$\Delta P_* = M_{x.x} (1 - Q_*),$$

откуда видно, что эффект от регулирования линейной скорости конвейера тем выше, чем больше момент  $M_{x.x}$  холостого хода и чем значительнее снижается его производительность  $Q_*$  [6].

Принятые обозначения  $Un^i$  - амплитуда сигнала на  $i$ -м выходе  $n$ -го блока.

После подачи питания  $U_1$  на устройство производится обнуление значений весов 3, блока 4 расчета пути, а также всех узлов, связанных с выходами блока 13 распределения сигналов, подаётся питание на привод 1 ленты конвейера через датчик 2 мощности. Элементы и цепи для обнуления после подачи питания не показаны. Устройство готово для работы, аппараты для коммутации питания не приведены. При этом на выходе датчика скорости 6 сигналы равны нулю. После подачи сигнала управления от блока 7 лента конвейера разгоняется до заданной скорости, измеряемой датчиком 6 скоростей. Сигнал  $U_6$  подается на преобразователь 5 скорости, а дальше на блок 4 расчета пути. Выходной сигнал  $U_4$  изменяется в соответствии с зависимостью

$$U_4 = \int_{t_1}^{t_2} U_5 dt.$$

При увеличении значения сигнала  $U_4$  до уровня  $E_2$  на выходе порогового элемента 11 устанавливается логическая единица в соответствии с характеристикой

$$U_{11} = \begin{cases} 0, & \text{при } U_4 < E_2 \\ 1, & \text{при } U_4 \geq E_2. \end{cases}$$

Формирователь 12 импульсов формирует выходную последовательность импульсов, которая подаётся на блок 13 распределения сигналов, который обеспечивает режимы работы регистров 14-17 параллельных, формирователей 18-21 шинных, веса 3 конвейерной, блока 4 определения пути и сумматора 23.

Материал, который подается на грузовую часть ленты перемещается на весовой участок на котором нагрузка материала воспринимается грузоизмерителем и превращается тензодатчиком в цифровой электрический сигнал. Кроме того, с выхода датчика 2 мощности подается сигнал  $U_2$ , пропорциональный активной мощности, потребляемой приводом 1 ленты конвейера на блок 9 определения нагрузки, который определяет загрузку ленты конвейера.

Выходной сигнал  $U_9$  блока 9, пропорциональный расчетному значению загрузки ленты конвейера, подается на первый вход блока 10 сравнения, а на его второй вход - от цифро-аналогового преобразователя 22 сигнал, пропорциональный загрузке  $D$  ленты конвейера в результате определения весами 3 конвейерными на каждом отрезке  $L_0$ . На выходе блока 10 сравнения сигнал  $U_{10}$  изменяется в зависимости от алгебраической разности сигналов на выходе блоков 9 и 22. Знак и амплитуда выходного сигнала  $U_{10} = U_9 - U_{22}$  определяют параметры сигнала управления приводом 1 ленты, который подается через блок 7 управления.

При уменьшении загрузки  $D$  ленты конвейера сигнал  $U_{22}$  уменьшается, поэтому  $U_{10}$  при этом увеличивается, что приводит к уменьшению сигнала  $U_7$ , вследствие чего уменьшается скорость ленты конвейера, что ведет к увеличению ее загрузки. При увеличении загрузки  $D$  ленты конвейера сигнал  $U_{22}$  увеличивается и если он превышает значение уровня

$E_1$ , то на выходе порогового элемента 8 устанавливается логическая единица в соответствии с характеристики

$$U_{11} = \begin{cases} 0, \text{ при } U_{22} < E_1 \\ 1, \text{ при } U_{22} > E_1. \end{cases}$$

Сигнал  $U_8$  подается на второй вход блока 7 управления уровня логической единицы, что приводит к подаче с его выхода сигнала на увеличение скорости ленты конвейера, а также подачи звукового или светового сигнала.

Поскольку регулирование скорости обеспечивает равномерную загрузку конвейера, то сопротивление движению практически постоянно. И так, привод ленты конвейера обеспечивает регулирование скорости движения ленты при постоянном моменте на его валу, т.е. при постоянном натяжении ленты независимо от диапазона регулирования скорости, что увеличивает срок ее службы. Это важно, поскольку стоимость ленты конвейера составляет от 30 до 60% стоимости всей конвейерной установки в зависимости от длины транспортировки.

По мере перемещения ленты конвейера с грузом от места загрузки до места выгрузки проходит переписывание значений веса груза на каждом отрезке пути  $L_0$  из регистра 14 в регистр 15, далее из регистра 15 в регистр 16, далее из регистра 16 в регистр 17. После каждого взвешивания такое перемещение и перезапись продолжаются. Общая загрузка ленты в виде четырех взвешиваний по количеству регистров всегда присутствует в сумматоре 23 после суммирования четырех составляющих на его входе. Время выполнения операций управления, которые подаются в виде сигналов с блока 13 распределения сигналов, не превышают долей миллисекунды и связано с быстроедействием выбранной элементной базы электронных компонентов устройства. Для остановки ленты конвейера подается сигнал с блока 7 управления. Элементы и цепи для оперативной остановки ленты конвейера с помощью кабель-тросовых выключателей не показаны.

Экономия энергии при использовании регулируемого привода тем выше, чем ниже степень загрузка конвейера. Использование преобразователя частоты для привода 1 ленты конвейера позволяет осуществлять плавный пуск конвейера без перегрузок двигателя, плавно регулировать скорость ленты при изменении загрузки, увеличить межремонтные периоды механической части в 1,3 - 1,5 раз, снизить эксплуатационные расходы на обслуживание конвейера на 30-50%, существенно снизить потребление электроэнергии электроприводом конвейера [5].

Это также позволяет не допустить повышения перегрузки ленты конвейера при его работе и своевременно изменять режим работы путем изменения скорости привода, позволяет также изменять порог срабатывания устройства, имеет простую конструкцию и повышенную надежность при эксплуатации, а также снижает затраты на его обслуживание, уменьшаются расходы электроэнергии за счет уменьшения примерно в два раза время работы конвейера холостую, уменьшаются затраты материала ленты, так как при работе с некоторой средней производительностью при недогруженной ленте осуществляется излишнее количество пробегов, что сокращает ее срок службы, а недогрузка асинхронных двигателей электроприводов конвейеров ухудшает энергетические показатели из-за снижения коэффициента мощности  $\cos\varphi$ .

Устройство обеспечивает отключение конвейера при технологической перегрузке ленты вне зависимости от скорости ее перемещения. При работе устройства используются источники  $E_1$ ,  $E_2$ ,  $E_3$  постоянного входного действия, что позволяет просто делать его настройки на конкретное значение загрузки ленты конвейера, пропорциональное номинальной с помощью  $E_1$ , длины фиксированного отрезка пути следования ленты для выполнения взвешивания, с помощью значения  $E_2$ , мощности  $P_{xx}$  холостого хода с помощью

значення  $E_3$ .

### ЛИТЕРАТУРА

1. Автоматизация виробничих процесів у гірничій промисловості: Навч. посіб. для проф.-техн. навч. закл. /В. С. Лісовський, О. М. Закладний, М. Г. Борисюк та ін. — К.:Факт, 2001. — 164 с.: іл. с. 34 – 47.
2. Патент України на корисну модель №70523 від 11.06.2012 р. Дубовик В.Г., Лебедев Л.М., Бояринцев Я.І. Пристрій керування конвеєром з контролем завантаження стрічки МПК В65G 43/00. Бюлетень "Промислова власність", №11, 2012 р.
3. Технические средства автоматизации в горной промышленности: Учебное пособие / Груба В.И., Никулин Э.К., Оголобченко А.С. Под общей редакцией Грубы В.И. -Киев: ИСМО,1998.-373с.
4. Автоматизация конвейерного транспорта на угольных шахтах/ Лазукин Н.Я., Травкин Е.К. и др.-М.: ЦНИЭИуголь, 1975.-55с.
5. Ленточные конвейеры в горной промышленности / В.А. Дьяконов, Л.Г. Шахмейстер, В.Г. Дмитриев и др. - Москва: Недра, 1982.-350с.



В.М. Чермалых, Л.В. Торопова, А.В. Торопов

## ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ АСИНХРОНИЗИРОВАННЫХ ВЕНТИЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ С ВОЗБУЖДЕНИЕМ ПЕРЕМЕННЫМ ТОКОМ С ПОМОЩЬЮ СИСТЕМ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

*Предложен подход по параметрической оптимизации системы управления асинхронными электродвигателями с возбуждением переменным током. Представлен сравнительный анализ полученных результатов цифрового моделирования с параметрами регулятора скорости, выбранных по методу Циглера – Николса и при использовании систем автоматизированного проектирования.*

*Ключевые слова: асинхронизированный вентильный двигатель, параметрическая оптимизация, автоматизированное проектирование, MATLAB, метод Циглера – Николса.*

*Запропоновано підхід до параметричної оптимізації системи управління асинхронними електродвигунами зі збудженням змінним струмом. Представлено порівняльний аналіз отриманих результатів цифрового моделювання з параметрами регулятора швидкості, вибраних за методом Циглера - Ніколса і при використанні систем автоматизованого проектування.*

*Ключові слова: асинхронизованний вентильний двигун, параметрична оптимізація, автоматизоване проектування, MATLAB, метод Циглера - Ніколса.*

*The approach to parametric optimization of control system of the asynchronous motors with AC excitation is proposed. A comparative analysis of the results obtained using the speed regulator parameters, choosed by Ziegler - Nichols method and using of CAE.*

*Keywords: double-fed inverter motor, parametric optimization, CAE, MATLAB, method of Ziegler - Nichols.*

### Введение

В настоящее время актуальной проблемой является модернизация существующих электромеханических систем шахтных подъемных установок (ШПУ). Обстоятельства развития ШПУ сложились так, что большая часть отечественных установок мощностью 1000–1250 кВт оснащены асинхронным двигателем с фазным ротором, регулирование скорости которого производится ступенчатым изменением сопротивления роторного реостата на металлических резисторах. В угольной промышленности постсоветского пространства эксплуатируются около 4000 шахтных подъемных установок, и 90% из них имеют такой асинхронный привод, не отвечающий современным требованиям по энергоэффективности и точности.

Для повышения регулировочных характеристик требуется разработка новых принципов управления электромеханическими преобразователями. С развитием теории машин двойного питания, управляемых от современных преобразователей частоты, все чаще находит применение энергоэффективный вентильный двигатель, получивший название асинхронизированный вентильный двигатель [1].

АВД представляет из себя машинно-вентильный комплекс на основе асинхронного двигателя с фазным ротором. (рис.1).

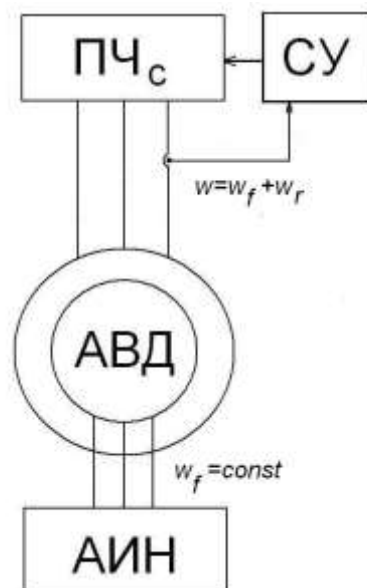


Рис.1. Структурная схема асинхронизированного вентиляционного двигателя

На рис.1 введены следующие обозначения АИН – автономный инвертор напряжения, СУ – система управления, ПЧс – преобразователь частоты специального исполнения,  $w_f$  – скорость вращения поля возбуждения низкой частоты,  $w_r$  – скорость вращения поля, наведенного в роторе,  $w$  – скорость вращения ротора.

Отличительная особенность *АВД* заключается в том, что обмотка возбуждения питается трехфазным переменным током низкой фиксированной частоты и тем самым создается вращающееся магнитное поле уже при неподвижном роторе. Питание со стороны якоря осуществляется от преобразователя частоты, инверторное звено которого является ведомым сетью якорной обмотки [2].

АВД используются в основном в приводах средней и большой мощности из-за высоких энергетических показателей. Это приводит к тому, что исследование статических и динамических характеристик АВД, а также настройка контуров регулирования координат электропривода становится сложной задачей. Несмотря на развитие теории управления, в большинстве случаев для обеспечения удовлетворительного качества регулирования используется параметрическая коррекция традиционных регуляторов эмпирическими методами. Это приводит к необходимости проверки полученных алгоритмов управления на реальном объекте, что для машин большой мощности приводит к недопустимым энергетическим затратам. Помимо этого, в случае неудачного выбора коэффициентов регуляторов возможно появление автоколебаний скорости, недопустимых бросков тока и прочих аварийных ситуаций. Таким образом, нахождение подхода, с помощью которого возможен выбор параметров регуляторов для АВД, обеспечивающих хорошее качество переходных процессов со снижением энергетических затрат на процесс пусконаладки, является актуальной задачей.

**Цель исследования:** Анализ возможности применения систем автоматизированного проектирования для выбора параметров регуляторов для систем АВД.

**Результаты исследования:** Одним из подходов к решению данной проблемы является использование цифрового моделирования с применением математических программ. В настоящее время часто используют математический пакет MATLAB и его приложение Simulink. Его несомненным преимуществом является возможность не только исследования

динамических характеристик, но также и выбор коэффициентов регулятора произвольного вида, то есть в данном случае MATLAB представляет собой систему автоматизированного проектирования.

В литературе для синтеза регуляторов переменных состояний двигателя предлагается использование блоков, заложенных в библиотеке SimPowerSystems. Такой подход упрощает задачу преобразования токов и напряжений в различных системах координат двигателя, однако не дает представления о физических процессах в двигателе [3].

С целью более полного анализа системы АД целесообразно использовать математические модели в виде системы дифференциальных уравнений в во вращающейся системы координат ротора [4]. В этом случае становится возможной не только параметрическая коррекция регулятора, а также и выбор его структуры. Математическая модель электрической части АД при управлении как со стороны статора, так и со стороны ротора имеет вид:

$$\begin{aligned} \Psi_r &= L_0 \{ i_{sd} + (1 + \sigma_r) i_{rd} \}; \\ U_{rd} &= R_r i_{rd} + \frac{d\Psi_r}{dt}; \\ U_{sd} &= R_s i_{sd} + \sigma L_s \frac{di_{sd}}{dt} - \sigma L_s \omega_{mr} i_{sq} + \frac{1}{1 + \sigma_r} \cdot \frac{d\Psi_r}{dt}; \\ U_{sq} &= R_s i_{sq} + \sigma L_s \frac{di_{sq}}{dt} + \sigma L_s \omega_{mr} i_{sq} + \omega_{mr} \frac{\Psi_r}{1 + \sigma_r}; \\ M &= \frac{p}{3} i_{sq} \frac{\Psi_r}{1 + \sigma_r}, \end{aligned} \quad (1)$$

где  $\Psi_r$  - потокосцепление со стороны ротора;  $L_0$  - взаимоиנדукция;  $\sigma_r$  - коэффициент утечки в роторе;  $\sigma$  - коэффициент утечки;  $R_r$  - активное сопротивление ротора;  $L_s$  - индуктивность статора;  $p$  - число пар полюсов;  $i_{sd}, i_{sq}$  - составляющие токов статора;  $\omega_{mr}$  - скорость вращения ротора;  $U_{rd}, U_{sq}, U_{sd}$  - управляющие напряжения.

Составляющая  $i_{rq}$  в формировании тока, создающего момент, не участвует, поэтому при регулировании ее стремятся свести к нулю. Несмотря на представленное упрощение, с учетом основного уравнения динамики, описывающего механическую часть электропривода, математическая модель АД описывается нелинейной системой дифференциальных уравнений четвертого порядка. Это делает практически нереализуемой процедуру классической настройки регуляторов составляющих токов статора и ротора, потокосцепления и скорости классическим методом последовательной коррекции. В этом случае целесообразно использование блоков автоматического определения параметров корректирующих звеньев, при которых обеспечивается заданное качество переходных процессов. Одним из таких блоков является SignalConstraint, позволяющий вести коррекцию регуляторов с произвольным числом настраиваемых параметров для существенно нелинейных объектов управления [5].

При использовании этого блока осуществляется последовательная настройка контуров регулирования параметров АД, а именно потокосцепления, тока статора и скорости двигателя. Следует отметить, что наиболее опасные аварийные ситуации возможны при неправильной настройке регулятора скорости, так как в этом случае возможны не только перегревы инверторов преобразователей частоты, но также и появление резонанса в механике, колебания в трансмиссии. Помимо этого, именно для контура скорости наиболее актуальной

является задача параметрической оптимизации, после которой ввод в эксплуатацию оборудования пройдет без аварийных ситуаций с незначительными коррекциями под конкретные режимы работы.

Для исследования возможности использования блока SignalConstraint системы автоматизированного проектирования MATLAB при выборе параметров системы управления электродвигателя с возбуждением переменным током было проведено цифровое моделирование. При этом использовались параметры двигателя мощностью асинхронного электродвигателя с фазным ротором мощностью 110кВт и номинальной скоростью вращения 157 рад/с. Графики переходных процессов при использовании регуляторов, настроенных методом Циглера –Николса, и с помощью системы автоматизированного проектирования MATLAB представлены на рис.2.

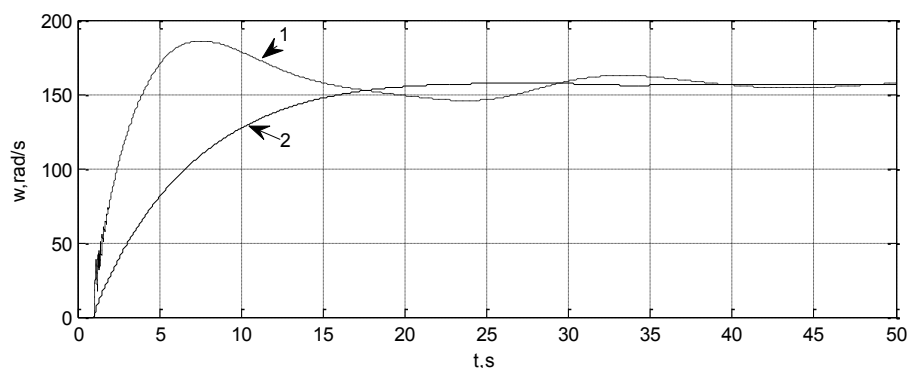


Рисунок 2 – Графики переходного процесса по скорости при использовании метода Циглера – Николса (кривая 1) и при использовании параметрической настройки в MATLAB (кривая 2).

**Выводы.** В результате проведенного исследования можно отметить, что использование систем автоматизированного проектирования с функцией параметрической настройки регуляторов позволяет обеспечить работоспособность системы АД при первом запуске. Дальнейшее развитие предложенного метода возможно путем применения сложных алгоритмов управления, компенсирующего влияние нелинейностей объекта управления.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Альтшуллер М. И. Регулируемый электропривод с вентильным двигателем для погружных насосов нефтяных скважин / М. И. Альтшуллер, Б. В. Аристов, Б. В. Афанасьев и др. // Электротехника, № 2, 2001. - С. 20 - 24.
2. Сонин Ю.П. Асинхронизированный вентильный двигатель / Ю.П. Сонин, И.В. Гуляев. - Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 1998. – 68 с.
3. Poddar G. Direct torque and frequency control of double-inverter-fed slip-ring induction motor drive / G. Poddar, V. Ranganatham // IEEE Transactions on industrial electronics. – 2004. – Vol. 51. – Iss. 6. – PP. 1329–1337.
4. Poddar G. Sensorless field-oriented control for double-inverter-fed wound-rotor induction motor drive/G.Poddar, V.T.Ranganatham//IEEE Transactions on industrial electronics. - 2004. - vol.51, NO.5. – p. 412-419.
5. Торопов А.В. Оптимизация контура стабилизации мощности резания роторного экскаватора с применением систем автоматизированного проектирования /А.В. Торопов, Т.Ю. Зубчевский// Матеріали науково-технічної конференції ІЕЕ НТУУ «КПІ» «Енергетика. Екологія. Людина». Київ: НТУУ «КПІ», ІЕЕ, 2012. – с.58-63.

УДК 658.512

Дубовик В.Г., Лебедев Л.М., Сидоренко А.С.

**ТРИФАЗНА УСТАНОВКА ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ ТРУБ ВІД АСФАЛЬТОСМОЛОПАРАФІНОВИХ ВІДКЛАДЕНЬ**

*Запропонована трифазна установка для очищення труб від асфальтосмолопарафінових відкладень, яка може бути використана для очищення труб нафтового сортаменту від асфальтосмолопарафінових відкладень.*

**Ключові слова:** трифазна установка, очищення труб, асфальтосмолопарафінові відкладення.

**ТРЕХФАЗНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ОЧИСТКИ ТРУБ ОТ АСФАЛЬТОСМОЛОПАРАФИНОВИХ ОТЛОЖЕНИЙ**

*Предложена трехфазная установка для очистки труб от асфальтосмолопарафиновых отложений, которая может быть использована для очистки труб нефтяного сортамента от асфальтосмолопарафиновых отложений.*

**Ключевые слова:** трехфазная установка, очистка труб, асфальтосмолопарафиновые отложения.

**THERE IS THREE-PHASE FLUIDIZER CLEANING OF PIPES FROM ASFAL'TOSMOLOPARAFINOVIKH OF DEPOSITS**

*Three-phase installation for cleaning of pipes of asfaltosmoloparafinovy deposits which can be used for cleaning of pipes of an oil assortment of asfaltosmoloparafinovy deposits is offered.*

**Key words:** three-phase installation, cleaning of pipes, asfaltosmoloparafinovy deposits.

**Вступ:** Винахід відноситься до нафтогазовидобувної промисловості і може бути використаний для очищення труб нафтового сортаменту від асфальтосмолопарафінових відкладень.

Відомий пристрій для очищення труб від асфальтосмолопарафінових відкладень, що містить корпус у вигляді теплоізолюваної труби, приєднаний до джерела живлення електронагрівач у вигляді індуктора [1]. Прогрів частини труби, що підлягає очищенню, в районі розташування індуктора ускладнює очищення труб з великою кількістю асфальтосмолопарафінових відкладень.

Найбільш близьким до того, що заявляється є трифазна установка для очищення труб від асфальтосмолопарафінових відкладень [2], що містить обмотки індуктора, підключені до мережі змінного струму через напівпровідниковий перетворювач, вхід управління яким сполучений з термодатчиком розташованим в контрольованій точці поверхні, що нагрівається, порожнистий теплоізолюваний корпус в який вводять трубу що піддається очищенню. Обмотки індуктора, що охоплюють корпус електронагрівача розташовані по всій довжині корпусу, мають великі габарити та масу активних матеріалів.

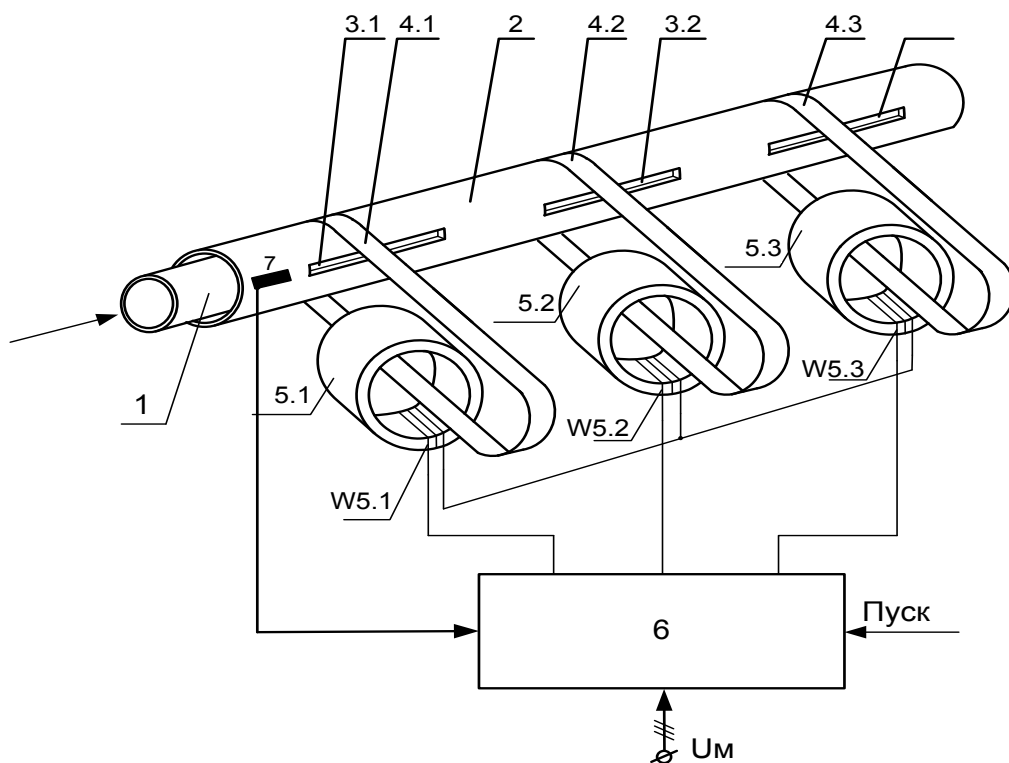
**Завдання та мета дослідження:** Технічною задачею, покладеною в основу винаходу, є одночасне очищення труб по всій їх довжині шляхом електронагріву теплоізолюваного корпусу в якому розташовують труби з відкладеннями, розплавлення тонкого шару асфальтосмолопарафінових відкладень для змашування стінок та видалення не встигнутих розплавитися відкладень за допомогою гравітаційних або зовнішніх сил.

Для вирішення технічної задачі трифазна установка для очищення труб від асфальтосмолопарафінових відкладень, що містить обмотки індуктора, підключені до мережі змінного струму через напівпровідниковий перетворювач, вхід управління яким сполучений з термодатчиком розташованим в контрольованій точці поверхні, що нагрівається,

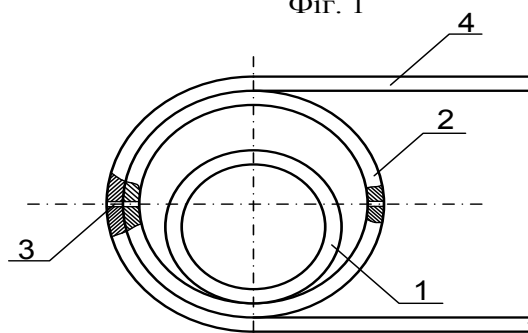
порожнистий теплоізолюваний корпус в який вводять трубу що піддається очищенню, відрізняється тим, що в якості корпуса використана теплоізолювана порожниста труба із струмопровідного матеріалу, розділена на три секції за допомогою трьох двосторонніх бокових подовжніх прорізів, з відстанню до кінців труб та між прорізами не менше ніж 1,57 радіусу струмопровідної труби, по середині трьох секцій утворених двосторонніми боковими подовжніми прорізами приварені багатшарові електричні перемички, з еквівалентним перетином не меншим еквівалентного перетину стінок струмопровідної труби, кожна з багатшарових електричних перемичок пропущена через вікно відповідного магнітопроводу охваченого обмоткою, виходи обмоток магнітопроводів з'єднані за схемою «зірка» а входи підключені до виходу напівпровідникового перетворювача частоти та напруги, перетворювач частоти підключено до мережі змінного струму промислової частоти, термодатчик встановлений на поверхні струмопровідної труби підключений до одного входу управління напівпровідникового перетворювача частоти, сигнал «ПУСК» - до другого [3]

**Результати дослідження:** Причинно-наслідковий зв'язок між сукупністю істотних ознак і результатом, що досягається, наступний. Наявність нагрівача у вигляді порожнистої струмопровідної труби що поділена на три секції за допомогою трьох подовжніх бокових прорізів з обох боків і багатшарових електричних перемичок дозволяє вести одночасний рівномірний нагрів усієї струмопровідної труби за допомогою трьохфазної мережі живлення. Наявність трьох магнітопроводів дозволяє підвищити питому вагу напруги на одиницю довжини струмопровідної труби і тим самим максимальну температуру струмопровідної труби а також зменшити час виходу установки на задану температуру. Одночасне прогрівання труб, що піддаються очищенню, дозволяє зменшити загальний час очищення, теплові і електричні витрати. Нагрів струмопровідної труби ведеться за допомогою трьох однофазних трансформаторів, обмотки яких охоплюють відповідні магнітопроводи. Вторинні ланцюги трьох однофазних трансформаторів утворені секціями струмопровідної труби і багатшаровими електричними перемичками. Трансформатор промислової частоти, має великі габарити і вагу. При переміщенні установки з важким і досить габаритним трьохфазним трансформатором промислової частоти, як правило, порушується ізоляція обмоток. Для зниження масо габаритних показників підвищують частоту мережі живлення трьохфазної трансформаторної групи за допомогою напівпровідникового перетворювача частоти. Напівпровідниковий перетворювач підвищеної частоти виконує декілька функцій. Перша функція – це зниження масогабаритних показників магнітопроводу за рахунок підвищеної частоти. Друга – це можливість зниження  $W_1$  кількості витків первинних обмоток трансформаторів при підвищенні частоти. За рахунок цього збільшуються напруги вторинних одновиткових контурів  $U_2 = U_1(W_2/W_1)$ , де  $U_1$  і  $U_2$ ,  $W_1$  и  $W_2$  – напруга і кількість витків первинних та вторинних контурів одновиткових трансформаторів. Оскільки кількість витків вторинного кола одновиткових трансформаторів дорівнює  $W_2 = 1$ , то при зменшенні  $W_1$  величина  $U_2$  зростає. Чим більше напруга, що індукується у вторинному контурі, тим більше струм у вторинному контурі та менше час виходу установки на задану температуру. Третя функція перетворювача - це регулювання напруги на виході напівпровідникового перетворювача для підтримання температури на заданому рівні.

На фіг. 1 показана схема трьохфазної установки для очищення труб від асфальтосмолопарафінових відкладень. На фіг 2 представлено вид А з кінця труби.



Фіг. 1



Фіг. 2.

Трифазний пристрій очищення труб 1 від асфальтосмолопарафінових відкладень містить теплоізольовану порожнисту струмопровідну трубу 2 з трьома двосторонніми подовжніми прорізами 3.1, 3.2, 3.3. Посередині секцій струмопровідної труби 2 утворених подовжніми прорізами 3.1, 3.2, 3.3 приварені багатошарові електричні перемички 4.1, 4.2, 4.3, що ділять струмопровідну трубу на три секції. Багатошарові електричні перемички 4.1, 4.2, 4.3 пропущені через вікна магнітопроводів 5.1, 5.2, 5.3 охоплених обмотками  $W_{5.1}$ ,  $W_{5.2}$ ,  $W_{5.3}$ . Виходи обмоток магнітопроводів 5.1, 5.2, 5.3 з'єднані за схемою «зірка», входи - підключені до виходу перетворювача частоти 6. Перетворювач частоти і напруги 6 підключений до мережі змінного струму промислової частоти  $U_M$ . До входу блоку управління перетворювача частоти 6 підключено термодатчик 7, розташований на поверхні струмопровідної труби 2. Струмопровідна труба 2 укрита шаром теплоізоляції який на фіг. 1, фіг. 2 не показаний.

Працює пристрій таким чином. У алюмінієвій трубці 2, наприклад, від зрошувальної системи, роблять з обох боків по три двосторонні подовжні бокові прорізи 3.1, 3.2, 3.3, не

доводячи їх між собою та до кінців труби на відстань не меншу 1,57 її радіусу. Таким чином підтримують еквівалентний переріз токопровідних секцій незмінним. Багатошарову електричну перемичку 4 виготовляють з декількох шарів від стінок такої ж труби і приварюють їх посередині секцій струмопровідної труби, заздалегідь пропустив багатошарові електричні перемички 4 через вікна магнітопроводів 5 охоплених обмотками  $W_5$ . Паралельні шари перемичок збільшують їх еквівалентний перетин і загальну площу поверхні, до якої витісняється струм, зменшуючи тим самим омичний опір і, відповідно - температуру їх нагріву. Обмотки магнітопроводів 5 (первинні обмотки однофазних трансформаторів) з'єднують у трифазну групу. У якості вторинних обмоток використовують секції струмопровідної труби та багатошарові електричні перемички. Перемички, приварені посередині прорізу знизу та зверху над прорізами кожної секції струмопровідної труби, ділять її на два паралельних одновиткових кола які й виконують роль вторинних обмоток трансформаторів. Закріплюють струмопровідні труби так, щоб подовжні бокові прорізи 3 знаходились в горизонтальній площині. При такому розташуванні (див. фіг.2) після завантаження труб що підлягають очищенню не відбувається замикання верхніх частин секцій струмопровідної труби з нижчими через електропровідну поверхню труби що піддається очищенню. Електричний контакт труби, що піддається очищенню, з нижчими частинами секцій струмопровідної труби не порушує роботу установки. За допомогою перетворювача частоти і напруги 7 через обмотки 6 пропускають струм підвищеної частоти. Підвищена частота дозволяє істотно зменшити габарити і масу магнітопроводів. Так, підвищення частоти з 50 до 400 Гц дозволяє зменшити масогабаритні показники магнітопроводів у 4..5 разів. Стандартні перетворювачі частоти працюють, як правило, з частотами до 700 Гц.

Підвищення частоти дозволяє зменшити кількість витків первинних обмоток трансформаторів  $W_{5.1}$ ,  $W_{5.2}$ ,  $W_{5.3}$ . Напруга вторинної одновиткової обмотки  $U_2 = U_M (W_5/W_1)$ , де  $U_M$  і  $U_2$ ,  $W_5$  та  $W_2$  – напруга і кількість витків первинної і вторинної обмотки трансформатора. Оскільки  $W_2 = 1$ , то при зменшенні  $W_5$  величина  $U_2$  зростає, що підвищує напругу вторинних ланцюгів, максимальну температуру нагріву струмопровідної труби і зменшує час нагріву до заданої температури. Збільшення кількості магнітопроводів, у порівнянні з однофазною схемою, також підвищує напругу живлення вторинних ланцюгів.

Для очищення труб 1 від асфальтосмолопарафінових відкладень проводять їх співосне горизонтальне введення у струмопровідну трубу 2. Після завантаження труби, що піддається очищенню, установку переводять в положення - під кутом до горизонтальної поверхні. Після цього подають напругу на обмотки магнітопроводів через перетворювач частоти та напруги 6. У вторинних колах однофазних трансформаторів індукуються ЕРС, під дією якої по одновиткових секціях починають протікати струми. Під дією струмів стінки струмопровідної труби 2 нагріваються. Від стінок струмопровідної труби 2 тепло за рахунок теплового випромінювання та теплопередачі передається трубі 1, що піддається очищенню. Частина струмів за рахунок електричного контакту між трубами протікає по трубі що потребує очищення і також нагріває її. Далі тепло від стінок труби, що піддається очищенню, передається до асфальтосмолопарафінових відкладень.

Температуру нагріву поверхні струмопровідної труби контролюють за допомогою термодатчик 7 розташованого на поверхні струмопровідної труби. Нагрівання продовжують до заданої температури, наприклад, від 80. до 150С°, а далі підтримують її на заданому рівні за допомогою 8 перетворювача частоти і напруги 6. Здійснюють регулювання зміною величини напруги на виході напівпровідникового перетворювача.

Тонкий оплавлений шар асфальтосмолопарафінових відкладень на стінках труби, що піддається очищенню здатний служити мастилом. Завдяки цьому, під дією сили тяжіння або за допомогою зовнішніх сил більша частина відкладень виходить з труби, що піддається



очищенню, не встигнувши розплавитися. Задану температуру струмопровідної труби підтримують до видалення асфальтосмолопарафінових відкладень.

**Висновки:** Розроблена трифазна установка дозволяє вести одночасний рівномірний нагрів усієї струмопровідної труби за допомогою трьохфазної мережі живлення. Одночасне прогрівання труб, що піддаються очищенню, дозволяє зменшити загальний час очищення, теплові і електричні витрати.

#### Література

1. Патент Российской Федерации № 2169831, E21B37/00. Устройство для очистки нефтяной скважины от асфальтосмолопарафиновых отложений. Шипулин А.В.; Загривный Э.А., Кудряшов Б.Б., Соловьев Г.Н., Габдрахманов Н.Х., Мингулов Ш.Г. Оpubл. 27.06.2001.
2. Патент Российской Федерации № 437 726 С1, МПК В08В 9/00. Устройство очистки труб от асфальтосмолопарафиновых отложений. Орлов А.И., Попов И.И., Соловьев В.Г., Зелди И.П. Оpubл. 27.12.2011. Бюл. № 36.
3. Заявка України № u 2013 05244 на корисну модель від 23.04.13 р. Трифазна установка для очищення труб від асфальтосмолопарафінових відкладень. Лебедев Л.М., Дубовик В.Г., Лебедев М.М., Сидоренко А.С. МПК В08В 9/00.

УДК 647.047

Кулаковський Л.Я., Алтухов Є.І.

**РОЗРОБКА МЕТОДУ БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ РЕЖИМІВ  
СУШІННЯ ШПОНУ В ПАРОВИХ РОЛИКОВИХ СУШАРКАХ**

*У статті розроблено метод багатокритеріальної оптимізації режимів сушіння шпону, що забезпечує підвищення техніко-економічної ефективності функціонування парових роликових сушарок. Для формування математичної моделі був проведений відбір факторів, що впливають на процес сушіння шпону методом експертних оцінок, проведено активний виробничий експеримент та здійснено статичний та кореляційний аналіз результатів експерименту.*

*В статье разработан метод многокритериальной оптимизации режимов сушки шпона, который обеспечивает повышение технико-экономической эффективности функционирования паровых роликовых сушилок. Для формирования математической модели был проведен отбор факторов, влияющих на процесс сушки шпона методом экспертных оценок, проведен активный производственный эксперимент и осуществлено статический и корреляционный анализ результатов эксперимента.*

*In this article a method for multi-objective optimization of drying veneer that enhances the technical and economic efficiency of the steam roller dryers was designed. To generate a mathematical model was conducted selection factors that affect the drying of veneer by peer review, conducted an active productive experiment and performed static and correlation analysis of the experimental results.*

**Вступ.** В даний час існуючі режими сушіння шпону в парових роликових сушарках спрямовані, головним чином, на забезпечення заданої кінцевої вологості висушеного матеріалу [1]. Цей параметр являється основним якісним критерієм процесу сушки, що забезпечує отримання високосортної фанери [2]. Коливання кінцевої вологості негативно впливають на якість фанери та інших виробів зі шпону, їх фізико-механічні та експлуатаційні властивості [3].

З урахуванням виробничих умов, управляючих факторів, що впливають на процес сушіння, необхідно провести інструментами математичного аналізу синтез існуючих технологій сушки шпону з метою досягнення поставленої задачі підвищення її техніко-економічної ефективності. В оцінці собівартості процесу потрібно враховувати витрати палива для нагрівання теплоносія до заданої температури та електроенергії для роботи вузлів агрегату.

Для виявлення характеру і ступеня взаємозв'язку між вхідними параметрами, об'єктивно впливають на процес, і вихідними техніко-економічними показниками було проведено системний, аналіз процесу сушіння шпону в парових роликових сушарках.

**Викладення основного матеріалу дослідження.** Дослідження парових роликових сушарок проводилися при використанні методу експертних оцінок, суть якого полягала в опитуванні науково-технічних працівників кафедри автоматизації управління технологічними процесами (АУЕК) Київського політехнічного інституту, а також інженерів-технологів ВАТ «Оржівський деревообробний завод» (сmt. Оржів, Рівненська обл.)

За результатами проведення експертних оцінок було визначено, щорегульованими (вихідними) показниками для даного процесу є вологість матеріалу на виході із сушарки  $Y_1$ , продуктивність сушарки  $Y_2$ , збурюючими - вологість матеріалу на вході в сушарку  $F_1$ , товщина матеріалу  $F_2$ , а регулюючими (вхідними) – температура сушильного агента  $X_1$ , швидкість переміщення шпону в сушарці  $X_2$ , інтенсивність циркуляції сушильного агента  $X_3$ ,

насиченість вологою сушильного агента  $X_4$ .

Після знаходження моделі роликової сушарки було здійснено планування виробничих експериментів та проведення дослідів у умовах ТОВ "ОДЕК" Україна.

За результатами аналізу даних статистичної обробки результатів дослідження з урахуванням кореляційних зв'язків досліджуваних параметрів появилась можливість перейти до побудови математичних моделей технології сушки шпону в парових роликових сушарках.

Згідно кореляційного аналізу математичні функції цільових величин будуть мати наступний вигляд:

$$Y_1 = Y_1(X_1, X_2, X_4; F_1) \quad (1)$$

$$Y_2 = Y_2(X_1, X_2) \quad (2)$$

Функцію  $y = f(x)$  можна шукати у вигляді інтерполяційного поліному. Але інтерполяційні поліноми не завжди добре відображають характер поведінки таблично заданої функції. До того ж значення  $y_i$  дістають у результаті експерименту, а вони, як правило, сумнівні. У цьому разі задача інтерполяції таблично заданої функції втрачає сенс. Тому шукають таку функцію  $y = F(x)$ , значення якої при  $x = x_i$  досить близькі до табличних значень  $y_i$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ). Формулу  $y = F(x)$  називають емпіричною, або рівнянням регресії  $y$  на  $x$ .

Формула множинної регресії матиме вигляд:

$$Y - \bar{y} = b_1(X_1 - \bar{X}_1) + b_2(X_2 - \bar{X}_2) + \dots + b_n(X_n - \bar{X}_n), \quad (3)$$

де  $\bar{X}_n$  - вибіркове середнє арифметичне значення змінних (керованих та збурюючих впливів),  $\bar{y}$  - вибіркове середнє арифметичне значення вихідних показників,  $b_n$  - коефіцієнт регресії.

За допомогою пакету програми "Statistica 4" було знайдено рівняння множинної регресії для цільових функцій  $Y_1$  та  $Y_2$

$$Y_1 = -2,28X_1 + 1,36X_2 - 0,14X_4 + 1,54F_1 - 0,73 \quad (4)$$

$$Y_2 = 0,56 + 2,78X_1 + 1,56X_2 \quad (5)$$

У більшості випадків використання однокритерійного управління забезпечує контроль і регулювання тільки одного техніко-економічного показника, при цьому інші найчастіше залишаються на досить високому рівні. Так, недосконалість застосовуваних режимів в парових роликових сушарках у фанерному виробництві призводить до значних витрат палива та електроенергії, ризик займання висушуваного шпону.

Рішення задачі оптимізації зводиться до пошуку таких значень керуючих впливів  $X_j$  та збурюючого чинника  $F_1$ , що належать допустимій області, при яких цільові функції  $Y_j(X)$  приймають екстремальні значення.

Для оптимізації управління знаходимо екстремуми цільових функцій:

$$Y_1 = Y_1(X_1; X_2; X_4; F_1) \rightarrow \min \quad (6)$$

$$Y_2 = Y_2(X_1; X_2) \rightarrow \max \quad (7)$$

Оптимізаційна процедура реалізована методом сканування [7] для умов кожного виробничого експерименту. При цьому послідовно із заданим кроком, що не перевищує величину похибки контрольно-вимірювальної апаратури, циклічно перебиралися значення кожного з параметрів  $X_1, X_2, X_4$ . Перевагами цього методу є висока точність знаходження екстремуму і простота алгоритмів оптимізації [6]. Чисельні значення вихідних цільових функцій, визначені в ході оптимізації, повинні бути кращі за середні, отриманих в серії

виробничих експериментів: значення кінцевої вологості шпону  $3 < Y_1 < 4,7$ ; продуктивності сушарки  $Y_1 > 3,1$ . Для забезпечення пожежобезпеки є вимоги стосовно середньої (максимальної) температури агента сушіння та його вологості. Згідно [5]  $X_2 < 150$ ;  $0,25 < X_4 < 0,93$ ;  $60 < F_1 < 90$ .

З метою отримання аддитивної функції для кожної з двох функцій (4.4, 4.5) були знайдені вагові коефіцієнти методом експертних оцінок п. 2.2. Використовуючи метод зважених сум, отримана нормалізована аддитивна функція корисності, що є сукупністю цільових функцій помножених на відповідні вагові коефіцієнти [4]. Нормалізація функції проводилася за стандартною методикою [6].

$$\overline{Y_{ad}} = L_1 \overline{Y_1} - L_2 \overline{Y_2} \rightarrow \min \quad (8)$$

Тоді аддитивна функція оптимізації процесу сушіння шпону в парових роликівих сушарках матиме вигляд:

$$\overline{Y_{ad}} = 0,43 \cdot (-2,28X_1 + 1,36X_2 - 0,14X_4 + 1,54F_1 - 0,73) - 0,57 \cdot (2,56 + 1,78X_1 + 0,56X_2) \rightarrow \min \quad (9)$$

Отже, загальна цільова функція буде мати вигляд:

$$\overline{Y_{ad}} = -0,63 - 0,61X_1 - 0,31X_2 - 0,06X_4 + 0,66F_1 \rightarrow \min \quad (10)$$

та містити наступні обмеження

$$3 < -2,28X_1 + 1,36X_2 - 0,14X_3 + 1,54F_1 - 0,73 < 4,7 ;$$

$$2,56 + 1,78X_1 + 0,56X_2 > 3,1$$

$$X_2 < 145;$$

$$0,25 < X_4 < 0,93;$$

$$60 < F_1 < 90.$$

За результатами активних експериментів і виробничих спостережень, враховуючи збурюючу дію  $F_1$  багатокритерійну оптимізацію було прийнято проводити по шести інтервалах початкової вологості  $F_1$ : 65..70 %, 70..75 %, 75..80%, 80..85%, беручи з кожного інтервала середнє значення для цільової функції  $Y_{13}$  з метою набуття точніших значень параметрів дій, що управляють. Також було знайдено оптимальне значення управляємих режимних параметрів сушіння для середньоквадратичного експериментального значення збурюючого впливу  $F_1$ .

Знаходження мінімального значення цільової аддитивної функції (9) та значень змінних  $X_1, X_2, X_4$  можна провєсти методом покоординатного спуску [7].

**Висновок.** В статті був запропонований метод багатокритеріальної оптимізації, що ґрунтується на знаходженні математичної моделі процесу сушіння шпону, формування адитивної цільової функції, що задовольняє умовам максимальної продуктивності сушарки та дотримання якісних характеристик суєнки при певних збурюючих впливах. Апробація оптимальних режимів сушіння шпону в умовах сушарки RAUTE на ПАТ "ОДЕК Україна" дозволила підвищити продуктивність сушарок в середньому по серії дослідних сушок на 3,6%, питома собівартість сушіння шпону знизилася на 2,7%.

### Список літератури

1. Сафонов, А.О. Направления автоматизации сушки шпона. [Текст] / А.О. Сафонов, С.В. Сергеев // Математическое моделирование, компьютерная оптимизация технологий, параметров оборудования и систем управления. Межвузовский сборник трудов, Воронеж: ВГЛТА, - 2004. - с. 190-194
2. Сергеев, С.В. Многофакторное исследование технологии сушки шпона в газовых роликовых сушилках. [Текст] / С.В. Сергеев // Системные проблемы надежности, качества, информационных и электронных технологий Материалы Международной конференции и Российской научной школы. Часть 5. Москва: Радио и связь, - 2005. с. 73-76.
3. Рыбин, Б.М. Технология и оборудование защитно-декоративных покрытий древесины и древесных материалов [Текст] / Б.М. Рыбин - 2 изд. — М.: МГУЛ, - 2005, - 568 с.
4. Петровский, В.С. Поиск экстремума функции при заданных ограничениях. [Текст] / В.С. Петровский — Красноярск: СибТИ, Труды СибТИ — №X, - 1965:-26 с.
5. Богданов, Е. С. Справочник по сушке древесины. [Текст] / Е. С. Богданов— М.: Высшая школа, 1990. — с. 5
6. Батищев, Д.И. Методы оптимального проектирования [Текст] / Д.И. Батищев. -М.: Радио и связь, — 1984. — 248 с.
7. Петровский, В.С. Поиск экстремума функции при заданных ограничениях. [Текст] / В.С. Петровский — Красноярск: СибТИ, Труды СибТИ — №X, - 1965:-26 с.

УДК 621.926

**В.О.Поліщук, С. В. Зайченко, О.М.Соколовський  
ДИСКОВА МАШИНА ВИБОРЧОГО ДРОБЛЕННЯ**

*Розглянута нова схема сухого збагачення за тертям, яка передбачає силове відділення частин одного компоненту від іншого. Дана схема забезпечить покращення якості вугільної продукції за рахунок зменшення зольності видобутого вугілля, збільшення обсягів переробки вугілля насамперед на збагачувальних фабриках з високим технологічним рівнем.*

*Ключові слова: моделювання процес, сухе збагачення, вибіркоче дроблення.*

**ДИСКОВАЯ МАШИНА ИЗБИРАТЕЛЬНОГО ДРОБЛЕНИЯ**

*Рассмотрена новая схема сухого обогащения за трением, которая предусматривает силовое отделение частей одного компонента от другого. Данная схема обеспечит улучшение качества угольной продукции за счет уменьшения зольности добытого угля, увеличение объемов переработки угля прежде всего на обогатительных фабриках с высоким технологическим уровнем.*

*Ключевые слова: моделирование процесс, сухое обогащение, выборочное дробления.*

**APPROACHES TO DETERMINING THE TIME BRAKE SYSTEM  
WITH ELECTROMECHANICAL TYPE OF MOVE**

*We consider a new scheme for the dry processing of friction, which includes parts of the power pack in one component from another. This scheme will improve the quality of coal products by reducing the ash content of coal produced, increased processing of coal primarily to the concentrators with a high level of technology.*

*Key words: modeling process, dry concentration, selective fragmentation.*

**Вступ.** В останні роки спостерігається тенденція зниження якості видобутого вугілля за рахунок збільшення зольності і ступеня подрібнення гірської маси, тому реалізація ефективних методів сухого збагачення дрібних класів вугілля в умовах шахт особливо актуальна. Створення компактного і енергоємного обладнання машин для збагачення вугілля дозволить значно зменшити транспортні витрати при доставці на збагачувальні фабрики.

**Аналіз попередніх досліджень.** Безперервне зростання механізованого видобутку вугілля, залучення до нього тонких пластів і пластів з порушеннями веде до підвищення вмісту в гірничій масі мінеральних домішок і дрібних фракцій. Підвищена зольність енергетичного вугілля знижує ККД агрегатів які використовують пару, викликає передчасний знос деяких вузлів обладнання, сприяє забрудненню золою навколишнього середовища. Збільшення зольності коксівного вугілля приводить до підвищення витрат при їх підготовці до коксування, витрат коксу і флюсів при виробництві чавуну і зниження продуктивності доменних печей.

Для видалення з ТГК(твердих горючих копалин ) мінеральних компонентів широко використовуються різні способи збагачення, основані на використанні різниці фізичних, фізико-хімічних, а іноді і хімічних властивостей горючої маси і мінеральних включень.

Мінеральні речовини, що містяться в видобутому вугіллі, поділяються на дві основні групи. До першої групи відносять мінерали, привнесені в торф'яник на ранніх стадіях вуглеутворення, а також що виділилися в сформовані вугільні пласти з розчинів. Збагачення такого вугілля залежить від складу, частоти і потужностей порідних прошарків та дисперсності мінеральних включень.

До другої групи відносять мінеральні включення у вигляді уламків вміщаючи порід, що попали у вугілля з ґрунту і покрівлі при видобутку. Збагачення ТГК, засмічених мінеральними домішками, що попали під час видобутку, здійснюється порівняно легко.

Відомі наступні методи мокрого і сухого збагачення твердих горючих копалин [2]: гравітаційний, флотаційний, магнітний, електричний і спеціальні тощо. Кожний з цих методів включає ряд процесів, оснований на загальних фізичних або фізико-хімічних властивостях, за якими проводиться розділення матеріалу, і відмінних один від одного використанням додаткових розділяючих сил і відповідними конструкціями машин і апаратів.

Серед методів сухого збагачення гірничої маси, яка складається з компонентів, які мають різні коефіцієнти тертя, слід зазначити метод сухого збагачення за тертю [1, 2]. Запропоновані схеми методом збагачення по тертю з ряду причин не знайшли широкого застосування. Головним недоліком існуючих схем збагачення за тертю можливо вважати складність процесу взаємодії компонентів під час їх руху, і як наслідок, майже однакову траєкторію руху частин компонентів.

**Мета роботи. Вибір та обґрунтування конструктивних дискової машини виборчого дроблення, яка буде забезпечувати якісне збагачення вугілля.**

**Матеріал і результати дослідження.** Для усунення даного недоліку авторами запропонована нова схема сухого збагачення за тертям, яка передбачає силове відділення частин одного компоненту від іншого. Цей спосіб ефективний тільки при значних відмінностях компонентів, що розділяються, в коефіцієнтах тертя. Передбачається, що коефіцієнт тертя компонентів пов'язаний з показником якості. Збагачення за тертям здійснюється у дві стадії: Принцип роботи машини збагачення за тертям представлений на рисунку 1.

Машина виборчого дроблення працює таким чином. Гірська маса з живильника 2 потрапляє в простір між дисками 1, які обертаються в одну сторону. Під дією сил тертя частинка породи захоплюється дисками 1 і подрібнена потрапляє в приймальний бункер породи 4. Дія сил тертя на шматки вугілля достатньо для обертання частки і недостатньо для їх захоплення і подрібнення, в наслідок порівняно меншого значення коефіцієнта тертя вугілля порівняно з коефіцієнтом тертя породи. При цьому диски 1 розганяють і закидають частини вугілля в приймальний бункер вугілля 3.

Розглянемо процес взаємодії маси з дисками збагачувальної машини (рис. 2). У процесі обертання дисків зі швидкістю  $\omega$  відбувається захоплення гірської маси. Початок взаємодії характеризує кут  $\alpha$ . При дробленні гірської маси із середнім розміром шматка гірської породи  $\bar{a}$  досягаються контактні тиску рівні межі порочності гірської породи  $\sigma_g$ . Гірська порода прагне вийти із зони руйнування, в результаті чого з'являється тангенціальна складова  $\tau$ . Нормальна та тангенціальна складова пов'язана законом Кулона:

$$\tau = \mu p = \mu \sigma_b$$

де  $\mu$  - коефіцієнт тертя породи по поверхнях дисків збагачувальної машини.

Знайдемо необхідний момент для обертання дисків при дробленні породи шляхом розгляду елементарної частини дуги шириною  $d\alpha$  і висотою  $d$  на радіусі дроблення  $R$ . Площа елементарної частини дуги  $S_0$ :

$$S_0 = R d d\alpha$$

Момент від дії тангенціальних сил на елементарній частині дуги  $dM$  з положенням на дузі  $\alpha_x$ :

$$dM = x \tau = R \sin(\alpha_x) \mu \sigma_b R d d\alpha$$

Проінтегруємо ліву і праву частини рівняння:

$$M = -R^2 \cos(\alpha_x) \mu \sigma_b \bar{d} \Big|_{\alpha}^0 = R^2 \cos(\alpha) \mu \sigma_b \bar{d}$$

Остаточно залежність для визначення крутного моменту  $M$  та потужності  $N$  необхідних для обертання дисків збагачувальної машини урахуванням коефіцієнта заповнення камери дроблення  $k_3$ :

$$M = k_3 R^2 \cos(\alpha) \mu \sigma_b \bar{d}, \quad N = k_3 R^2 \cos(\alpha) \mu \sigma_b \bar{d} \omega.$$

**Висновки.** Отримана залежність дозволяє визначити основні енергосилові параметри дискової збагачувальної машини, ґрунтуючись на фізико-механічних властивостей гірської породи і геометричних параметрах зони дроблення

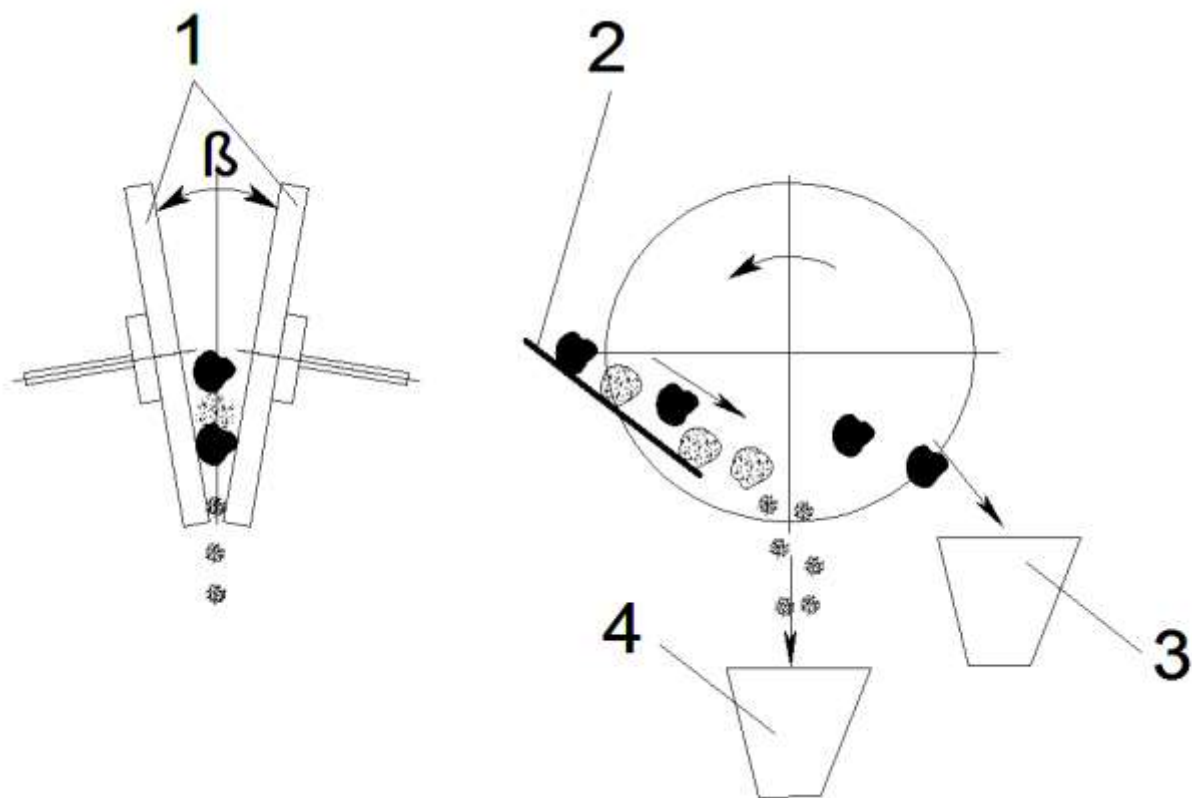


Рисунок 1 – Схема сухого збагачення за терям



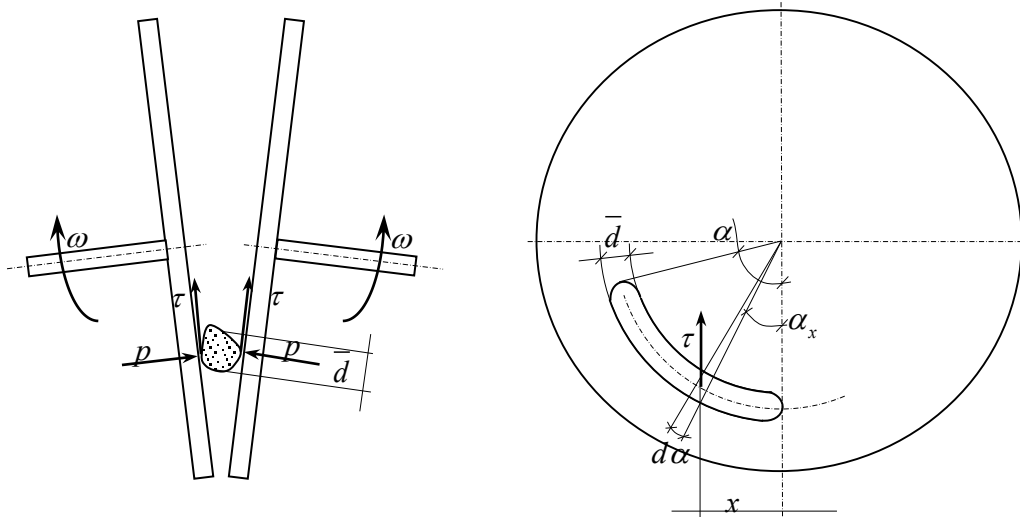


Рисунок 2 – Схема визначення взаємодії маси з дисками

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Самилін В., Білецький В. Спеціальні методи збагачення корисних копалин. - Донецьк: Східний видавничий дім, 2003. - 116 с.
2. Берг Р.О. Технология гравитационного обогащения: Пер. с англ./ Пер. Е.Д. Бачевой. - Москва: Недра, 1990.- 574 с.– 147 с.

УДК 517.9; 523.2

Городецкий В.Г., Полищук В.О., Осадчук М.П.  
**ВИЗНАЧЕННЯ РОЗМІРНОСТІ ФАЗОВОГО ПРОСТОРУ ДИНАМІЧНОЇ СИСТЕМИ  
ЗА ОДНІЄЮ СПОСТЕРЕЖНОЮ ЗМІННОЮ**

*Ключові слова: динамічна система, фазовий простір, розмірність, ламана лінія.*

Gorodetskyi V.G., Polischuk V.O., Osadchuk M.P.  
**PHASE SPACE DIMENSION ESTIMATION OF THE DYNAMICAL SYSTEM USING  
ONE OBSERVABLE VARIABLE**

*Keywords: dynamical system, phase space, dimension, polygonal line.*

Городецкий В.Г., Полищук В.Е., Осадчук Н.П.  
**ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗМЕРНОСТИ ФАЗОВОГО ПРОСТРАНСТВА ДИНАМИЧЕСКОЙ  
СИСТЕМЫ ПО ОДНОЙ НАБЛЮДАЕМОЙ ПЕРЕМЕННОЙ**

*Ключевые слова: динамическая система, фазовое пространство, размерность, ломаная линия.*

В наш час актуальною є задача визначення розмірності фазового простору за часовою послідовністю виміряних значень однієї зі змінних („спостережної“) досліджуваної системи. Для визначення розмірності фазового простору часто застосовують методи, засновані на методі найближчих хибних сусідів [1] або на методі кореляційного інтегралу [2]. Вказані методи включають суб'єктивну складову – необхідність попереднього завдання розрахункових параметрів, що наперед невідомі, та відсутність однозначних критеріїв оцінки результатів.

В [3, 4] для визначення розмірності фазового простору запропоновано використати замість гладкої фазової траєкторії ламану лінію та визначити розмірність фазового простору, за якої дана ламана не має самоперетинів.

Визначення розмірності фазового простору виконувалося наступним чином. Спочатку спостережна часова послідовність зсувалася за часом на фіксовану величину [5], що дозволило визначити координати точок у фазовому просторі. Для розмірності фазового простору  $d=2$  перебиралися усі можливі пари точок  $i, j$ , та серед них обиралися такі пари, що відрізки  $(i, i+1)$  та  $(j, j+1)$  перетиналися. Далі для кожної наступної розмірності  $d+1$  перебиралися всі пари номерів точок, що утворюють перетини за розмірності  $d$ . Пара номерів точок, якій відповідають перетини відрізків на всіх можливих двовимірних проекціях  $d$ -вимірної ламаної лінії, вважається такою, що утворює перетин за розмірності  $d$ . Найменша розмірність, за якої перетини відсутні для всіх пар точок, приймається як верхня межа розмірності фазового простору.

За допомогою запропонованого метода отримані наступні результати:

- для часових послідовностей, згенерованих змінними  $X, Y, Z$  системи Ресслера [6] при збільшенні кроку дискретизації верхня межа розмірності вкладення збільшується з 3 до 4;
- для системи Лоренца [7] отримані такі самі результати;
- для системи Маккея-Гласса [8] отримане занижене значення розмірності вкладення  $d=5$ , що пояснюється недостатньою довжиною досліджуваної часової послідовності.

Також досліджувався вплив шуму на результати метода. За наявності шумів у вихідних даних метод показує завищені результати, але зі збільшенням кроку дискретизації верхня межа розмірності фазового простору зменшується.

**Висновки:** Розглянутий метод визначення розмірності фазового простору на основі заміни фазової траєкторії ламаною лінією та визначення розмірності, за якої ламана лінія не

має самоперетинів. На відміну від методів найближчих хибних сусідів та кореляційного інтеграла метод не має суб'єктивної складової. Показано що у випадку збільшення кроку дискретизації метод дає завищені результати, але зі зменшенням кроку дискретизації результат збігається з дійсним значенням розмірності фазового простору. За наявності шумів у вихідних даних метод дає завищені результати, але зі збільшенням кроку дискретизації верхня межа розмірності фазового простору зменшується.

Запропонований метод може використовуватися як один з етапів розробки математичної моделі досліджуваної системи в формі системи звичайних диференціальних рівнянь.

#### **Перелік посилань**

1. H. Abarbanel, R. Brown, J. Sidorovich, L.S. Tsimring. The analysis of observed chaotic data in physical systems // *Rev. of Modern Phys.* – 1993. – 65, № 4. – P. 1331-1392.
2. P. Grassberger, I. Procaccia. Characterization of strange attractors // *Phys. Rev. Lett.* – 1983. – 50, № 5. – P. 2591-2593.
3. В. Г. Городецкий, Н.П. Осадчук. Самопересечения фазовых траекторий как мера размерности вложения хаотических аттракторов. Ч. 1 // *Проблемы управления и информатики.* – 2012. – № 5. – С 15-25.
4. В. Г. Городецкий, Н.П. Осадчук. Самопересечения фазовых траекторий как мера размерности вложения хаотических аттракторов. Ч. 2 // *Проблемы управления и информатики.* – 2012. – № 6. – С 5-12.
5. F. Takens. Detecting strange attractors in turbulence // in: D.A. Rand, L.S. Young (Eds.), *Dynamical System and Turbulence, Lecture Notes in Mathematics.* – New York: Springer. – 1981. – № 898. – P. 366–381
6. O.E. Rossler. An equation for continuous chaos // *Phys. Lett. A.* – 1976. – 57, № 5. – P.397–398.
7. E. N. Lorenz. Deterministic nonperiodic flow // *J. Atmos. Sci.* – 1963. – 20, № 2. – P. 130–141.
8. M. C. Mackey, L. Glass. Oscillation and chaos in physiological control systems // *Science.* – 1977. – 197. – P. 287-289.

УДК

**Броницький В.О., Закладний О.М., Закладний О.О., Прядко С.Л.  
КЕРУВАННЯ ВЕНТИЛЬНИМ ДВИГУНОМ З ЗАСТОСУВАННЯМ  
НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ**

*У статті представлені нечіткі ПІ регулятори для керування швидкістю вентильного двигуна. Використовуються нечіткі логічні регулятори і ПІ регулятори. Виходи ПІ регуляторів підсумовуються і подаються на вхід поточного контролера. Контролер струму містить П регулятор. Для дослідження запропонованої схеми використано програмне забезпечення Simulink. Результати отримані для змінного моменту навантаження.*

*Ключові слова: вентильні двигуни, управління швидкістю, ПІ регулятори, П регулятори, нечіткі логічні регулятори.*

**УПРАВЛЕНИЕ СКОРОСТЬЮ ВЕНТИЛЬНЫМ ПРИВОДОМ С ПРИМЕНЕНИЕМ  
НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ ПИ-РЕГУЛЯТОРА**

*В статье представлены нечеткие ПИ регуляторы для управления скоростью вентильного двигателя. Используются нечеткие логические регуляторы и ПИ регуляторы. Выходы ПИ регуляторов суммируются и задаются в качестве входа на текущий контроллер. В контроллере тока используется П регулятор. Для моделирования предложенной схемы использовано программное обеспечение Simulink. Результаты получены для переменного момента нагрузки.*

*Ключевые слова: вентильные двигатели, управление скоростью, ПИ регуляторы, П регуляторы, нечеткие логические регуляторы.*

**BRUSHLESS SPEED CONTROL WITH THE USE FUZZY LOGIC PI REGULATOR**

*This paper presents the fuzzy PI controllers for brushless speed control. The controller uses fuzzy logic controllers and PI controllers. The outputs of PI controllers are summarized and designated as input to the current controller. The current controller uses P controller. To simulate the proposed scheme uses the software Simulink. The results obtained for variable moment load.*

*Keywords: brushless, speed control, PI controllers, P controllers, fuzzy logic controllers.*

Вентильний двигун (ВД) з перетворювачем на повністю керованих елементах (IGBT, IGCT) з синхронним двигуном з постійними магнітами має трапецієподібну зворотну ЕРС і квазіпрямокутну форму кривої струму. ВД поширені завдяки високим значенням рівня енергоефективності, коефіцієнта потужності, а також безшумності, компактності, надійності і низьким експлуатаційним витратам [1].

Замість колектора і щіток ВД містить перетворювач і датчик положення, який визначає положення ротора для створення обертового моменту. Обертання двигуна ВД засноване на зворотному зв'язку за положенням ротора, за допомогою датчиків Холла. ВД використовує три датчики Холла для визначення послідовності комутації ключів. ВД мають переваги у порівнянні з двигунами постійного струму і асинхронними: більш високу швидкість, високі динамічні характеристики, високу ефективність, тривалий термін служби, безшумну роботу, високий швидкісний діапазон.

**Конструкція та принцип роботи**

В ВД магнітні поля, які створюються статором і ротором, обертаються з однаковою частотою. ВД не мають "ковзання", яке існує в асинхронних двигунах.

Комутація ВД здійснюється електронікою. Для обертання ВД обмотки статора повинні знаходитися під напругою в певній послідовності. Положення ротора визначається трьома датчиками Холла, вбудованими в статор (рис. 1). Датчики Холла створюють високий чи низький сигнал, які вказують N або S полюса, що проходить під датчиком. На основі комбінації трьох сигналів датчиків Холла визначається послідовність комутації.

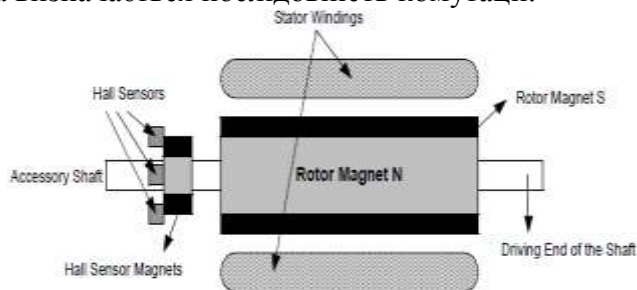


Рисунок 1. Ротор і датчики Холла ВД

### Принцип дії

У кожній комутаційній послідовності одна з обмоток позитивна, друга обмотка негативна і третя знаходиться в відімкненому стані. Крутний момент виникає із взаємодії магнітного поля, створюваного обмотками статора і постійних магнітів ротора. Максимальний крутний момент виникає, коли два поля розташовані під кутом  $90^\circ$  одне до одного і зменшується якщо поля рухаються разом. Для того, щоб двигун продовжував працювати, магнітне поле, створюване обмоткою, повинно змінювати положення, відповідно з рухом ротора.

### Комутаційні послідовності

Кожні 60 електричних градусів обертання один з датчиків Холла змінює стан. Замкнутий електричний цикл складається з шести кроків. У синхронних двигунах, після кожних 60 електричних градусів, фазний струм перемикається. Один електричний цикл не може відповідати повному механічному оберту ротора. Кількість електричних циклів визначається парами полюсів ротора. Таким чином, кількість електричних циклів/обертання ротора дорівнює парі полюсів. Для керування ВД використовується 3-фазний мостовий інвертор. Шість комутаторів повинні бути включені датчиком Холла на основі вхідних даних. Імпульсні методи модуляції використовуються для вмикання або вимикання ключа. Для зміни швидкості сигнали повинні мати широтно-імпульсну модуляцію (ШІМ) на значно вищій частоті, ніж частота двигуна. Частота ШІМ повинна бути більша в 10 разів ніж максимальна частота обертання двигуна. Коли робочий цикл ШІМ змінюється, середня напруга, що подається на статор, знижується, тим самим зменшуючи швидкість. Швидкість і крутний момент двигуна залежить від напруженості магнітного поля, що генерується обмотками електродвигуна, яка залежить від струму протікання через них.

### Моделювання вентильного двигуна постійного струму

Розподіл потоку в ВД трапецієподібний. Враховуючи несинусоїдальний розподіл потоку, доцільно вивести модель в фазових змінних [1]. Модель заснована на припущенні, що втрати в сталі та індуктованими струмами в роторі через гармонічні поля статора можна знехтувати. Вважається що двигун має три фази, хоча для будь-якого числа фаз процедура виведення є різною. Моделювання ВД здійснюється за допомогою класичних рівнянь і, отже,

модель двигуна є дуже гнучкою[2]. Ці рівняння складені на основі динамічної еквівалентної схеми вентильного двигуна.

Моделювання здійснюється для однієї фази і містить:

- динамічне рівняння моделі руху двигуна

$$W_m = (T_e - T_1) / J_s + B,$$

де  $T_e$ -електромагнітний момент,  $T_1$ - момент навантаження,  $J$  -момент інерції,  $B$  - коефіцієнт тертя,

- зсув ротора

$$\Theta_r = (P / 2) W_m / s ,$$

де  $P$  -кількість полюсів,

- зворотна ЕРС

$$E_{as} = k_b f_{as} (\Theta_r) W_m ,$$

де  $k_b$ -зворотна ЕРС константа,

- струм фази статора

$$i_a = (V_{as} - E_{as}) / (R + L_s) ,$$

де  $R$  - опір фази,  $L$  - індуктивність фази,

- електромагнітний момент, що розвивається,

$$T_e = E_{as} i_{as} / W_m .$$

### Регулятор швидкості

Швидкість обертання двигуна порівнюють з заданною, використовуючи суматор. Результуюча помилка:

$$w_e = w_r - w_r^* .$$

Результуюча помилка передається на ПРегулятор, передавальна функція якого:

$$G_s(s) = K_p (1 + 1 / T_i s) ,$$

де  $T_i = K_p / K_i$  інтегральна стала часу.  $K_p$  і  $K_i$ — пропорційний і інтегральний коефіцієнти, відповідно.

На рис. 2 наведено структуру моделі регулятора швидкості.

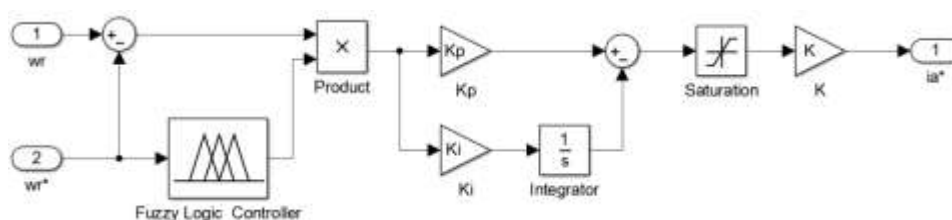


Рисунок 2. Модель регулятора швидкості

### Регулятор струму

Вихід регулятора швидкості розглядається як значення крутного моменту за яким визначають орний струм. Струм визначається з рівняння:

$$i_a = I_p f_a (\Theta_r) .$$

Отримане значення струму порівнюють з фактичним струмом статора. Результат

представляється у вигляді змінної в Прегуляторі. Передавальна функція регулятора Р

$$G_s(s) = K_p.$$

На рис. 3 наведено структуру моделі регулятора струму.

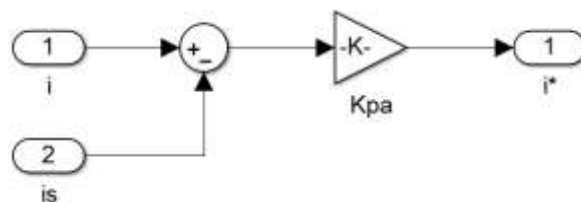


Рисунок 3. Модель регулятора струму

### Фазі логіка ПІ регулятора для ВД

Нечіткі контролери є більш надійними щодо зміни параметрів, ніж класичні ПІ регулятори. Нечіткий логічний контролер (НЛК) використовується для керування швидкістю вентильного двигуна. Запропоновано ПІ регулятор нечіткої логіки для приводу ВД. Використовується три ПІ регулятори нечіткої логіки одночасно. Швидкість ВД задається як вхідна змінна для ПІ регулятора нечіткої логіки [3].

Нечітка логіка в режимі реального часу приймає рішення як людина-оператор. Контролермістить три подвійні входи, але одне правило для нечіткої логіки і три ПІрегуляториз різним часом вибірки. Правила контролю та нечіткої логіки визначаються швидкістю ротора.

Основніфункції нечіткої логіки — масштабування швидкості і формування сигналу помилки для ПІрегулятора. Нечітка логіка заснована на швидкості обертання ротора, а швидкість визначена в діапазоні 0 до 1500 об./хв.

Правило нечіткого керування (правило if-then)для нечіткої логіки виражено:

$$\begin{aligned} R_L: & \text{If } \omega \text{ is LS, then } e_L \text{ is } e, \\ R_M: & \text{If } \omega \text{ is MS, then } e_M \text{ is } e, \\ R_H: & \text{If } \omega \text{ is HS, then } e_H \text{ is } e. \end{aligned}$$

$R_L, R_M, R_H$ — правила керуваннядля різної швидкості.  $e_L, e_M, e_H$ —вихідні дані фази логіки. $\Omega$ - помилка швидкості.

Вихідний сигнал:

$$\begin{aligned} e_L &= e \cdot y_L \\ e_M &= e \cdot y_M \\ e_H &= e \cdot y_H \end{aligned}$$

З графіків помилки швидкості ( $e_L, e_M$  та  $e_H$ ) три ПІ регулятори формують три напруги команд. На рис. 4 наведено структуру моделі регулятора швидкості з нечіткою логікою.

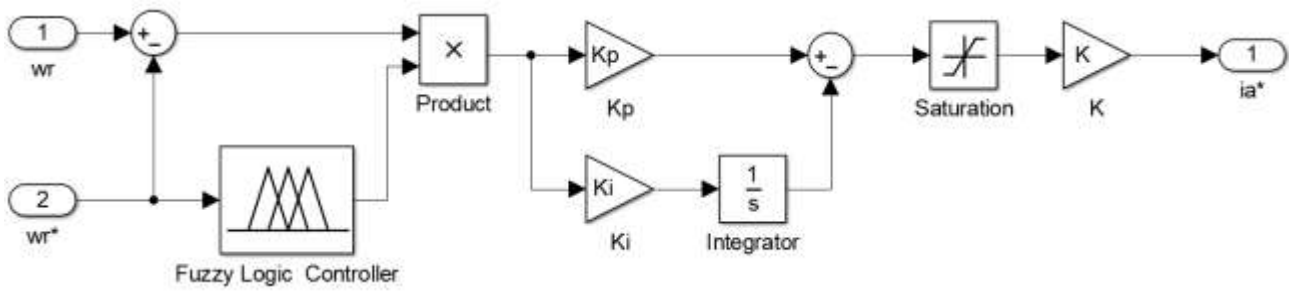


Рисунок 4. ПІ-регулятор з нечіткою логікою

Три виходи ПІрегулятора підсумовуються і передаються на поточний регулятор. На рис. 5 наведено Simulink блок-схему нечіткої логіки. Результати моделювання наведено на рис. 6,7,8.

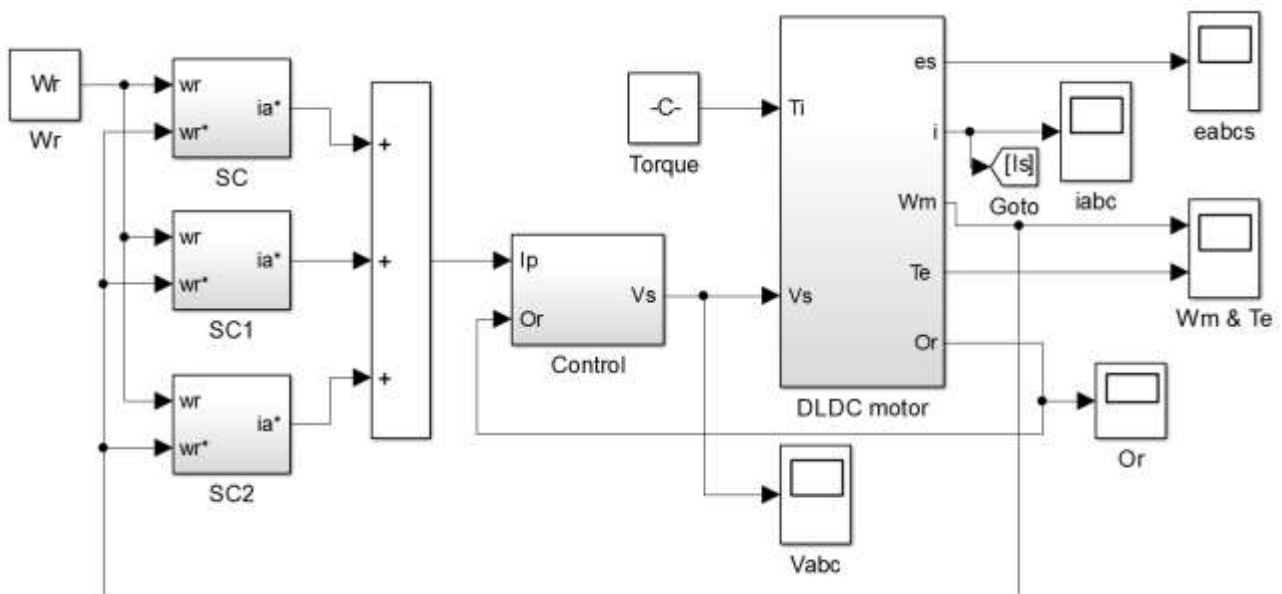


Рисунок 5. Simulink блок-схема нечіткої логіки.



Рисунок 6. Частота обертання ротора зі змінним моментом навантаження



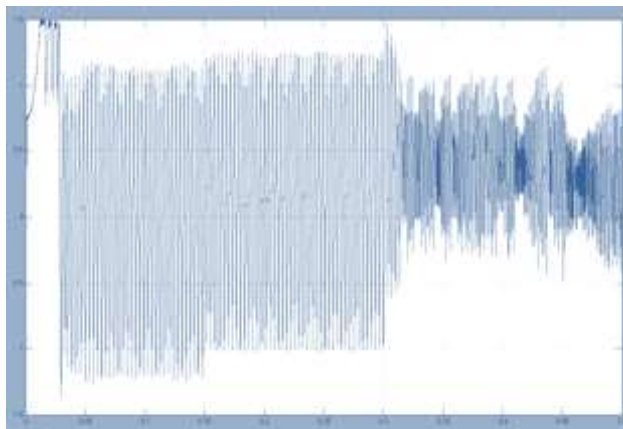


Рисунок 7. Електромагнітний момент з змінним моментом навантаження

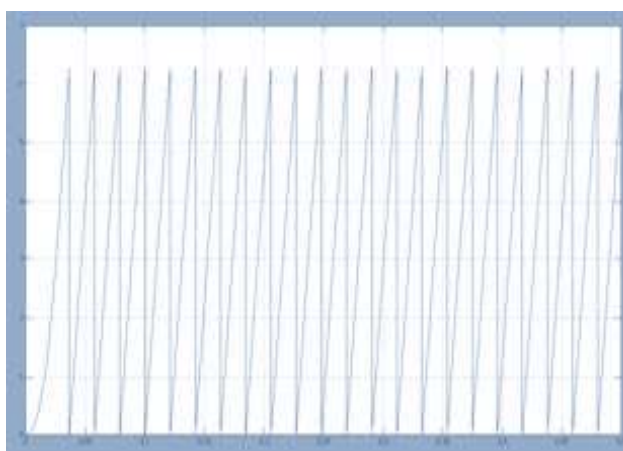


Рисунок 8. Положення ротора.

## ВИСНОВКИ

У статті розглядається ПІ регулятор з нечіткою логікою для керування швидкістю ВД. Результати дослідження, виконані для різних моментів навантаження, показують, що прийнята структура керування ВД з ПІ регулятором з нечіткою логікою відповідає вимогам до сучасних систем керування, які мають високу швидкодію.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Закладний О. М., Прокопенко В. В., Закладний О.О. Електропривод: Навч. Посіб. // – К.: Видавництво «Освіта України», 2009. – 351с.
2. Герман-Галкин С.Г. Matlab&Simulink. Проектирование мехатронных систем на ПК // – СПб.: КОРОНА-Век, 2008. — 368с
3. SPEED CONTROL OF BRUSHLESS DC MOTOR BY USING FUZZY LOGIC PI CONTROLLER, M. V. Ramesh, J. Amarnath, S. Kamakshaihand G. S. Rao // VOL. 6, NO. 9, SEPTEMBER 2011 ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, ISSN 1819-6608

**РОЗДІЛ С**  
**СТАЛІЙ РОЗВИТОК ЕНЕРГЕТИКИ**

УДК 621.315

**Ю.С. ПАВЛОВА**, студентка магістратури  
наук. керівник: к.т.н, доц. **О.В. КОЦАР****ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СТІЙКОГО ФУНКЦІОНУВАННЯ АСКОЕ В УМОВАХ ПЕРЕХОДУ ВІД РИНКУ «ЄДИНОГО ПОКУПЦЯ» ДО РДДБР**

*В статті розглядаються умови забезпечення стійкого функціонування автоматизованих систем комерційного обліку електроенергії (АСКОЕ) в умовах переходу України від ринку «єдиного покупця» електроенергії до ринку двосторонніх договорів та балансуємого ринку (РДДБР). Досліджено недоліки та неузгодженості сучасного стану АСКОЕ та їх вплив на застосування АСКОЕ в РДДБР. В результаті наведено запропоновані можливості приведення АСКОЕ до вимог переходу до перспективного ринку, обґрунтована необхідність їх виконання.*

*Ключові слова: АСКОЕ, функціонування, забезпечення, перехід, ринки енергії, уніфікація.*

**ОБЕСПЕЧЕНИЕ УСТОЙЧИВОГО ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ АСКУЭ В УСЛОВИЯХ ПЕРЕХОДА ОТ РЫНКА «ЕДИНОГО ПОКУПАТЕЛЯ» К РДДБР**

*В статье рассматриваются условия обеспечения устойчивого функционирования автоматизированных систем коммерческого учета электроэнергии (АСКУЭ) в условиях перехода Украины от рынка «единого покупателя» электроэнергии к рынку двухсторонних договоров и балансирующего рынка (РДДБР). Исследованы недостатки и несогласованности современного состояния АСКУЭ и их влияние на применение АСКУЭ в РДДБР. В результате приведены предложенные возможности приведения АСКУЭ к требованиям перехода к перспективному рынку, обоснована необходимость их выполнения.*

*Ключевые слова: АСКУЭ, функционирование, обеспечение, переход, рынки энергии, унификация.*

**SUPPORT OF SUSTAINABLE FUNCTIONING OF THE ASCEM IN THE CONDITIONS OF TRANSITION FROM THE MARKET "SINGLE BUYER" TO RDDBR**

*This article discusses the frameworks conditions for sustainable functioning of the automated systems of commercial electricity metering (ASCEM) in the conditions of the transition from the market of Ukraine "single buyer" of electricity to the market of bilateral contracts and balancing market (RDDBR). Disadvantages and inconsistencies of the current state of ASCEM and their impact on the application of ASCEM in RDDBR are researched in this article. The result of researches shows the possibility of reducing the proposed metering requirements to transition to a perspective market and necessity of their implementation is well founded.*

*Keywords: ASCEM, functioning, providing, transition, energy markets, the unification.*

**Вступ.** Електроенергетика є базовою галуззю національної економіки будь-якої держави. Тому, необхідною умовою стабілізації економіки та її структурних перетворень, забезпечення економічної безпеки держави, а також задоволення потреб населення та суспільного виробництва в електричній енергії є ефективно та надійне функціонування електроенергетичної галузі [1].

Але до цього часу в Україні в галузі електроенергетики спостерігається низка проблем: немає реально незалежного регулятора галузі; не розмежовані функції енергопостачальних компаній, які поєднують постачання (продаж) електроенергії та її транспортування; немає прозорої і зрозумілої системи ціноутворення та інші, які необхідні бути вирішені [2, 3].

Для досягнення цієї мети необхідне реформування галузі, насамперед – формування конкурентного, ефективного ринку електроенергії, спроможного забезпечити формування економічно обґрунтованих цін та створити сприятливе середовище для залучення коштів у модернізацію і розвиток галузі. Необхідно впровадити регулювання ринку електроенергії, яке б забезпечувало надійне виробництво та постачання електричної енергії її споживачам в умовах ринкової економіки та різноманітності правовідносин учасників, серед яких є як органи державної влади, так і окремі господарюючі суб'єкти. Такий ринок надалі стане основою не лише вирішення проблеми енергозабезпечення країни, але й успішної інтеграції в енергетичні ринки ЄС [2, 3].

**Мета та завдання дослідження.** Визначити умови забезпечення стійкого функціонування автоматизованої системи комерційного обліку електроенергії (АСКОЕ) в умовах переходу від ринку «єдиного покупця» електроенергії до ринку двосторонніх договорів та балансуючого ринку (РДДБР). Виділення певних характеристик та недоліків сучасного стану АСКОЕ в Оптовому ринку електроенергії (ОРЕ) України, які повинні бути змінені та/або доповнені для успішного застосування АСКОЕ в умовах запровадження перспективних ринків.

Відповідно до Концепції функціонування і розвитку ОРЕ [1] в Україні здійснюється поетапний перехід ринку від існуючої моделі «єдиного покупця» до повномасштабного конкурентного ринку - РДДБР [4].

Повномасштабний РДДБР охоплює кілька ринків:

- ринок довгострокових договорів (РДД), на якому покупці і продавці укладають контракти на постачання електроенергії (електричної потужності) на довгострокові періоди (місяць, рік тощо);
- ринок «на добу наперед» (РДН), на якому уточнюються законтраковані на РДД обсяги постачання електроенергії (електричної потужності) на наступну добу;
- балансуючий ринок (БР), на якому в реальному часі узгоджуються поточні рівні попиту й пропозиції на електричну потужність (електроенергію) [1, 5].

Головним очікуваним результатом запровадження РДДБР в Україні вважається перспектива створення повноцінного балансуючого механізму узгодження попиту й пропозицій в енергоринку в реальному часі [4]. Забезпечення умов виконання системним оператором функцій балансування ринку в реальному часі вимагатиме побудови повномасштабної багатофункціональної системи контролю й керування поточними режимами енерговикористання та повної автоматизації процесів обліку й розрахунків за електричну енергію відповідно до правил РДДБР. Однією з невід'ємних умов успішного вирішення цих завдань є забезпечення достовірності та актуальності даних комерційного обліку на всіх етапах електроенергетичного виробництва [5, 6].

На сьогоднішній день облік електричної енергії та формування інформаційного забезпечення розрахунків за електричну енергію в ОРЕ України здійснюється АСКОЕ, які створюються у суб'єктів ОРЕ та одночасно впроваджуються у суб'єктів роздрібного ринку електроенергії України на основі певної нормативної бази. Це вказує на масове паралельне

впровадження АСКОЕ у подавляючої більшості потенційних суб'єктів РДДБР, що, врешті решт, допоможе досягнути автоматизації процедури складання електроенергетичного балансу України.

Але побудова повномасштабної багатофункціональної АСКОЕ ОРЕ, яка складатиметься з АСКОЕ Головного оператора (ГО) та АСКОЕ суб'єктів енергоринку (оптового і роздрібного), а також забезпечення її стійкого функціонування в умовах переходу від ринка «єдиного покупця» до РДДБР повинні базуватися на виконанні завдань та цілей, що мають вирішуватись АСКОЕ під час запровадження перспективних моделей енергоринку України, в першу чергу РДДБР.

Щоб визначити основні умови забезпечення стійкого функціонування АСКОЕ в умовах переходу від ринку «єдиного покупця» до РДДБР, перш за все необхідно розглянути наявні характеристики та/або недоліки сучасного стану АСКОЕ в ОРЕ України, які не дозволяють успішно застосовувати їх за нової перспективної моделі та вимагають доопрацювання.

Для цього спочатку розглянемо сучасну функціональну схему обміну даними комерційного обліку (ДКО) між суб'єктами ОРЕ, яка представлена на рисунку 1.

Вимірювання, збір та обробка ДКО на рівні суб'єктів ринку, таких як виробники електроенергії та постачальники електроенергії за регульованим тарифом (ПРТ) виконується за допомогою АСКОЕ операторами комерційного обліку електроенергії. Обробка та передача ДКО електроенергії постачальників за нерегульованим тарифом (ПНТ) здійснюється операторами комерційного обліку ПРТ, на території яких здійснюється діяльність ПНТ.

Головний оператор (ДП «Енергоринок») отримує дані комерційного обліку для здійснення розрахунків за електроенергію паралельно в два способи:

- від енергосистеми ДП «НЕК «Укренерго» електронною поштою у вигляді макету 30817 у МВт\*г у цілих числах;
- від АСКОЕ суб'єктів ОРЕ згідно уніфікованого Реєстру даних автоматизованим шляхом за допомогою уніфікованого протоколу передавання даних вимірювань (УППДВ) в кВт\*г у цілих числах [5].

ДКО, які надходять до ГО від енергосистеми ДП «НЕК «Укренерго» у вигляді макету 30817, вважаються збалансованими і мають нижчий пріоритет перед даними АСКОЕ суб'єктів ОРЕ. Дані комерційного обліку електроенергії, які надходять до АСКОЕ ГО ОРЕ від АСКОЕ суб'єктів ОРЕ за допомогою УППДВ вважаються незбалансованими і мають вищий пріоритет перед даними макету 30817. ГО верифікує дані, що надійшли від суб'єктів ОРЕ за допомогою УППДВ. За позитивними результатами перевірок ГО визначає уточненні погодинні дані сальдо перетоків на межі балансової належності електричних мереж суб'єктів ОРЕ на основі даних з фізичного балансу електричної енергії, отриманих від ЕС, та погодинних даних сальдо перетоків, отриманих від АСКОЕ суб'єктів ОРЕ. Далі оброблені агреговані дані Головним оператором надаються Розпоряднику системи розрахунків для розрахунку платежів за електроенергію [5].

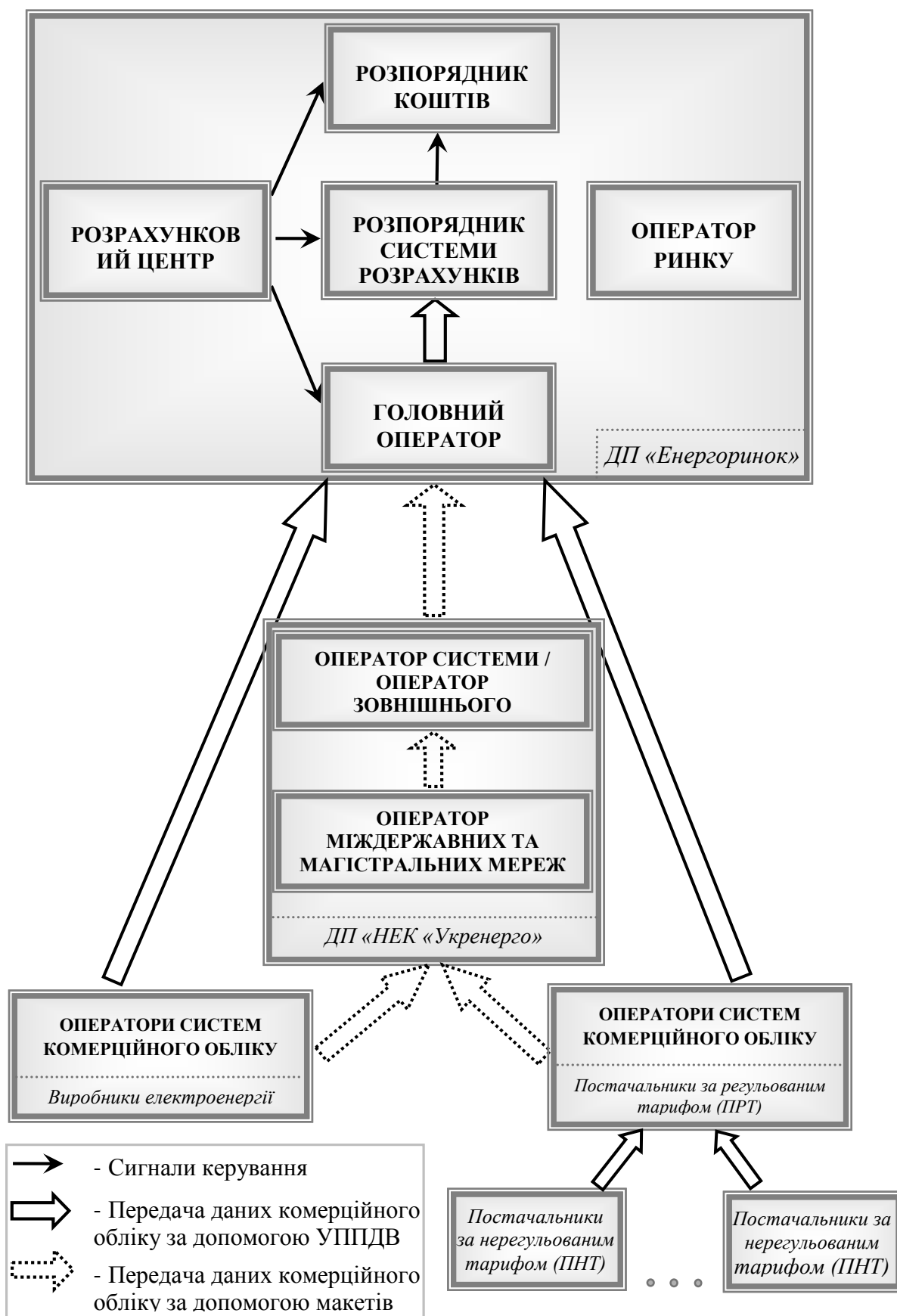


Рис. 1 – Схема обміну даними комерційного обліку між суб'єктами ОРЕ України

Розглядаючи вимоги переходу до нового перспективного ринку електроенергії, та аналізуючи місце та характеристики АСКОЕ в ньому згідно [5, 6], наведемо в таблиці 1 недоліки та невідповідність сучасного стану АСКОЕ для запровадження переходу до нової моделі ринку та запропоновані згідно [6] зміни та вдосконалення на ринку електроенергії.

Таблиця 1 – Сучасний стан АСКОЕ ОРЕ та умови його стійкого функціонування під час переходу до РДДБР

<b>Недоліки та невідповідність сучасного стану АСКОЕ для запровадження РДДБР в Україні</b>	<b>Можливі запропоновані зміни, необхідні для забезпечення стійкого функціонування АСКОЕ під час переходу до РДДБР</b>
<p>Побудова, впровадження та застосування АСКОЕ суб'єктів ОРЕ здійснюється на підставі розрізаних нормативних документів (НД), вимоги яких не погоджені.</p> <p><i>Як наслідок: суттєве обмеження ефективного застосування АСКОЕ ОРЕ на сучасному етапі.</i></p>	<p>Створення єдиної нормативної бази, яка повинна містити розвинуті деталізовані вимоги щодо розроблення, побудови, впровадження та застосування АСКОЕ. Ці вимоги повинні бути цілісними, узгодженими та нормувати завершений життєвий цикл АСКОЕ суб'єкта РДДБР.</p>
<p>Застосування в АСКОЕ суб'єктів приладів комерційного обліку (ПКО) електроенергії різних рівнів, з різною структурою первинних баз даних (ПБД), форматів зберігання та передавання параметрів енерговикористання. Відсутність вимог до їх функціональних можливостей та уніфікації технічних характеристик.</p> <p><i>Як наслідок: неможливість проведення ГО узгодженої технічної політики, ускладнення інтеграції АСКОЕ споживачів до АСКОЕ ОРЕ України в умовах РДДБР</i></p>	<p>Запровадження уніфікованих технічних рішень під час побудови АСКОЕ суб'єктів ОРЕ, доповнених вимогами щодо уніфікації даних комерційного обліку, застосування в АСКОЕ приладів комерційного обліку електроенергії, інформаційних стиків АСКОЕ різних рівнів, метрологічного забезпечення АСКОЕ, верифікації та валідації даних комерційного обліку тощо.</p>
<p>Обмін даними між суб'єктами ОРЕ здійснюється за допомогою електронної пошти шляхом пересилання текстових файлів-макетів, що містять ДКО та не містять жодних ознак якості (достовірності) ДКО.</p> <p><i>Як наслідок: нездатність забезпечення своєчасного обміну ДКО під час запровадження перспективних моделей енергоринку. Недисциплінованість суб'єктів під час формування та передачі даних.</i></p>	<p>Розширення Реєстру кодів суб'єктів, обладнання, організацій, територій та точок обліку енергоринку України (РКОЕ), який має застосовуватися під час інформаційної взаємодії суб'єктів РДДБР.</p> <p>Уніфікація вимог щодо інформаційної взаємодії АСКОЕ суб'єктів енергоринку. Передача необроблених даних по точках комерційного обліку за допомогою УППДВ між суб'єктами ОРЕ. Забезпечення регламентованого дистанційного автоматизованого доступу до ПБД ПКО.</p>
<p>Суб'єкти ОРЕ передають ГО попередньо визначені агреговані ДКО.</p> <p>ГО не має дистанційного автоматизованого доступу до первинних даних обліку електроенергії та іншої інформації, на підставі якої можна встановити достовірність даних комерційного обліку. Верифікація і валідація даних комерційного обліку, що надійшли до</p>	<p>Забезпечення можливості дистанційного автоматизованого доступу ГО до первинних даних обліку електроенергії і верифікування агрегованих даних комерційного обліку на підставі первинних даних обліку.</p>

продовження таблиці 1

<p>ГО від АСКОЕ суб'єктів ОРЕ, здійснюється на підставі непрямих перевірок даних.</p> <p><i>Як наслідок: загроза недостовірності ДКО, що передані ГО. Неможливість виконання ГО процедури верифікації та валідації ДКО з встановленою вірогідністю.</i></p>	
<p>Синхронізація вимірювань в АСКОЕ ОРЕ України здійснюється сьогодні нерегулярно за показами різних джерел часу. Процедури коригування часу в приладах обліку електроенергії не погоджені і здійснюються в умовах абсолютної невизначеності.</p> <p><i>Як наслідок: неможливість достовірного визначення і виключення з результатів вимірювань похибки формування інтервалів часу під час диференційованого обліку електроенергії [9, 31].</i></p>	<p>Затвердження вимог щодо прив'язки шкал часу (ШЧ) приладів комерційного обліку електроенергії до національної шкали координованого часу (НШКЧ). Синхронізація показів інтегрованого в ПКО годинника із показами еталонних годинників та їх коригування.</p>
<p>Невизначеність порядку метрологічного забезпечення АСКОЕ, неможливість обґрунтованого оцінювання результуючих похибок вимірювань АСКОЕ із завданою вірогідністю.</p> <p><i>Як наслідок: ускладнення формування достовірних електроенергетичних балансів в ОРЕ України.</i></p>	<p>Головним оператором разом із центральним органом виконавчої влади України з метрології повинен бути визначений і запроваджений порядок метрологічного забезпечення АСКОЕ.</p>
<p>Відсутність єдиної нумерації точок комерційного обліку електроенергії в ОРЕ. Неможливість отримання ГО від суб'єктів ОРЕ облікових даних по точках обліку, в першу чергу з метою верифікації агрегованих ДКО по групових каналах обліку.</p> <p><i>Як наслідок: неможливість формування ГО достовірної актуальної БД по точках обліку, неможливість ефективного балансування ринку в РДДБР.</i></p>	<p>РКОЕ має бути суттєво розширений з метою забезпечення можливості кодування нових суб'єктів та об'єктів, в т.ч. споживачів електроенергії (електричної потужності) – потенційних суб'єктів РДДБР, а також всіх точок комерційного обліку електроенергії цих суб'єктів.</p>
<p>Значна кількість ПКО електроенергії виявилася незахищеною від несанкціонованого і неконтрольованого втручання. Існує проблема захисту даних комерційного обліку під час їхнього формування, передавання, оброблення, зберігання та відображення.</p> <p><i>Як наслідок: небезпека можливого масового спотворення ДКО багатьох потенційних суб'єктів РДДБР</i></p>	<p>Побудова корпоративної мережі передачі даних та забезпечення узгоджуваного рівноправного регламентованого дистанційного доступу всіх зацікавлених суб'єктів ОРЕ в автоматизований спосіб до ПБД ПКО, прийняття керівних документів щодо кодування та електронного підпису ДКО, визначення відповідальності суб'єктів енергоринку за достовірність даних комерційного обліку в умовах формування і передавання даних АСКОЕ в автоматичному режимі.</p>

продовження таблиці 1



<p>Багатофункціональні електронні лічильники електроенергії, які постачаються в Україну, забезпечуються тільки експлуатаційною документацією. Технічні описи, принципові схеми, описи комунікаційних протоколів не надаються споживачу лічильників та іншим зацікавленим сторонам. Більшість нових лічильників не успадковує технічні характеристики попередніх моделей, які є важливими під час їхнього застосування АСКОЕ.</p> <p><i>Як наслідок: ускладнення побудови АСКОЕ, та можливість суттєвих непередбачуваних витрат на модернізацію АСКОЕ</i></p>	<p>Забезпечення гарантованого постачання в Україну багатофункціональних електронних лічильників електроенергії обраних типів з відповідною ним повною технічною документацією та збереженням спадковості критичних (з точки зору застосування цих лічильників в АСКОЕ) технічних характеристик в разі модернізації лічильників обраних типів або запровадження нових моделей лічильників виробниками.</p>
--	---

Отже, можна стверджувати, що виконання всього комплексу вищевказаних вимог дозволить створити передумови для якісної побудови, впровадження, узгодженого функціонування й ефективного застосування АСКОЕ суб'єктів РДДБР в єдиній розподіленій АСКОЕ енергоринку України та забезпечить достовірність й актуальність даних комерційного обліку за будь-якої моделі енергоринку. Виконання лише окремих вимог до АСКОЕ без вирішення всього комплексу завдань може не призвести до очікуваного ефекту.

#### **Список використаних джерел:**

1. Концепція функціонування і розвитку оптового ринку електричної енергії України / Матеріали науково-практичної конференції, Київ, 25 липня 2002р. – Х.: Енерго Клуб України, 2002. – 72с.
2. Енергетичні ринки: шляхи практичного впровадження конкурентних моделей енергетичних ринків // Матеріали науково-практичної конференції, Київ, 21-26 травня 2012 року.
3. Електроенергетика України: стан і тенденції розвитку / Центр Разумкова // Національна безпека і оборона, 2012. - №6 (135) - С.3.
4. Реформування ринку електричної енергії України – перехід до ринку двосторонніх договорів та балансуєчого ринку // Матеріали науково-практичної конференції, Київ, 29 вересня 2008 року.
5. Концепція ІОК Головного оператора Системи комерційного обліку ОРЕ України. Підсумковий звіт / Розроб.: Праховник А.В. – кер.розроб., Коцар О.В., Расько Ю.О. // Затв. ДП «Енергоринок» – Київ, ІЕЕ НТУУ «КПІ», 2011 – 187 с.
6. Коцар О.В. Комплексне забезпечення достовірності та актуальності даних комерційного обліку в умовах запровадження в Україні ринку двохсторонніх договорів і балансуєчого ринку // Енерг. та електрифікація, 2011. - №3 - С.27 - 39.

УДК 621.330

Варганова О.В, студентка магістратури,  
наук. керівник: к.т.н, доц. Коцар О.В.**ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ В УСЛОВИЯХ  
ЛИБЕРАЛИЗОВАННОГО РЫНКА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ**

*В статье рассматриваются актуальные вопросы создания национального углеродного рынка. Предложена схема разработки и внедрения национальной системы торговли выбросами. В контексте создания системы торговли выбросами предложена методика определения количественных обязательств по ограничению или сокращению вредных выбросов, методика оценки антропогенных выбросов, а также сформированы предложения по внедрению системы распределения квот на выбросы внутри страны, энергетической отрасли и по отдельным технологическим установкам. В работе проведен сопоставительный анализ систем распределения квот из зарубежных практик, приведен опыт внедрения систем торговли квотами в Японии и Австрии и сделан выбор наиболее предпочтительной для Украины. Предложены пути повышения энергоэффективности генерирующих энергокомпаний и конечных потребителей с целью сокращения использования ископаемого топлива и уменьшения вредных выбросов.*

*Ключевые слова: антропогенные выбросы, балансирующий рынок, генерирующая энергокомпания, квота, квотирование, электропотребление, энергорынок.*

*В статті розглядаються актуальні питання створення національного вуглецевого ринку. Запропонована схема розробки і впровадження національної системи торгівлі викидами. В контексті створення системи торгівлі викидами запропонована методика визначення кількісних зобов'язань з обмеження і скорочення шкідливих викидів, методика оцінки антропогенних викидів, а також сформовані пропозиції щодо впровадження системи розподілу квот на викиди в середині країни, енергетичної галузі та по окремих технологічних установках. В роботі наведений порівняльний аналіз систем розподілу квот з іноземних практик, наведений досвід запровадження систем торгівлі квотами в Японії і в Австрії і зроблений вибір найкращої для України. Запропоновані шляхи підвищення енергоефективності генеруючих енергокомпаній і кінцевих споживачів з метою скорочення використання викопного палива і зменшення шкідливих викидів.*

*Ключові слова: антропогенні викиди, балансуєчий ринок, генеруюча енергокомпанія, квота, квотування, електроспоживання, енергоринок.*

*In the article the national carbon market is considered to be created, the scheme of elaborating and implementing the emission market system are also represented here. Alongside with the creation of the emission market system the article considers the calculation of quantified emission limitation and reduction commitment, estimating the anthropogenic emission and allowances allocation system inside the country, sector and for devices. The article demonstrates the comparing analysis of allowances allocation systems among foreign practices, the experience of implementing the emission market system in Japan and Austria is also regarded and the most preferable one for Ukraine is chosen. The ways for increasing the energy efficiency for generating energy companies and end-consumers are suggested in order to cut the using of fossil fuel and decrease the anthropogenic emission.*

*Key words: anthropogenic emission, balance market, generating energy company, allowance, the quota system, electric energy consumption, energy company.*

Сознавая все риски парникового эффекта и повышения температуры на планете, человечество приняло ответственное решение сократить выбросы вредных веществ в окружающую среду. Результатом многолетних усилий ученых и правительств всего мира стало подписание в 1997 году Киотского протокола, в котором страны-участники обязались сократить к 2012 году вредные выбросы на 1-8% относительно уровня, который они имели в базовом 1990 году [1]. При этом необходимо особо заметить, что отдельные страны-эмитенты, в т.ч. такие крупные, как США, не ратифицировавшие договор, Канада, вышедшая из договора, а также такие Индия и Китай, являющиеся рекордсменами по выбросам диоксида углерода  $CO_2$ , ставят под угрозу результативность международного договора по предотвращению глобального потепления и загрязнения окружающей среды. В этом контексте следует понимать, что без полного вовлечения в процесс сокращения вредных выбросов всех без исключения стран-эмитентов поставленные цели не будут достигнуты.

С целью достижения поставленных целей в настоящее время распространяется практика создания национальных углеродных рынков, таких как: Калифорнийский (RGGI – Regional greenhouse gas initiative), Европейский (EUETS – European Union Emission Trading Scheme), Токийский (Токуо ETS) и др. Во исполнение директив Киотского протокола в Верховную Раду Украины был внесен законопроект от 07.10.2010 №7231 «Про регулювання в сфері енергозбереження», направленный на создание национального углеродного рынка. Процесс создания внутреннего углеродного рынка предполагает разработку национальной программы по оценке выбросов и внедрению системы торговли выбросами.

Первым шагом на пути создания внутреннего углеродного рынка должно стать предоставление данных каждой стороной-эмитентом (на международном уровне – данные каждой страны, на национальном уровне – данные каждого объекта) для установления ее уровня накопления углерода, начиная с базового года, и для оценки изменений в ее накоплениях углерода в последующие годы. Необходимая информация должна включать информацию о компании, данные о выбросах шести видов газов, зафиксированных Киотским протоколом, отдельно данные о выбросах при производстве, импорте, экспорте и распределении. Также необходимо предоставить данные о выбранной методологии оценки выбросов и обозначить базовый год действия национальной программы.

Одним из наиболее важных условий национальной программы является установление общего ограничения на выбросы парниковых газов и распределение квот. Установленное количество выбросов для каждой стороны-эмитента равно зафиксированной для нее процентной доле ее чистых совокупных антропогенных выбросов парниковых газов в эквиваленте диоксида углерода за базовый 1990 год. Следуя Киотскому протоколу, каждая страна определила для себя количественные обязательства по ограничению или сокращению выбросов на период с 2008 по 2012 г.г. с целью снизить в этот период совокупный средний уровень выбросов шести видов газов на 5,2% по сравнению с базовым 1990 годом. Украина, в свою очередь, установила количественные обязательства в размере 100% [1]. В соответствии с Киотским протоколом, количественные обязательства по ограничению или сокращению выбросов представляют собой общее количество выбросов парниковых газов, которое каждая страна, включенная в Приложение В Киотского протокола, согласилась не превышать в течение первого периода действия обязательств (2008-2012 г.г.). Это количество рассчитывается путем умножения общего объема выбросов данной страны в 1990 году на пять (пятилетний период действия обязательств) и далее на процент сокращения выбросов, отмеченный в Приложении В Киотского протокола. Для определения количественного обязательства по ограничению и сокращению выбросов (КООСВ) используется формула, утвержденная на одиннадцатой сессии рабочей группы по Киотскому протоколу [2]:

$$KООСВ = m \cdot Y_m + c; \quad (1.1)$$

где:  $m$  – наклон траектории эмиссии выбросов относительно заявленного обязательства;  $Y_m$  – год на середине периода действия обязательств;  $c$  – пересечение траектории.

Наклон траектории эмиссии выбросов относительно заявленного обязательства  $m$  рассчитывается следующим образом [2]:

$$m = \frac{E_S - E_E}{Y_S - Y_E}; \quad (1.2)$$

где:  $E_S$  – уровень эмиссии в базовом году (в начальной точке траектории эмиссии);  $E_E$  – уровень эмиссии в конце периода действия обязательств;  $Y_S$  – базовый год действия обязательств;  $Y_E$  – конечный год действия обязательств.

Пересечение траектории ( $c$ ) определяется следующим образом [2]:

$$c = E_S - (m \cdot Y_S). \quad (1.3)$$

Следовательно, количественные обязательства страны по ограничению или сокращению выбросов являются средним значением объема выбросов за период действия обязательств, на которое, в первую очередь, влияет определение базового года, что, в свою очередь, также отражается на адаптации попыток соответствовать среднему значению.

Необходимо отметить, что лимит на выбросы вредных веществ может быть абсолютным, т.е. объем выбросов за данный период времени, или относительным, например, по отношению к объему производства в секторах или к валовому внутреннему продукту (ВВП). Абсолютный лимит гарантирует не превышение целевого уровня выбросов, а относительный лимит позволяет увеличивать выбросы в соответствии с ростом уровня производства или ВВП.

Электрические станции Украины являются источником 82% выбросов диоксида углерода в атмосферу [3]. С целью привлечения генерирующих энергокомпаний и потребителей к сокращению вредных выбросов разработаны схемы торговли на основе проектных сокращений, достигаемых относительно базовой линии. В этих схемах участники несут ответственность за выбросы выше базового уровня и получают кредиты, если выбросы ниже базового уровня. Для того, чтобы торговля квотами с общими ограничениями на выбросы (ТКООВ) функционировала эффективно, лимит выбросов должен быть установлен достаточно жестко, чтобы стимулировать спрос на квоты и сформировать справедливую цену углерода.

Любые единицы сокращения выбросов, которые какая-либо сторона приобретает у другой стороны, прибавляется к установленному количеству приобретающей стороны и наоборот – единицы сокращения выбросов отнимаются от установленного количества отдающей стороны. Если выбросы стороны меньше установленного для нее количества выбросов, то эта разница может прибавляться к установленному количеству на последующий период действия обязательств.

Следующим этапом является принятие оценка антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями всех парниковых газов, не регулируемых Монреальским

протоколом. Основополагающей является методология, принятая Межправительственной группой экспертов по изменению климата (МГЭИК) и одобренная Конференцией Сторон Конвенции на ее третьей сессии в Женеве, Швейцария [4].

Оценки национальных эмиссий базируются на объемах потребления топлива и содержания в нем углерода. Методология МГЭИК разбивает расчет эмиссий двуокси углерода при сжигании топлива на шесть шагов [4]:

- определение фактического потребления топлива в натуральных единицах;
- перевод в общие энергетические единицы;
- умножение на величину коэффициентов эмиссий для расчета содержания углерода;
- расчет накопленного углерода;
- корректировка на неокисленный углерод;
- пересчет окисленного углерода в эмиссии  $CO_2$ .

Для расчета фактического потребления топлива необходимо получить данные о добыче, импорте, экспорте, международном бункере, а также изменении запасов топлива. Далее используется следующая формула:

1. *Фактическое*  $\langle \text{потребление} \rangle = \langle \text{добыча} \rangle + \langle \text{импорт} \rangle - \langle \text{экспорт} \rangle - \langle \text{международный бункер} \rangle - \langle \text{изменение запасов} \rangle$ .

Исходя из формулы, изменение запасов может быть как положительным, так и отрицательным: когда оно увеличивается, уменьшается потребление и наоборот. Международный бункер связан с использованием топлива для международного морского и воздушного транспорта.

2. Следующим этапом необходимо преобразовывать в общие энергетические единицы – тераджоуль (ТДж), для чего необходимы такие данные:

Для перевода в ТДж из: Дж, МДж или ГДж нужно разделить на подходящий множитель  $10^{12}$ ,  $10^6$ ,  $10^3$ ;

Из единицы  $10^6$  т.н.э. нужно умножить на переводной множитель  $41868 \text{ ТДж} / 10^6 \text{ т.н.э.}$ ;

Из единицы Ткал нужно умножить на переводной множитель  $41868 \text{ ТДж} / \text{Ткал}$ ;

Из  $10^3$  т необходимо использовать теплотворное нетто-значение каждого вида топлива, которое является критерием его ценности для нагревания.

3. Затем следует этап умножения фактического потребления в ТДж на коэффициент эмиссии углерода, который определяется по справочным данным. Однако, необходимо упомянуть, что этот коэффициент принимает значение из формулы Майкла Грабба [4]:

$$C_c = 32,15 - (0,25 \cdot H_v), \quad (1.4)$$

где:  $C_c$  – коэффициент эмиссии углерода,  $H_v$  – высшая теплотворная способность угля, где теплотворная способность принимает значение от 31 до 37 ТДж/ктонн. Майкл Грабб установил средний коэффициент эмиссии для природного газа в размере 15,3 т С/ТДж.

4. Для расчета количества накопленного углерода необходимо умножить количество топлива по его видам на переводной коэффициент для получения количества топлива в ТДж. Количество топлива в ТДж умножить на коэффициент эмиссии (в тоннах углерода на), затем не обходимо разделить на  $10^3$  для получения величины в гигаграммах углерода. Содержание углерода умножается на фракцию накопленного углерода (производство видов топлива и их потребление).

5. Для поправки на неполное окисление углерода необходимо умножить нетто эмиссии углерода на фракцию окисленного углерода.

6. Для определения эмиссий  $CO_2$  в результате сгорания топлива нужно умножить фактические выбросы углерода на 44/12.

Деление национальных эмиссий  $CO_2$  по секторам экономики необходимо для мониторинга и рассмотрения политики в области снижения эмиссии. Однако, простота определения эмиссий  $CO_2$  и особое внимание, которое уделяется эмиссиям  $CO_2$  из биотоплива, означает, что метод расчета эмиссий, применяемая для  $CO_2$ , по ряду причин существенно отличается от методологии, применяемой для других газов. Выполняемые подходы для расчета других газов в общем похожи на указанный выше метод.

Для выбора наиболее эффективной системы распределения квот проведем сравнительный анализ между практиками Японии и Австрии. Отметим, что система распределения квот Японии был популярен в первый срок действия Киотского протокола. Со временем опыт европейских стран внес корректировки в систему распределения квот. Так возникли системы распределения квот ряда европейских стран, которые рассматриваются в работе на примере Австрии [5].

Предполагается, что каждый промышленный объект получает определенную долю от общего количества квот, предусмотренных для страны в целом. Принцип, по которому строилась система распределения квот Японии, заключается в том, что квота на дополнительные выбросы для отдельного объекта рассчитывается, как объем выбросов по этому объекту в течение базового года, умноженный на отношение общего количества квот на страну к общему объему выбросов в базовом году [5].

$$EA_i = BS_i \cdot CF_i, \quad (1.5)$$

$$CF_i = AT / BST,$$

где:  $EA_i$  – распределение квот на выбросы для отдельного объекта;

$BS_i$  – объем выбросов за базовый год для отдельного объекта;

$CF_i$  – коэффициент коррекции, который подтверждает, что суммирование всех распределений квот отдельных объектов эквивалентно общему количеству распределений квот;

$AT$  – общее количество квот на выбросы вредных веществ в базовом году;

$BST$  – сумма объемов выбросов за базовый год для всех объектов.

Таким образом, информация о количестве выбросов принимается только за базовый период действия программы, то есть подход к распределению выбросов основывается на уровне выбросов за базовый год. Соответственно, большее количество квот на выбросы будет распределено для объектов с большими объемами выбросов в прошлом. То есть, будущее развитие определенного, в нашем случае энергетического, сектора не учитывается в этом методе.

Вышеобозначенная проблема решена, например, в системе распределения квот среди промышленных объектов Австрии. В отличие от японской системы, методика, используемая Австрией, учитывает возможность снижения производства или промышленного роста при распределении квот на выбросы, что позволяет корректировать данные, полученные за базовый период, для более обоснованного распределения квот. То есть, принимаются во

внимание такие параметры, как данные за базовый период, потенциальный коэффициент, коэффициент роста и коэффициент соответствия. Фактически, вводимые коэффициенты корректируют данные во времени. Тогда распределение квот соответствует не только количественным показателям выбросов за базовый период, но и уровню развития электроэнергетики во время действия программы.

Используется следующая формула в системе распределения квот Австрии [5]:

$$EA_i = BS_i \cdot PF_i \cdot GF_i \cdot CF_i, \quad (1.6)$$

$$CF_i = AT / BSTG,$$

где:  $GF_i$  – коэффициент роста для объекта;

$$BSTG = \sum BS_i \cdot PF_i \cdot GF_i,$$

(1.7) где:  $PF_i$  – потенциальный коэффициент для объекта, который рассчитывается по формуле:

$$PF_i = P_{RS} \cdot PFP + P_G \cdot PFG + P_F \cdot PFF, \quad (1.8)$$

где:  $PF_i$  – потенциальный коэффициент для сектора промышленности;

$P_{RS}$  – процент объема общих выбросов  $CO_2$ , произведенный из-за переработки;

$P_G$  – процент объема общих выбросов  $CO_2$ , произведенный из-за выбросов природного газа;

$P_F$  – процент объема общих выбросов  $CO_2$ , произведенный из-за сжигания топлива;

$PFP$  – потенциальный коэффициент эмиссии при технологическом процессе переработки сырья;

$PFG$  – потенциальный коэффициент эмиссии природного газа;

$PFF$  – потенциальный коэффициент эмиссии при сжигании топлива.

В формуле указан общий случай. Для электроэнергетики можно выбрать коэффициент.

Потенциальный коэффициент  $PF_i$  является индексом для определения возможности снижения выбросов объектом и для анализа данных выбросов за прошлые периоды.

В системе распределения квот Австрии потенциальный коэффициент эмиссии при технологическом процессе переработки сырья равняется 1, остальные рассчитываются следующим образом [5]:

$$Y = k \cdot x + d, \quad (1.9)$$

где:  $Y$  – потенциальный коэффициент;

$k$  – константа, равная -0.00145;

$x$  – коэффициент эмиссии  $CO_2$  (тонн  $CO_2$ /ГДЖ);

$d$  – константа, равная 1,04.

Устанавливаются потенциалы глобального потепления, используемые для пересчета в эквивалент диоксида углерода антропогенных выбросов и абсорбции поглотителями парниковых газов.

Каждая сторона берет обязательство проведения учета кадастров выбросов, то есть базы данных результатов инвентаризации и мониторинга выбросов парниковых газов, отражающие динамику выбросов газов из источников.

Вследствие проведенного анализа систем распределения предлагается рассмотреть опыт создания национального плана Австрией для имплементации его в Украине. Более совершенный подход учитывает возможные изменения электроэнергетической отрасли с

развитием экономики, что предоставляет пути к стимулированию генерирующих энергокомпаний и потребителей.

Установив общие правила инвентаризации выбросов и количественные ограничения для каждой стороны-эмитента, необходимо определить следующий этап действия программы. Если генерирующая энергокомпания имеет спрос на дополнительное производство электроэнергии, тогда предложение удовлетворяет спрос. В этом случае электростанция выполняет свою непосредственную функцию по обеспечению потребителей необходимым объемом продукции. За этим следует, что генерирующая энергокомпания несет ответственность за сверхустановленный выброс вредных веществ, что предполагает приобретение квот, или разрешений, на дополнительную единицу выбросов. В обратном случае, если электростанция недоиспользует свои количественные разрешения, то разница будет суммироваться с последующими количественными обязательствами при продлении периода действия соглашения.

Одним из действенных инструментов стимулирования потребителей к прогнозируемому использованию электроэнергии является вовлечение их в рынок электроэнергии «на сутки вперед», который является составляющей рынка двухсторонних договоров и балансирующего рынка (РДДБР) и построен на основе предварительного прогнозирования и последующего выполнения согласованных режимов электропотребления [6,7].

Формирование конкурентного энергорынка предполагает несколько аспектов. В-первых, либерализованный доступ потребителя на рынок электроэнергии является основным компонентом этой модели энергорынка. При такой структуре рынка потребитель получает возможность заключать прямые контракты непосредственно с производителем электроэнергии на долгосрочных (форвардных) рынках по оптовым ценам. Однако, так как избежать неравномерности графика потребления практически невозможно, стратегически важным остается точное прогнозирование потребления при условии последующего выполнения согласованных режимов электропотребления. В случае несоответствия фактического потребления электроэнергии предварительно согласованным графикам потребитель вынужден приобретать избытки на балансирующем рынке по рыночным ценам. То есть, стимулирующим эффектом для потребителя в РДДБР является максимальная предсказуемость его графика электропотребления.

Выполняя свои первоочередные функции по обеспечению потребителей, электрогенерирующая компания не должна быть ответственна за неравномерное использование электрической энергии со стороны потребителей. Поэтому закупка дополнительных квот должна учитываться при формировании цены за 1кВт\*час, перекладываясь на потребителей, чьи графики потребления не соответствуют заявленным ранее на балансирующем рынке (БР). Таким образом, потребитель, который отклонился от ранее заявленного графика, станет оплачивать дополнительную эмиссию выбросов электростанции, пересчитанный на каждый кВт\*час. Если потребитель не отклонился от прогнозируемого графика потребления, но электростанция вынуждена приобретать дополнительные квоты на выбросы, то такая ситуация говорит о необходимости модернизации производства.

Независимо от того, график потребления отклонен в сторону переизбытка или экономии, потребителя необходимо обязать оплачивать дисперсию отклонения от его заранее заявленного объема электроэнергии, так как в обоих случаях электростанция исчерпывает свой уровень количественных обязательств по ограничению выбросов. Необходимо заранее (на момент заключения договора о генерации электроэнергии потребителю) вычислить



денежный эквивалент выбросов вредного вещества на выработку 1 кВт\*час электроэнергии (на выработку 1кВт\*час электроэнергии необходимо определенное количество ТДж, что умножается на цену углерода или другого вредного вещества). При этом следует рассматривать возможности проведения внеплановой модернизации и необходимость повторного пересчета эквивалента.

Соответственно, из графика нагрузки «сутки наперед», подаваемого производителем электроэнергии на БР, следует вычислить дисперсию графика. Далее необходимо определить объем выбросов вредных веществ на соответствующий уровень отклонения от графика нагрузки и перевести в денежный эквивалент, умножив на цену углерода, например, за 1ТДж. Этот расчет следует ввести в образование цены на 1кВт\*час для потребителей, которые отклонились от заранее поданного графика нагрузки.

Необходимо подчеркнуть, что участниками программы сокращения выбросов на основе оплаты за неравномерное потребление со стороны квалифицированного потребителя могут выступать энергогенерирующие компании с использованием традиционного вида топлива. Исходя из того, что АЭС, обеспечивающие базовую мощность, имеют достаточно стабильный график потребления, энергогенерирующие компании на основе альтернативных источников энергии имеют слишком низкий процент использования в Украине и ощущают необходимость дотаций из-за высокой себестоимости продукции, а ГЭС используются только для покрытия пиковых зон энергопотребления, непосредственным субъектом рынка могут стать ТЭС или ГТУ (менее применима в Украине).

Денежные средства, вырученные за генерацию дополнительного объема электроэнергии, по условию программы должны распределяться на мероприятия по увеличению эффективности производства с конечной целью сокращения выбросов. Например, для тепловых электростанций новая схема сжигания угля, разработанная ученым из Университета штата Огайо, может быть внедрена в технологический процесс в качестве мероприятия по снижению выбросов углекислого газа, оксида серы и окисла азота, увеличению энергоэффективности и повышению доходности энергокомпании [8].

Актуальными задачами в ходе действия данной программы могут стать возможность подачи недостоверной информации о реальных выбросах, что предполагает необходимость контроля, а также установление наиболее оптимального лимита. Также важно отметить, что установление лимита и решение других вопросов должно решаться в координации правительственных и неправительственных групп.

### Литература

1. Киотский протокол к Рамочной конвенции Организации Объединенных Наций об изменении климата. – [Действует с 1998 г.]. – К: Организация Объединенных Наций, 1998. – 28с.
2. Framework Convention on Climate Change, issues relating to the transformation of pledges for emission reductions into quantified emission limitation and reduction objectives: methodology and examples. – К: United Nations. - 2011.
3. Второе национальное сообщение Украины по вопросам изменения климата. – К.: Киев. – 2006. – 83с.
4. Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Inventories: Reference Manual, Energy. - К: IPCC. - 1996.
5. Allocation of Greenhouse Gas Emission for Japan Large Emitting Industries under Kyoto Protocol by Grandfathering Rule Approach. – К.:

International Journal of Environmental Science and Development, Vol. 2, No. 5. - October 2011.

6. Праховник А.В., Коцар О.В. Керування режимами електроспоживання в умовах запровадження в Україні ринку двохсторонніх договорів та балансуєчого ринку // Энерг. и электрификация, 2010. - №2 - С.42 - 52.

7. Коцар О.В. Керування режимами електроспоживання кінцевих споживачів в умовах запровадження в Україні ринку двохсторонніх договорів та балансуєчого ринку / Друга міжнародна науково-технічна конференція «Інтелектуальні енергетичні системи – ІЕС (ESS'11)» - Закарпатська обл., Україна, 7-10 червня 2011 р. // Праці Інституту електродинаміки Національної академії наук України. Збірник наукових праць. Спеціальний випуск. Видання наукове. – Київ, 2011 р. – С.121 – 130.

8. Укрудпром. – 2013. – Режим доступу к документу: [http://www.ukrudprom.ua/digest/Predlogena\\_novaya\\_tehnologiya\\_chistogo\\_uglya.html](http://www.ukrudprom.ua/digest/Predlogena_novaya_tehnologiya_chistogo_uglya.html)

УДК 621.317

Галабіцький П.М., студент бакалаврату,  
наук. керівник: к.т.н., доц. Коцар О.В.

### ВИБІР МЕТОДУ ПРОГНОЗУВАННЯ ПОПИТУ НА ЕЛЕКТРИЧНУ ПОТУЖНІСТЬ В УМОВАХ РИНКУ «ДОБА НАПЕРЕД»

*Прогнозування електричного навантаження є одним з найбільш важливих напрямів досліджень в ринковій електроенергетиці. Відповідно до правил функціонування РДДБР учасники ринку повинні щодобово надавати оператору ринку «доба наперед» прогнози планового погодинного електроспоживання наступної доби. Будь-які відхилення від планових значень призведуть до неминучого збільшення вартості електроенергії для учасника ринку, який припустився таких відхилень. Тому завдання вибору якісного методу для достовірного прогнозування попиту на електричну потужність є одним з першочергових в умовах РДДБР.*

*Ключові слова: прогнозування, електричне навантаження, експоненціальне згладжування, модель, штучні нейронні мережі, помилка.*

### ВЫБОР МЕТОДА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СПРОСА НА ЭЛЕКТРИЧЕСКУЮ МОЩНОСТЬ В УСЛОВИЯХ РЫНКА «СУТКИ ВПЕРЕД»

*Прогнозирование электрической нагрузки является одним из наиболее важных направлений исследований в рыночной электроэнергетике. Согласно правилам функционирования РДДБР участники рынка должны ежедневно предоставлять оператору рынка «на сутки вперед» прогнозы планового почасового электропотребления на следующие сутки. Любые отклонения от плановых значений приведут к неизбежному увеличению стоимости электроэнергии для участника рынка, допустившего такие отклонения. Поэтому задача выбора качественного метода для достоверного прогнозирования спроса на электрическую мощность является одним из первоочередных в условиях РДДБР.*

*Ключевые слова: прогнозирование, электрическая нагрузка, экспоненциальное сглаживания, модель, искусственные нейронные сети, ошибка.*

### THE METHOD OF FORECASTING THE DEMAND FOR ELECTRIC POWER IN A MARKET "DAY AHEAD"

*Forecasting of electric load is one of the most important areas of research in the electricity market. According to the rules of functioning of the RDDBR per day up to market participants to provide market operators «day ahead» forecasts of hourly electricity plan the next day. Any deviation from the planned values will lead to an inevitable increase in the cost of electricity market participants, who had made such deviations. Therefore, the task of choosing a qualitative method for reliable prediction of demand for electrical power is a priority in RDDBR.*

*Keywords: forecasting, electrical load, exponential smoothing, model, artificial neural network, error.*

**Вступ.** Запровадження ринку двосторонніх договорів і балансуючого ринку (РДДБР) спрямовано на подальший розвиток конкурентного ринку електроенергії з метою найбільш повного задоволення потреб споживачів в електроенергетичних ресурсах на ринкових засадах. Повномасштабний РДДБР охоплює кілька ринків [6]:

- ринок двохсторонніх договорів (РДД), на якому покупці й продавці укладають контракти на постачання електроенергії на довгострокові періоди (місяць, рік тощо);
- ринок «доба наперед» (РДН), на якому уточнюється графік використання законтракованих на РДД обсягів електроенергії наступної доби;
- балансуєчий ринок (БР), на якому в реальному часі узгоджуються поточні рівні попиту й пропозиції на електричну потужність (електроенергію).

РДН застосовується з метою уточнення очікуваного попиту на електричну потужність (електроенергію) наступної доби з розподілом за визначеними в енергоринку часовими інтервалами з метою своєчасного залучення необхідних для його покриття електроенергетичних потужностей і має базуватися на середньострокових прогнозах параметрів режимів електроспоживання.

Залучення споживачів електроенергії до балансування ринку має на меті підвищення надійності та якості електропостачання, зниження непродуктивних витрат та втрат електроенергії, підвищення ефективності режимів електроспоживання, зниження вартості електроенергії, економію паливно-енергетичних ресурсів, що врешті-решт позитивно вплине на екологію довкілля. В умовах, коли рівномірного графіку електроспоживання досягти практично неможливо, найбільшу економію паливно-енергетичних ресурсів можна отримати через якомога точніше узгодження прогнозованих рівнів виробітку та використання електричної потужності в кожний момент часу [6].

**Достовірне прогнозування споживачем власного попиту на електричну потужність.** Іншими словами: чим якісніший прогноз - тим вище вірогідність його виконання. Таке прогнозування має виконуватися за допомогою ефективних математичних методів, адаптованих до індивідуальних характеристик кожного кінцевого споживача, і базуватися, зокрема, на достовірних даних щодо його режимів електроспоживання за попередні періоди. Алгоритми прогнозування повинні функціонувати в автоматизованому (діалоговому) режимі і забезпечувати можливість врахування коригувань споживача щодо уточнення параметрів режимів електроспоживання наступної доби, зумовлених, наприклад, зміненням обсягів виробництва, переналаштуванням технологічних циклів, врахуванням погодних умов тощо. За результатами такого прогнозування споживач замовляє системному оператору уточнений графік навантаження на наступну добу.

Можна вважати, що прогнозування є чи не основною метою і завданням великого числа фахівців, що займаються підвищенням ефективності режимів електроспоживання. Сучасні методи статистичного прогнозування дозволяють з високою точністю прогнозувати практично всі можливі показники. Під час аналізу часових рядів можна виділити дві основні мети [5]:

- визначення природи часового ряду;
- прогнозування майбутніх значень часового ряду по теперішнім і минулим значенням;

Однак треба пам'ятати, що не існує універсальних методик прогнозування на всі випадки життя. Вибір методу прогнозування і його ефективність залежать від багатьох умов, і зокрема від необхідної довжини або часу прогнозування. За часом прогнозування можна поділити на короткострокове (на наступні 10, 15, 30, 60 хв.), середньострокове (на добу наперед) і довгострокове (на місяць, рік наперед).

Середньостроковий прогноз характеризує собою прогноз «на завтра», тобто прогноз на кілька кроків вперед. Одними з найпоширеніших методів, які можуть бути застосовані для середньострокового прогнозування, є [5]: експоненціальне згладжування [11], модель ARIMA (інтегрована модель авторегресії - плаваючого середнього [1]) та нейронні мережі [9].

Для побудови прогнозу важливо якісно оперувати параметрами, які використовуються під час побудови моделей. Це і виділення тренда, циклічної складової ряду, тренд циклічної, сезонної складової і шумової компоненти; та дослідження автокореляційних функцій з метою виявлення сезонності, побудови періодограми і обчислення сезонного лага (наприклад, за допомогою спектрального аналізу Фур'є).

Після побудови будь-якої моделі важливо перевіряти, наскільки адекватно вона описує наш ряд. Для цього можна, по-перше, провести візуальний аналіз із зсувом прогнозу на кілька кроків назад. А по-друге, скористатися аналізом залишків - стандартним методом перевірки адекватності будь-якої статистичної моделі.

Для наочного уявлення застосовності моделей залежно від тривалості прогнозу зручно користуватися наведеною нижче таблицею 1 [5]:

Таблиця 1

Метод	Термін прогнозу		
	Короткостроковий	Середньостроковий	Довгостроковий
ARIMA	+	+/-'	-
Експоненціальне згладжування	+/-'	+	-
Нейронні мережі	+	+	+

Аналіз якості прогнозування для конкретних графіків проводився на базі трьох моделей: експоненціального згладжування, моделі ARIMA та штучної нейронної мережі.

Для аналізу було використано 1440 початкових значень 30-хвилинних обсягів електроспоживання за період з 1.06.2012р. по 30.06.2012р. підприємства хімічної промисловості. Часовий ряд значень електроспоживання представлений в таблиці 2 і на рисунку 1.

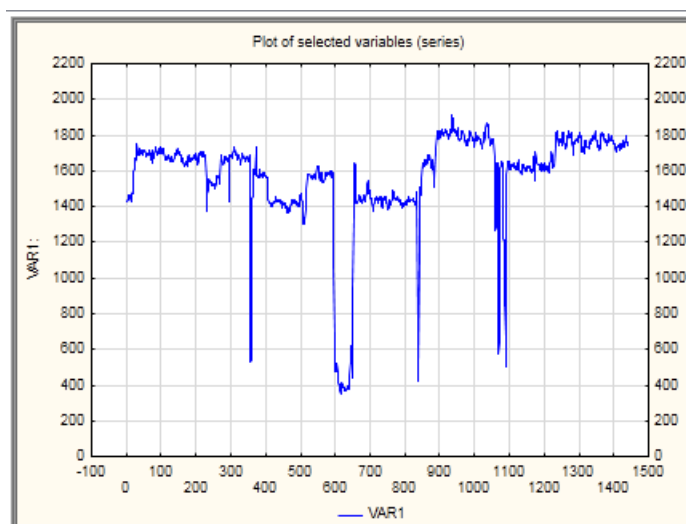


Рисунок 1. Часовий ряд значень електроспоживання.

Таблиця 2

Дата	День тижня	Час	Електроспоживання, МВт*год
01.06.2012	5	00:30	1 290
01.06.2012	5	00.30:01.00	1 266
01.06.2012	5	01.00:1.30	1 273
01.06.2012	5	01.30:2.00	1 280
01.06.2012	5	02.00:02.30	1 293
01.06.2012	5	02.30:03.00	1 263
01.06.2012	5	03.00:03.30	1 279
01.06.2012	5	03.30:04.00	1 304
01.06.2012	5	04.00:04.30	1 330
-----	-----	-----	-----
30.06.2012	5	21.30:22.00	1 481
30.06.2012	5	22.00:22.30	1 414
30.06.2012	5	22.30:23.00	1 359
30.06.2012	5	23.00:23.30	1 295
30.06.2012	5	23.30:00.00	1 262

**1. Прогнозування за допомогою моделі ARIMA.** Проводилося в програмі STATISTICA. STATISTICA надає потужні та зручні у використанні інструменти для статистичного та графічного аналізу, прогнозування, аналізу даних, створення власних аплікацій, інтеграції, вебдоступу тощо [5]. У результаті ідентифікації моделі, оцінювання її параметрів і перевірки на адекватність за допомогою аналізу залишків був зроблений висновок про найбільш оптимальну сезонну модель типу ARIMA (2,0,0) (2,1,0), (сезонний лаг S = 48). Ідентифікація параметрів моделі детально розглядається в [1].

У середині 90-х років минулого століття був розроблений принципово новий і досить потужний клас алгоритмів для прогнозування часових рядів. Більша частина роботи з дослідження методології та перевірки моделей була проведена двома статистиками: Г.Е. Боксом (G.E.P.Box) і Г.М. Дженкінсом (G.M. Jenkins). З тих пір побудову подібних моделей і одержання за їхньою допомогою прогнозів часто називають методами Бокса-Дженкінса. Ці методи містять кілька алгоритмів. Найвідомішим і найчастіше використовуваним з них є алгоритм ARIMA. Він вбудований практично в будь-який спеціалізований пакет для прогнозування. У класичному варіанті ARIMA не використовують незалежні змінні. Моделі спираються лише на інформацію, яка міститься в передісторії прогнозованих рядів, що обмежує можливості алгоритму. В цей час у науковій літературі часто згадуються моделі ARIMA, що дозволяють враховувати незалежні змінні. На відміну від розглянутих раніше методик прогнозування часових рядів, в методології ARIMA не передбачається якої-небудь чіткої моделі для прогнозування обраної часової серії. Задається лише загальний клас моделей, що описують часовий ряд і дозволяють в певний спосіб виражати поточне значення змінної через її попередні значення. Потім алгоритм переоцінює внутрішні параметри і самостійно

обирає найдоцільнішу модель прогнозування. Як вже зазначалося вище, існує ціла ієрархія моделей Бокса-Дженкінса. Логічно її можна визначити так [1]:

$$AR(p) + MA(q) \rightarrow ARMA(p, q) \rightarrow ARMA(p, q)(P, Q) \rightarrow ARIMA(p, d, q)(P, D, Q) \quad (1)$$

В якості міри оцінки точності прогнозування використовувався показник MAPE (mean absolute percentage error - середня абсолютна відносна помилка). На рисунку 2 подані графіки 144 фактичних і 48 прогнозних значень електроспоживання.

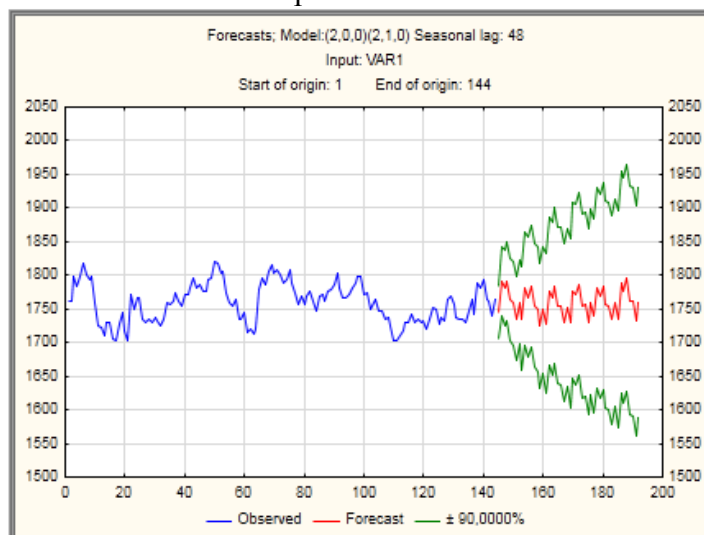


Рисунок 2. Графіки фактичних і прогнозованих значень електроспоживання, побудовані за допомогою моделі ARIMA

**2. Метод експоненціального згладжування.** Експоненціальне згладжування є одним з найпоширеніших методів короткострокового прогнозування, який базується на аналізі ряду динаміки. Розрізняють експоненціальне згладжування першого та вищого порядків. Згідно з цим методом прогнозні показники на плановий період розраховуються з використанням прогнозних і фактичних даних звітного (попереднього) періоду [4]. Проста і прагматично ясна модель часового ряду має такий вигляд:

$$X_t = b + \xi_t \quad (2)$$

де:  $b$  – константа;  $\xi$  (епсilon) – випадкова помилка.

Точна **формула простого експоненціального згладжування** має наступний вигляд:

$$S_t = \alpha \cdot X_t + (1-\alpha) \cdot S_{t-1} \quad (3)$$

**Адитивна модель:**

$$I_t = I_{t-p} + \delta \cdot (1-\alpha) \cdot e_t \quad (4)$$

**Мультиплікативна модель:**

$$I_t = I_{t-p} + \delta \cdot (1-\alpha) \cdot e_t / S_t \quad (5)$$

**Автоматичний пошук найкращого параметра.** Для мінімізації середньоквадратичної помилки, середньої абсолютної помилки або середньої абсолютної відносної помилки використовується квазі-ньютонівська процедура (та ж сама, що і в ARIMA). У більшості випадків ця процедура більш ефективна, ніж звичайний перебір на сітці (особливо, якщо параметрів згладжування декілька), і оптимальне значення параметрів моделі можна швидко знайти [4]. На рисунку 3 подані графіки фактичних і прогнозованих значень.

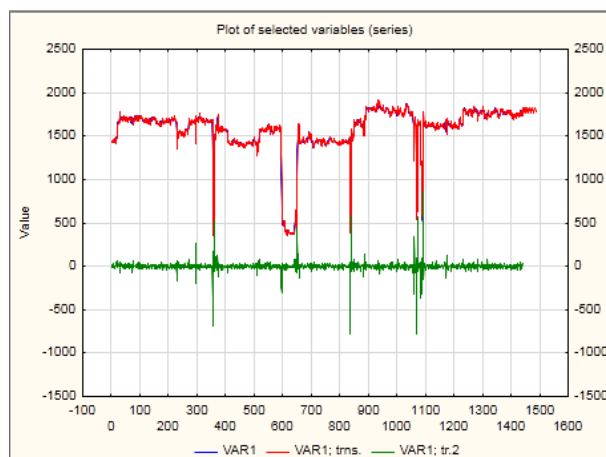


Рисунок 3. Графіки фактичних і прогнозних значень, а також залишків побудовані за допомогою експоненціального згладжування

**3. Штучні нейронні мережі.** Штучні нейронні мережі – це засоби, що засновані на паралельній обробці інформації усіма своїми структурними складовими. Вони володіють здатністю до навчання та узагальнення накопичених знань. Нейронним мережам притаманні риси штучного інтелекту. До функцій, що виконуються нейронними мережами, відносяться апроксимація, класифікація, прогнозування, оцінювання. Однак нейронні мережі мають і недоліки. Відомо, що нейронні мережі спроможні автоматично накопичувати знання. Але сам процес їхнього навчання проходить досить повільно, а подальший аналіз вже навченої нейронної мережі є складним. Багато з цих недоліків можуть бути розв’язані за допомогою систем з нечіткою логікою[7].

Саме нечітке керування є найбільш корисним, в тому випадку, якщо технологічні процеси є занадто складними для аналізу за допомогою загальноприйнятих методів, або коли вихідна інформація інтерпретується неточно, невизначено. Для користувача такі системи є зручними ще й тим, що вони дозволяють йому бачити структуру системи нечіткого виводу і вносити до неї необхідні зміни. Резюмуючи вище сказане можна помітити, що штучні нейронні мережі і системи з нечіткою логікою еквівалентні один одному. Головна ідея нечітких нейронних мереж полягає у тому, що використовується існуюча вибірка даних для визначення параметрів функцій приналежності, які найкраще відповідають деякій системі логічного висновку, а висновки робляться на основі апарату нечіткої логіки.

Процес прогнозування навантаження може складатися з наступних етапів: підбір архітектури нечіткої нейронної мережі; вибір навчальних і тестових даних; тренінг мережі; тестування мережі на контрольній множині даних; використання мережі в якості засобу прогнозування; можливе до навчання [7], [8]. На рисунку 4 подані графіки останніх 24 фактичних і 8 прогнозних значень .

Порівняння означених підходів ґрунтується на прикладі вирішення завдання добового прогнозування величини електричного навантаження. Головними критеріями порівняння цих методів є помилка прогнозування (точність), здатність моделі адекватно працювати за неповної вхідної інформації, стійкість до завад (іншими словами стійкість до спотвореної, неточної інформації).



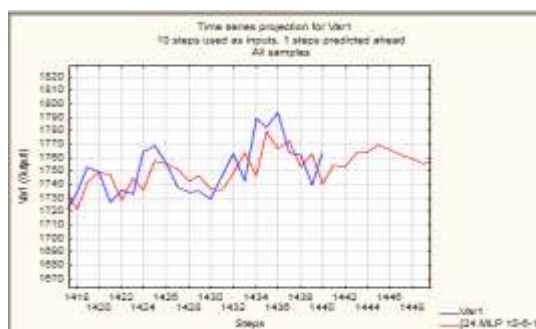


Рисунок 4. Графіки фактичних і прогнозних значень, побудовані за допомогою штучної нейронної мережі

**Дослідження адекватності моделі [2]** виконаємо на прикладі моделі ARIMA. Важливим є питання: наскільки побудована модель адекватно описує досліджуваний ряд? Очевидно, що неадекватній моделі не можна довіряти. Для дослідження адекватності моделі досліджують залишки, що є різницями даних значень і прогнозованих за допомогою обраної моделі значень. У програмі STATISTICA є спеціальні засоби дослідження залишків. Наявність значень, які різко виділяються на графіках автокореляції, свідчить про неадекватність моделі. Отже, досліджуючи залишки, дістаємось висновку щодо адекватності або неадекватності побудованої моделі часового ряду. У вірно побудованій моделі залишки будуть дуже схожі на білий шум: у них не буде періодичних коливань, систематичного зсуву, між ними не буде суттєвих кореляцій.

На рисунку 5 подані графіки автокореляційних функцій.

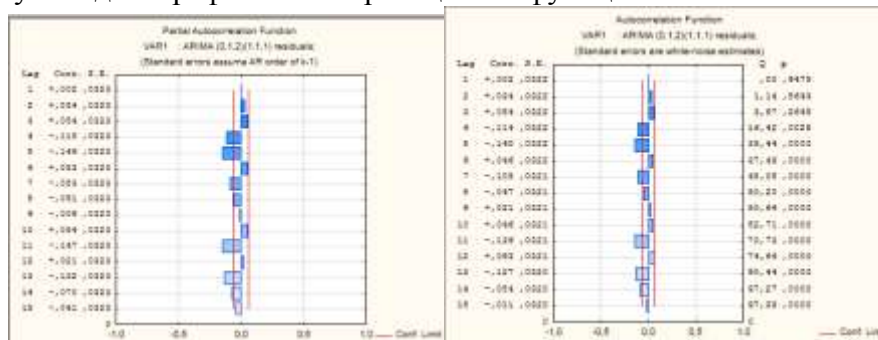


Рисунок 5. Графіки автокореляційних функцій

З графіків видно, що модель достатньо адекватно описує вихідний ряд. Ряд залишків майже не відрізняється від білого шуму. На рис. 6 поданий графік нормального розподілу залишків.

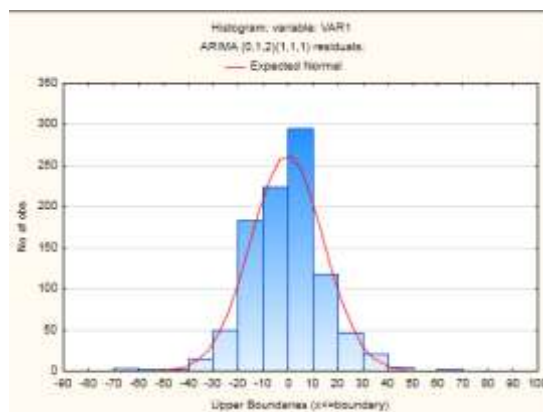


Рисунок 6. Графік нормального розподілу залишків

Таблиця 3. Середня абсолютна відносна помилка кожного з методу.

1718,16	1792,217	0,043103		1755,625	0,021805		1762,106	0,025577	
1733,08	1804,376	0,041139		1771,019	0,021891		1762,158	0,016778	
1742,24	1819,624	0,044417	Damped multi	1783,157	0,023485	(0;1;2)(1;1;1)	1762,194	0,011453	Нейронні
1727,44	1819,569	0,053333	Екс. Згладжування	1768,461	0,023747	ARIMA	1762,212	0,020129	мережі
1734,56	1814,620	0,046156		1759,133	0,014167		1762,215	0,015944	
1731,44	1802,734	0,041176		1755,110	0,013671		1762,210	0,017772	
1737,32	1788,613	0,029524		1753,977	0,009588		1762,210	0,014327	
1746,32	1780,911	0,019808	0,029514698	1768,890	0,012924	0,016759	1762,210	0,009099	0,0123747
			MAPE			MAPE			MAPE

Таблиця 4. Дані щодо похибок.

Метод	Дисперсія	Середньоквадратична похибка
Експотенціальне згладжування	6325,481611	79,53289641
ARIMA	2003,567056	44,76122269
Штучна нейронна мережа	1073,708028	32,76748431

Чим менші значення дисперсії та середньоквадратичної помилки, тим вища точність моделі. На практиці в якості знаменника для дисперсії часто приймають величину  $(n - k)$ , де:  $k$  – число оцінюваних коефіцієнтів моделі.

**Висновок.** Вимоги РДДБР щодо точності прогнозування електричного навантаження (електроспоживання) на ринку «доба наперед» призводять до того, що розроблені раніше методи не завжди забезпечують необхідну точність результатів. Тому розробляються впроваджуються нові підходи до прогнозування електричного навантаження (електроспоживання).

У роботі виконано порівняння найпоширеніших методів прогнозування часових рядів за допомогою експоненціального згладжування, моделі ARIMA та штучних нейронних мереж. Розрахунки проводилися на прикладі часового ряду значень електроспоживання за допомогою програми STATISTICA. Виявлено, що метод штучних нейронних мереж є найкращим з

досліджуваних з точки зору точності прогнозування, але підлягає подальшому удосконаленню в частині коефіцієнтів, структури та послідовності дій з метою застосування цього методу на практиці. Середня абсолютна відносна помилка прогнозування за допомогою цього методу на досліджуваному часовому ряді значень електроспоживання склала 1,2%, а найбільшу помилку прогнозування на досліджуваному часовому ряді серед трьох порівнюваних методів дав метод експоненціального згладжування – 2,9%. Модель ARIMA дала помилку прогнозування 1,6%.

Оскільки під час прогнозування на досліджуваному часовому ряді найточніші результати отримано за допомогою методу штучних нейронних мереж, а також враховуючи його переважні якості, подальші дослідження доцільно спрямувати на вдосконалення саме цього методу з метою достовірного прогнозування електричного навантаження (електроспоживання) в РДДБР на ринку «доба наперед».

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бокс Дж. Анализ временных рядов. Прогноз и управление. В 2 т. /Дж.Бокс, Г.Дженкинс – М.: Мир, 1974 – 608с.
2. Боровиков В.П., Ивченко Г.И. Прогнозирование в системе STATISTICA в среде Windows. Основы теории и интенсивная практика на компьютере // Учеб. пособие – Москва, 2000 – 384с.
3. Нейронные сети. Statistica Neural Networks. Методология и технологии современного анализа данных //Под редакцией В.П.Боровикова – Москва, 2008 – 392с.
4. StatSoft Электронный учебник по статистике [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://www.statsoft.ru/home/textbook/default.htm>.
5. Прогнозирование в STATISTICA [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://www.statsoft.ru/solutions/tasks/forecast/>.
6. Керування режимами електроспоживання кінцевих споживачів в умовах запровадження в Україні ринку двохсторонніх договорів та балансуєчого ринку / Друга міжнародна науково-технічна конференція «Інтелектуальні енергетичні системи – ІЕС (ESS'11)» - Закарпатська обл., Україна, 7-10 червня 2011 р. // Праці Інституту електродинаміки Національної академії наук України. Збірник наукових праць. Спеціальний випуск. Видання наукове. – Київ, 2011 р. – С.121 – 130.
7. Манусов В.З., Бирюков Е.В. Краткосрочное прогнозирование электрической нагрузки на основе нечеткой нейронной сети и ее сравнение с другими методами / Новосибирский государственный технический университет // Наукова стаття – 2008 – 6с.
8. Нейронные сети STATISTICA [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://www.statsoft.ru/tv/screen-video/neural-networks/>.
9. Праховник А.В., Коцар О.В. Методология керування режимами електроспоживання в умовах енергоринку // Свідectво про реєстрацію авторського права на твір № 29784 від 05.08.2009р. – 16с.
10. Everette S. Gardner, Jr., Exponential smoothing: The state of the art – Part II //2005 – 81с.

УДК 621.316

Поліщук О.Ю. студ.  
наук.керівник: доц., канд.техн.наук Коцар О.В.**ВИБІР ЛІЧИЛЬНИКІВ ДЛЯ КОМЕРЦІЙНОГО ОБЛІКУ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ У СПОЖИВАЧІВ**

*Анотація - В цій статті розглядаються шляхи та критерії вибору споживачами лічильників комерційного обліку електроенергії для застосування їх в автоматизованих системах комерційного обліку електроенергії. Розглянуто та систематизовано вимоги нормативних та інших документів щодо вибору споживачами засобів диференційованого обліку електроенергії та інших технічних засобів АСКОЕ. Розглянуто найбільш поширені в Україні типи лічильників електроенергії, пристроїв збирання та передавання даних. Систематизовано їхні технічні характеристики, в т.ч. функціональні можливості. Сформульовано загальні вимоги, які повинні висуватися до засобів диференційованого обліку електроенергії в умовах різних моделей енергоринку України.*

*Аннотация – В этой статье рассматриваются пути и критерии выбора потребителями счетчиков коммерческого учета электроэнергии для применения их в автоматизированных системах коммерческого учета электроэнергии. Рассмотрены и систематизированы требования нормативных и других документов относительно выбора потребителями средств дифференцированного учета электроэнергии и других технических средств АСКУЭ. Рассмотрены наиболее распространенные в Украине типы счетчиков электроэнергии, устройств сбора и передачи данных. Систематизированы их технические характеристики, в т.ч. функциональные возможности. Сформулированы общие требования, которые должны предъявляться к средствам дифференцированного учета электроэнергии в условиях разных моделей энергорынка Украины.*

*Annotation – In this article ways and criteria users choice of meters for commercial accounting of electrical energy are examined for application them in the automatithation systems of commercial accounting of electrical energy. Considered and systematized requirement of normative and other documents in relation to the users choice facilities for the differentiated accounting of electrical energy and other hardware for the automatithation systems of commercial accounting of electrical energy. The most widespread in the Ukraine types of watt-hours meters, devices of collection and communication of information are considered. Their technical characteristics, including functional possibilities, are systematized. General requirements which must be produced to facilities of the differentiated accounting of electrical energy in the conditions of different models of electricity market of Ukraine are formulated.*

Вірний вибір лічильника електроенергії – один з перших кроків для успішного та контрольованого контролю коштів, що витрачаються споживачами на закупівлю електроенергетичних ресурсів. Втім саме питання вибору лічильника за його характеристиками стає неабиякою проблемою, адже в умовах обмеженості інформації від фірм-постачальників, зацікавлена особа (надалі – споживач) не має можливості зробити вірний вибір серед запропонованої продукції.

В наш час є досить актуальним пошук інформації в Інтернет, тому саме у цей спосіб виробники інформують покупців щодо своєї продукції. Також серед можливих варіантів є

представлення фірмою-виробником або дилером власних продуктів на виставках. Останній спосіб дозволяє потенційному споживачу не лише оглянути на власні очі обраний лічильник, але й отримати консультацію від фахівців фірми. Але, на мій погляд, людський фактор та суб'єктивний погляд співробітників-консультантів іноді дещо заважає спілкуванню. Так, з одного боку, метою присутності фірми на виставках є залучення якомога більше клієнтів, та з іншого боку не кожен відвідувач може отримати відповіді на свої питання, зокрема якщо він не представник зацікавленої фірми, а звичайний студент.

Наприклад, відвідуючи виставку «Енергетика в промисловості України – 2011» у вересні 2011 року я особисто переконалась що за відсутності бейдж з назвою фірми, яку ти представляєш, робити біля стенду фірми-представника нема чого. Зрозуміло, що не кожен консультант завжди має змогу витратити сили на ознайомлення кожного відвідувача з технічними характеристиками продукції фірми та їхніми відмінностями від продукції інших виробників. Але ж саме для цього представники фірм-виробників і перебувають на таких заходах. Треба розуміти, що одержавши рекламу фірми з адресою сайту, споживач піде шукати більш уважного і доброзичливого фахівця, який переконаний, що самостійне ознайомлення споживача з матеріалами, викладеними на сайті, не завжди може бути вирішальним аргументом на шляху обрання лічильника.

Пошук інформації в Інтернеті можна здійснити в два способи:

- 1) споживач націлений на конкретну фірму-виробника та обирає необхідний йому лічильник серед її продукції;
- 2) вибір здійснюється за технічними характеристиками необхідного покупцю лічильника, ім'я фірми-виробника при цьому враховується, але не має переважного значення.

Незалежно від способу вибору, споживач має переконатись, що обраний ним лічильник занесений до Державного реєстру засобів вимірювальної техніки (ЗВТ), допущених до застосування в Україні (в подальшому – Держреєстр України), який в т.ч. містить перелік типів лічильників, дозволених до використання для комерційного обліку електричної енергії. Наявність українського сертифікату затвердження (відповідності) типу свідчить про відповідність лічильника національним стандартам та можливість його використання на території України.

Окрім цього слід також враховувати рекомендації обласних електропередавальних компаній – постачальників за регульованим тарифом (ПРТ) на території області, в якій розташований споживач – таким чином полегшується обслуговування застосованих споживачем лічильників з боку ПРТ. Слід відзначити, що юридично споживач може обрати лічильник з Держреєстру України не враховуючи рекомендації ПРТ. Але в цьому випадку він зобов'язаний за власний кошт передати обраний ЗВТ до організації, яка має уповноваження на проведення перевірки ЗВТ цього типу. Тому, враховуючи посилання на рекомендації з боку ПРТ, був проведений аналіз інформації, що міститься у технічних рекомендаціях або технічних умовах, які надаються споживачам з боку ПРТ.

В ході досліджень було виявлено, що вищезазначена інформація відсутня на інформаційних сайтах. На жодному сайті ПРТ станом на 01.03.2012р. з незрозумілих причин не викладено технічних рекомендацій щодо рекомендованих типів засобів диференційованого обліку електроенергії, каналів передавання даних та рекомендованих форматів даних комерційного обліку відповідно до вимог п.3.8. Правил користування електричною енергією (ПКЕЕ). За звичай на сайтах здійснюються посилання загального характеру на ПКЕЕ та Правила улаштування електроустановок (ПУЕ), але конкретних рекомендацій з зазначених питань не викладено. На окремих інформаційних сайтах ПРТ у розділі «Питання-відповідь» зазначають необхідність наявності лічильника у Держреєстрі України та попередне (до

придбання) узгодження споживачем його типу з ПРТ на відповідність вимогам нормативних документів (ПУЕ, ПКЕЕ, Правилам безпечної експлуатації електроустановок споживачів/ПБЕЕС/). З цього можна зробити висновок, що ПРТ не зацікавлені у прозорому наданні такої інформації споживачу. Тому така інформація була отримана в інший спосіб, в т.ч. шляхом аналізу технічних умов на приєднання електроустановок споживачів на території окремих ПРТ. Результати досліджень зведено в табл. 1.

Таблиця 1

Найменування ПРТ	Рекомендовані лічильники електроенергії	Рекомендовані канали передавання даних комерційного обліку	Рекомендовані протоколи передавання даних комерційного обліку	Рекомендовані формати представлення даних комерційного обліку
ПАТ “Волиньобленерго”	SL7000 (Actaris); Z...D 410 (Landis&Gyr); LZQJ-XC (EMH)	GSM/GPRS- канали; Інтернет	FTP; УППДВ	1)E-mail: - макет 30818; - макет 30917; - макет 30817. 2)Доступ до лічиль- ників за допомогою оригінальних комуні-каційних протоколів або УППДВ.
ПАТ ЕК “Житомиробленер- го”	SL7000 (Actaris); ACE6000 (Actaris)			1)E-mail: - макет 30818; - макет 30917.
ПАТ “Київенерго”	SL7000 (Actaris); A1805 (Elster- Metronica); ZMD405 (Landis&Gyr); ZMG405 (Landis&Gyr); Меркурій 233 ART2-03 (ТОВ «Інкотекс»); EPQS (Scateks-Elgama); LZQJ-XC (EMH)			2)E-mail (в разі побудови АСКОЕ): - макет 30818; - макет 30917
ПАТ “АЕС Київобленерго”	ZMD4xx (Landis&Gyr); A18xx (Elster- Metronica); A114x (Elster- Metronica); SL7000 (Actaris); ACE6000 (Actaris)	GPRS-канали	IEC 60870-5-101; IEC 60870-5-104; УППДВ	Зчитування за запитом: - графік (потужність); - покази на поч. доби; - миттєві знач. U, I, ...; - журнал подій
ПАТ “Львівобленерго”	ЗВТ, що занесено до Держреєстру України; СОУ-Р МПЕ 40.1.35.110: 2005	GSM-канали		1)Доступ до лічильників за допомогою оригі- нальних комунікаційних протоколів;
ПАТ “Миколаївоблене- рго”	SL7000 (Actaris); Нік2303 (ТОВ «НІК- електротехніка»); Меркурій 230 (ТОВ «Інкотекс»)	GSM/GPRS- канали; Радіоканали; Ethernet; Dial-up-канали	SPX/IP; TCP/IP; SQL	1)E-mail: - макет 30818; - макет 30917. 2)Доступ до лічильників за

				допомогою оригінальних комунікаційних протоколів
ПАТ “Полтаваобленерго”	НЕ РЕКОМЕНДОВАНО		IEC 62056 (DLMS) IEC 1107	
ПАТ “Прикарпаттяобленерго”	ZMD 410 (Landis&Gyr); SL7000 (Actaris)	Інтернет; GSM-канали; CDMA-канали; Ethernet; Dial-up-канали	IEC 62056 (DLMS) IEC 61107; IEC 1107	1)Доступ до лічильників; 2)E-mail: - макет 30818; - макет 30917
ПАТ “АЕС Рівнеобленерго”	SL7000 (Actaris); ACE6000 (Actaris); ZMD (Landis&Gyr); ZFB (Landis&Gyr); LZQM (Scateks-Elgama); ET (ЗАТ «Елвін»); EA (Elster-Metronica)	GPRS-канали; EDGE-канали	УППДВ; IEC 62056 (DLMS) TCP/IP	1)Зчитування за запитом 2)E-mail: - макет 30818; - макет 30917.
ПАТ ЕК “Севастопольенерго”	ZMD 400 (Landis&Gyr); ZMD 300 (Landis&Gyr); SL7000 (Actaris).	GSM-канали		1)Доступ до лічильників за допомогою оригінальних комунікаційних протоколів; 2)E-mail: - макет 30818; - макет 30917
ПАТ “Сумиобленерго”	ЗВТ, що відповідають вимогам чинного законодавства (ПКЕЕ п.3.7, ПУЕ п.1.5.6-1.5.28)	НЕ РЕКОМЕНДОВАНО	IEC 62056 (DLMS)	НЕ РЕКОМЕНДОВАНО
ВАТ “Тернопільобленерго”	ЗВТ, що занесено до Держреєстру України	НЕ РЕКОМЕНДОВАНО	НЕ РЕКОМЕНДОВАНО	НЕ РЕКОМЕНДОВАНО
ПАТ “Чернігівобленерго”	Z...D 410 (Landis&Gyr); ET3 (ЗАТ «Елвін»); LZQJ-XC (EMH).	GSM-канали		1)Доступ до лічильників за допомогою оригінальних комунікаційних протоколів; 2)E-mail: - макет 30818; - макет 30917.

Технічні рекомендації інших ПРТ на цей час отримати не вдалося. Перелік найчастіше рекомендованих типів лічильників (за результатами аналізу наявної інформації) наведений у табл.2.

Таблиця 2

№ п.п	Тип лічильника	Тип лічильника Фірма-виробник
1	SL7000	Actaris
2	ZMD	Landis&Gyr
3	LZQJ-XC	EMH
4	ACE6000	Actaris
5	A18xx	Elster-Metronica
6	ETx	ЗАТ «Елвін»
7	ZMG	Landis&Gyr
8	Меркурій 233 ART2-03	ТОВ «Інкотекс»
9	A114x	Elster-Metronica
10	Нік2303	ТОВ «НІК–електротехніка»
11	Меркурій 230	ТОВ «Інкотекс»
12	LZQM	Scateks-Elgama

Під час вибору лічильників для комерційного обліку електричної енергії споживачу необхідно звертати увагу на наступні технічні характеристики:

- параметри приєднання до електричної мережі (фазність, рівень напруги, сила струму, схема приєднання) визначають такі технічні характеристики лічильника, як фазність (однофазний або трифазний), номінальна напруга  $U_n$  (сучасні модифікації лічильників, як правило, виготовляються універсальними з програмованою номінальною напругою в діапазоні 57..415 В), номінальний струм  $I_n$  (обирається із ряду 1, 5, 20..120 А, хоча в найсучасніших модифікаціях окремих типів лічильників, наприклад ACE6000, цей параметр також може програмуватися в діапазоні 1-120 А), схема приєднання трифазного лічильника до трифазної електричної мережі (трипровідна або чотирипровідна) залежить від кількості дротів в мережі;

- клас точності – узагальнена метрологічна характеристика засобу вимірювань, що визначається границями його допустимих основної та додаткових похибок, а також іншими характеристиками, що впливають на його точність, значення яких регламентуються. Клас точності лічильника вираджується у відсотках від найбільшого значення величини, яка вимірюється у даному діапазоні роботи лічильника. Клас точності лічильника слід обирати відповідно до Інструкції про порядок комерційного обліку електроенергії в залежності від параметрів електричної мережі і вимірюваної потужності в точці обліку;

- міжповірочний інтервал – період часу, по завершенню якого лічильник має бути підданий державній повірці. Як правило, міжповірочний інтервал для 1-фазного електронного лічильника складає 8-16 років, а для 3-фазного – 6 років;

- робочі умови застосування визначають, в яких умовах експлуатації може застосовуватися даний лічильник, в т.ч. чи може він застосовуватися поза приміщенням електроустановки;

- види енергії (потужності) – активна або активна та реактивна - вказує на технічну можливість обліку активної енергії та інтегрованої в часі реактивної потужності, а у випадку з реактивною – визначення встановленої потужності компенсуючих пристроїв. Важливою



характеристикою лічильника також є можливість обліку активної енергії інтегрованої в часі реактивної потужності в двох напрямках (+A, -A, +R, -R), а також інтегрованої в часі реактивної потужності по чотирьох квадрантах (R1, R2, R3, R4);

- кількість тарифів вказує на можливість застосування під час розрахунків за спожиту електроенергію тарифів, диференційованих за зонами доби. Адже відомо, що за одноставкового тарифу вартість електроенергії єдина впродовж всієї доби, а за одноставкового тарифу, диференційованого за зонами доби вартість електроенергії диференціюється в залежності від годин доби, що має характерний вплив на оплату спожитої електроенергії;

- споживання енергії (потужності) лічильником на власні потреби – величина, що обмежується чинними стандартами. Для трансформаторних лічильників (що вмикаються через вимірювальні трансформатори струму), спожита потужність по кожному струмовому ланцюгу за номінальної величини струму не повинна перевищувати 2,5 ВА, для класів точності 0,5;1;1,5 – активна 3Вт, повна 12 ВА, для класів точності 2,0; – відповідно 2 Вт та 8 ВА.;

- глибина зберігання даних комерційного обліку (графіки навантаження, покази на початок розрахункового періоду, кількість електроенергії за розрахунковий період тощо) повинна відповідати вимогам чинних нормативних документів оптового та роздрібного ринків електричної енергії, а її мінімальна величина повинна охоплювати значення за поточний та попередній розрахунковий періоди;

- період інтеграції графіку електричних навантажень – інтервал часу, за який фіксується значення електричних навантажень, усереднених за цей інтервал. Можливість вибору періоду інтеграції графіка навантаження з визначеного ряду сприяє одержанню більш точної інформації про характер навантаження об'єкта;

- параметри програмування комунікаційних портів для інформаційного обміну з електропередавальною організацією або відповідним оператором даних комерційного обліку, що визначаються з урахуванням вимог;

- стандарт комунікаційного протоколу лічильника обирається відповідно до нормативних вимог і технічних характеристик пристроїв збирання та передавання даних (ПЗПД) щодо електроспоживання і суттєво впливає на ефективність застосування автоматизованих систем комерційного обліку електроенергії (АСКОЕ).

Отже, було розглянуто 10 фірм-виробників та постачальників найчастіше рекомендованих лічильників електроенергії та проаналізовано доступність та повноту інформації про ці лічильники. Результати досліджень зведено в табл.3.

Також було здійснено пошук та виконано аналіз технічних характеристик пристроїв збирання та передавання даних (ПЗПД) обліку електроенергії. Результати досліджень зведено в табл.4.

Таблиця 3

Характеристики	Номер у Держреєстрі	Фазність, серія	Клас точності	Міжповітроочний інтервал, років	Номінальна напруга, В	Номінальний струм, А	Наявність прямого включення у трифазного лічильника, I <sub>max</sub> , А	Власне споживання лічильника, не більше		Вимірювана потужність	Макс. кількість тарифних зон	Максимальна глибина вимірюваних значень електроенергії		Можливі періоди інтеграції графіку ел. навантаження, хв	Кількість комунікаційних портів	Стандарт комунікаційного протоколу	Макс. вага, кг	Робочий діапазон температур, °С
		3						у ланцюгах напруги	у ланцюгах струму			Добова	Місячна					
		1																
ИСКРАСИ	У3067-10	МТ	1,0/2,0	6	3x230/400	5/ 10/15/40	85/120	1/ 2 Вт/10 В·А	0,5 В·А	+А, -А/ +R, -R/ +W, -W	4	114	128	5/10/15/30/ 60	4	IEC 62056-21 / DLM S-HDLC	1,4	-40...+70
	У3066-10	МЕ	1,0/2,0		120/220/230/240	5/ 10/20/40	-	0,8/ 2Вт/10 В·А	0,025 Вт/0,215/0,5 В·А	+А, -А/  А  /  R	4	114	128	5/10/15/30/ 60	4	IEC 62056-21 / DLM S-HDLC	1,0	-40...+70
Енергомера		ЦЭ, СЕ	0,5s/1,0	16	3x57,7/100 3x230/400	5/10		0,6 Вт/ 6 В·А	0,1 В·А	A/ R	8	60		30/60		IEC 62052-11/ IEC 62053-21	1,5	-40...+70
		ЦЭ, СЕ	1,0		100/220/230	5/10	-	0,6 Вт/ 9 В·А	0,1 В·А	A	8	62	124	3/5/10/15/30/ 60		IEC 62052-11/ IEC 62053-21	1,0	-40...+70

СТАЛИЙ РОЗВИТОК ЕНЕРГЕТИКИ

Landis+G ур		ZMD/ ZMG	0,5s/ 1,0/ 2,0		3x58/100 3x110/190 3x220/380 3x230/400 3x240/415	1/ 5	10/ 100/ 120	0,5...1,0 Вт/ 1,3...11 В·А	0,125...5 Вт/ 0,15...5 В·А	+А, -А/ +R, -R	12		512			1,5	-25...+70	
Актарис	У1113- 16	ACE 6000, SL 7000 Smart	0,5s/ 1,0/ 2,0	6	Від 3x57,7 до 3x240/415	5...120	10	0,7 Вт/ 1,9 В·А	0,01 В·А	+А, -А/ +R, -R/ +W, -W	8	210		1/2/3/5/10 /12/ 15/30/ 60	4	DLM S/ COSE M	1,9	-40...+85
ЭЛВИН		ЕТ	0,5s/ 1,0	6	100/380	5/10	60/ 100/ 120/ 200			+А, -А/ +R, -R/  А						1,5	-25...+50	
ELGAMA - ELEKTR ONIKA	У2640- 08	LZQM/ EPQS/ EMS	0,5s/ 1,0/ 2,0	6	Від 3x58/100 до 3x230/400	1/5/10	60/100	0,3 Вт/ 0,5 В·А	0,05 В·А	+А, -А/ +R, -R/ R1, R2, R3, R4/ +W, -W	8	36	15	5/10/15/ 30/60	3	IEC 61107 , IEC 61142	1,5	-25...+55
ЕМН УКРАИН А	У2895- 09	LZQJ- XC	0,2s/ 0,5s/ 1,0		Від 3x58/100 до 3x230/415	1/5/10	100	0,31 Вт/ 0,6 В·А	0,04 В·А	+А, -А/ +R, -R/ R1, R2, R3, R4/ +W, -W	32			1/5/10/ 15/30/ 60	2	IEC 62056 -21 / DLM S	1,2	-25...+55
	У2894- 09	ED 2500	1,0/ 2,0		1x230/ 1x240	5	-	1,3 Вт/ 1,8 В·А	0,02 В·А	+А, -А/  А	4			1/5/10/ 15/30/ 60		IEC 62056 -21	0,7	-25...+60
Elster Metronica		A1800/ A1700/ A1140	0,2s/ 0,5s/ 1,0/ 2,0	12	3x57/100 3x127/220 3x220/380 3x100 3x220 3x230	1/2/5/ 10	100	1,3/2 Вт/ 0,8/3,6 В·А	0,025 Вт/ 0,003 В·А	A/ R/  А	47	1200	30 р.	1/2/3/4/5/ 10/ 15/30/ 60		IEC 62056 -21	3,0	-25...+65

НІК	У2541	НІК	1,0/ 2,0		3x220/380 3x100	5		1,5/8 В·А	0,2 В·А	A/ R	4	60	16	30		ІЕС 61036	2,8	-40...+55
	У2162- 10	НІК	1,0	4-16	220	5/10	-	2/8 В·А	0,05 В·А	A	4	63	48			ІЕС 61036	1,0	-40...+55
МЕРКУР ІЙ		Меркурій	0,2s/ 0,5s/ 1,0/ 2,0	10	3x57,7/100 3x230/400	5/10	200	1 Вт/ 2/8 В·А		+A, -A/ +R, -R/ +W, -W	4	85				ІЕС 62056 -21	1,8	-40...+55
		Меркурій	1,0/ 2,0	16	230	5/10	-	2/3 Вт/ 10/30 В·А	0,5 В·А	A	4	31					ІЕС 62056 -21	1,0

Таблиця 4

Характеристики	Найменування	Реєстр.№ у Держреєстрі України	Міжповірочний інтервал, років	Власне споживання, не більше	Максв ага, кг	Робочий діапазон температур, °С	Сумісні лічильники	Комунікаційні протоколи	Функціональні можливості
Виробник									

ИСКРАСИ	Концентратор P2LPC			300mA/5B		- 40...+8 0	Mx 351, Mx 371	IEC 62056 (DLMS/COSEM та IEC 62056-21)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Підключення до 1024 лічильників;</li> <li>• Зчитування даних за визначеним розкладом за допомогою протоколу IEC 62056 (DLMS/COSEM та IEC 62056-21);</li> <li>• Зберігання даних у FLASH-пам'яті;</li> <li>• Дистанційне керування лічильниками (вимкнення/увімкнення, встановлення максимально допустимої потужності тощо);</li> <li>• Автоматичне конфігурування DLC-мережі (підключення нових лічильників тощо);</li> <li>• Передавання даних GSM/GPRS, PSTN, LAN/WAN за допомогою протоколу TCP/IP, FTP;</li> <li>• Зчитування показів багатофункціональних лічильників або лічильників типу ME/MT372 через інтерфейс RS232 (опція).</li> </ul>
Актарис	GSM/GPR Смодем ACE Sparklet					- 20...+6 5			<ul style="list-style-type: none"> <li>• Підтримує два режими комутації: GSM (сумісний з більшістю систем дистанційного збору даних та вимірів) та GPRS (через вбудований TCP/IP-стек, який забезпечує тунельний або безпосередній TCP);</li> <li>• Зв'язок із лічильником: <ul style="list-style-type: none"> <li>- протокол RS232 або RS485;</li> <li>- підключення через RJ45;</li> </ul> </li> <li>• Зберігання даних графіків навантаження понад 30 діб (8 каналів, період інтеграції 10 хвилин);</li> <li>• Статусні світло діоди: <ul style="list-style-type: none"> <li>- підключення до GSM/GPRS мережі;</li> <li>- рівень сигналу;</li> <li>- живлення модему.</li> </ul> </li> </ul>
ЭЛВИН	немає								
ELGAMA-ELEKTRONIKA	немає								
НІК	Інформація відсутня								

Энергомера	ПЗПД 164- 01И			0,2А	1,0	- 35...+6 0	ЦЭ6850, ЦЭ6850 М, ЦЭ6823М , ЦЭ6822, ЦЭ6827М , ЦЭ6827М 1, СЕ102, СЕ301, СЕ303, СЕ304.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Підключення до 240 лічильників;</li> <li>• Вбудоване джерело постійного струму 12±1,2 В (з гальванічним розділенням ланцюгів) для живлення імпульсних ПП лічильників електроенергії;</li> <li>• Забезпечує можливість обслуговування та монтажу на монтажну рейку (DIN EN 50022-35*7,5);</li> <li>• Забезпечує захист вхідної інформації по число-імпульсним та цифровим інтерфейсам від завад та помилкових сигналів у лініях зв'язку;</li> <li>• Відлік поточного астрономічного часу та календаря за допомогою інтегрованого таймеру реального часу. Тривалість роботи таймеру за відсутності зовнішнього живлення – не менше 90 дб;</li> <li>• Апаратний та програмний (з використанням процедури аутентифікації користувачів) захист даних та параметрів конфігурації від несанкціонованого втручання;</li> <li>• Допустима корекція поточного часу на величину ±15с один раз на добу. Час та величина корекції інтегрованого годинника реєструється та зберігається у пам'яті;</li> <li>• Вбудована підтримка протоколів синхронізації TSIP, NMEA. Можливість підключення зовнішнього GPS-приймача для синхронізації вимірювань на контрольовану об'єкті;</li> <li>• Автоматична синхронізація інтегрованих годинників лічильників, що підключені через цифрові комунікаційні інтерфейси RS-485 або CAN, за показами власного інтегрованого годинника;</li> <li>• Автоматичний перехід на літній/зимовий час (без втрати інформації). Також підтримує заборону переходу на літній/зимовий час;</li> <li>• Обмін даними GPRS-каналами (статична адресація);</li> <li>• Параметрування через незалежні інтерфейси: RS-485, CAN, RS-232C;</li> <li>• Автоматичне тестування функціональних вузлів та модулів із формуванням журналу подій;</li> <li>• Зберігається час та результати останнього самотестування (автоматичного або за зовнішньою командою);</li> <li>• Збирання, обчислення, упорядкування у ПБД та зберігання в енергозалежній пам'яті даних про: <ul style="list-style-type: none"> <li>- технічний профіль з періодом інтегрування 1, 3, 5, 10 хвилин (тільки виконання «И»);</li> <li>- комерційний профіль, що налаштовується 30,60 хвилин; <ul style="list-style-type: none"> <li>- енергія на кінець доби/місяця;</li> <li>-енергія за добу/місяць;</li> </ul> </li> <li>- параметри якості енергії (тільки виконання «И»);</li> <li>- журнали подій лічильника (тільки виконання «И»);</li> </ul> </li> <li>• Фіксує статуси даних;</li> <li>• Підтримує функції телесигналізації;</li> <li>• Забезпечує зберігання журналів подій та передачу їх по запиті.</li> </ul>
------------	---------------------	--	--	------	-----	-------------------	--	--

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Landis+Gyr	FAG10							<p>SCTM, IEC, IEC870 5 102; режими передач і V21, V.23, V.22, V.22bis</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Модульна конструкція з платами входів зчитуваних імпульсів та/або входами повідомлень та/або управляючими входами, а також виходами зчитуваних імпульсів, які оптимально підбираються під певні вимоги;</li> <li>• Последовний вхідний модуль для зчитування оригінальних показів лічильників;</li> <li>• 5 рівнів обчислень для локальної обробки показів лічильників;</li> <li>• Пам'ять показів зміни ємності із захистом від зникнення живлення для збереження 8-ми розрядних показів та повідомлень;</li> <li>• Картка даних DATACARD (пам'ять для створення резервних копій);</li> <li>• Буфер повідомлень із відповідним встановленням дати та часу події;</li> <li>• Підключення до ПК для обслуговування та параметрування за допомогою комп'ютерної сервісної програми або для підключення принтеру для складання протоколу на місці;</li> <li>• Механичні та електричні механізми захисту;</li> <li>• Система контролю та сигналізації із програмним управлінням;</li> <li>• 4 релейних виходи для передачі сигналів про закінчення інтеграційного періоду, повідомлень та/або сигналів тривоги;</li> <li>• Світлодіодні індикатори режимів роботи та тривоги;</li> <li>• Декілька незалежних комунікаційних портів;</li> <li>• Вбудовані модеми та канали з частотною модуляцією;</li> <li>• Тарифна програма.</li> </ul>
<a href="#">ЕМН УКРАЇНА</a>	EMH-VARIOM OD (Analog, GSM, GPRS Ethernet)			0,9...5,0 BA	0,42	- 10...+5 5		<p>Режими передачі V.34, V.32bis, V.32, V.29FC, V.23, V.22bis, V.22, Bell212A V.21, Bell 103</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Оновлення внутрішнього програмного забезпечення (локально або дистанційно);</li> <li>• Динамічний вибір інтерфейсу лічильника з використанням паролю або адреси пристрою із встановленням з'єднанням;</li> <li>• Запис власної конфігурації для кожного інтерфейсу;</li> <li>• Функція часового інтервалу (автоматична відповідь на дзвінок у рамках завданого періоду часу);</li> <li>• Установка часового інтервалу при активації сигнального контакту;</li> <li>• Кварцевий годинник реального часу (RTC) з автоматичним переходом на літній/зимовий час;</li> <li>• При активації сигнального контакту, SMS повідомлення можуть бути надіслані адресатам (зміст повідомлень, номер адресату та номер сервісного центру можна змінювати за допомогою програмного забезпечення або віддаленого параметрування).</li> </ul>



Elster Metronica	RTU-325		6	до 25 ВА	9,0	0...+70	Альфа; ЕвроАльфа 1.0 (A1300) та 1.1 (A1600); Альфа Плюс та Альфа А2; А3 Альфа А1800; Альфа А1200; Альфа А1700; Альфа А1140; СЭТ4ТМ02/0 1; СЭТ4ТМ.03; SL7000 (version 3.5/4.0+); ZMD /ZFD; Меркурий 230; СС-301; IОН 8500; IОН 7350; ЕРОS; Гамма В	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ведення архівів витрат електроенергії за різні періоди часу, архіви профілів, підінтервалів, параметрів мережі, авточитань;</li> <li>• Підтримка єдиного системного часу;</li> <li>• УСПД здійснює самодіагностування та фіксує всі випадки несправності в журналі подій (в енергонезалежній пам'яті);</li> <li>• Для захисту вимірних даних та параметрів УСПД від несанкціонованих змін передбачений механічний та програмний захист;</li> <li>• Усе дані та параметри зберігаються у енергонезалежній пам'яті;</li> <li>• Передбачено самостійний старт УСПД після поновлення живлення (Back-up);</li> <li>• Забезпечує збір параметрів електромережі від цифрових інтерфейсів лічильників;</li> <li>• Забезпечує збір під інтервалів потужності від цифрових інтерфейсів лічильників;</li> <li>• Забезпечує можливість одночасного підключення до одного послідовного інтерфейсу RS-485 лічильників різних типів, що входять до списків: (Список 1: Альфа ЄвроАльфа 1.0 (A1300) та 1.1 (A1600); Альфа Плюс та Альфа А2 – Список 2; Альфа А3 та Альфа А1800 – Список 3; SL7000 ZMD/ZFD – Список 4; Альфа А1700; Альфа А1140;</li> <li>• Забезпечує автоматичний контроль достовірності інформації, що передається по каналу зв'язку з лічильником;</li> <li>• Забезпечує автоматичну перевірку дієздатності лічильників із самотестуванням та із записом у журнал подій УСПД.</li> </ul>
МЕРКУРІЙ	ПЗПД «Мерку -рій 250»				3,0	- 40...+7 0	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Підключення до 256 лічильників на канал;</li> <li>• До 2 каналів для віддаленого підключення;</li> <li>• Збирання, оброблення, накопичення, зберігання даних від лічильників електроенергії;</li> <li>• Агрегування даних</li> <li>• Фіксування максимальних потужностей;</li> <li>• Підтримка єдиного системного часу з метою забезпечення синхронних вимірювань та його корекція за GPS;</li> <li>• Передавання даних від ПЗПД до центру збору інформації;</li> <li>• Формування, накопичення та зберігання інформації, що потрапляє від ПЗПД, у центрах збору інформації;</li> <li>• Захист інформації від несанкціонованого втручання;</li> <li>• Контроль працездатності.</li> </ul>	

**За результатами виконаних досліджень можна зробити наступні попередні висновки:**

1. Споживачі під час вибору лічильників електроенергії діють в умовах обмеженого доступу до інформації технічного характеру. Для отримання технічних рекомендацій, в т.ч. щодо рекомендованих типів лічильників комерційного обліку електроенергії, шляхів передавання даних комерційного обліку до АСКОЕ ПРТ, форматів даних тощо, необхідно звертатися до ПРТ, в той час, як цю інформацію доцільно було б викласти на інформаційних сайтах ПРТ.
2. Технічні рекомендації ПРТ не узгоджені між собою. В умовах поступового запровадження в Україні ринку двохсторонніх договорів та балансуючого ринку (РДДБР), коли кожний споживач є потенційним суб'єктом РДДБР і його АСКОЕ повинна взаємодіяти з АСКОЕ Головного оператора, це може негативно відбитися на ефективності такої взаємодії.
3. ПЗПД як правило «прив'язані» до лічильників цієї ж фірми виробника. В умовах, коли в мережах одного ПРТ рекомендовано використання кількох типів лічильників різних виробників, а вимоги щодо уніфікації комунікаційних протоколів та форматів даних відсутні, це створює проблеми інформаційної сумісності в АСКОЕ ПРТ.

УДК 625.311

О.В. Коцар, Ю.В. Матвійчук

**ДОСВІД ЕНЕРГЕТИЧНИХ ОБСТЕЖЕНЬ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ І ТОРГІВЕЛЬНИХ ЗАКЛАДІВ**

*У статті наведено результати обстежень електроенергетичних господарств промислового підприємства і торгівельного закладу. Визначені основні характеристики електроспоживання об'єктів обстеження, особливості побудови та експлуатації електропостачальних систем, результати контролю та аналізу режимів електроспоживання промислових підприємств і торгівельних закладів.*

*Ключові слова: енергоаудит, енергетичний менеджмент, енергетична ефективність, електрична енергія, втрати, баланс електричної енергії, режими електроспоживання.*

**ОПЫТ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ОБСЛЕДОВАНИЙ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ И ТОРГОВЫХ ЗАВЕДЕНИЙ**

*В статье приведены результаты обследований электроэнергетических хозяйств промышленного предприятия и торгового заведения. Определены основные характеристики электропотребления объектов обследования, особенности построения и эксплуатации систем электроснабжения, результаты контроля и анализа режимов электропотребления промышленных предприятий и торговых заведений.*

*Ключевые слова: энергоаудит, энергетический менеджмент, энергетическая эффективность, электрическая энергия, потери, баланс электрической энергии, режимы электропотребления.*

**EXPERIENCE IN ENERGY AUDITS OF INDUSTRIAL ENTERPRISES AND COMMERCIAL ESTABLISHMENTS**

*The article presents the results of surveys of energy sector for industrial enterprises and commercial establishments. The main characteristics of power consumption of survey items, features of construction and operation of power systems, the results of monitoring and analysis of power consumption modes of industrial enterprises and commercial establishments are identified.*

*Keywords: energy audit, energy management, energy efficiency, electric power, losses, balance of electric power, power consumption modes.*

**Вступ.** Необхідність впровадження енергоменеджменту й енергоаудиту, що вже давно стали частиною проектів з оптимізації споживання енергоресурсів країн ЄС, Японії, США, викликана насамперед дефіцитом та вкрай неефективним використанням паливно-енергетичних ресурсів підприємствами України. Варто зазначити, що питоме енергоспоживання на одиницю виробленої продукції в Україні у 15 разів вище, ніж у Японії, у 10 разів вище, ніж у Франції і у 5-6 разів вище, ніж у США. Показник енергоємності ВВП України становить 0,5 кілограма нафтового еквівалента на 1 долар США. Цей показник у Японії становить 0,1, у Великобританії – 0,14, у Німеччині й Франції – 0,18, в Росії – 0,47 [1]. Висока енергоємність ВВП в Україні є наслідком значного технологічного відставання більшості галузей економіки від рівня промислово розвинених країн, незадовільної галузевої структури національної економіки.

Сучасне енергозбереження – це багатоаспектна комплексна проблема, що охоплює, крім технічних і організаційно-правових аспектів, методологічні аспекти, питання збереження та безпеки життєвого простору людини, здійснення промислової діяльності з найменшими

витратами з високоефективним використанням матеріального та інтелектуального потенціалу. Вирішення проблеми енергозбереження і підвищення енергетичної ефективності може забезпечуватись тільки комплексним підходом, який охоплює проведення енергетичного обстеження для визначення ефективності енерговикористання і потенціалу енергозбереження, впровадження системи енергетичного менеджменту, розроблення програми заходів з підвищення ефективності енерговикористання, реалізацію програми моніторингу та підтвердження ефекту від реалізованого заходу з енергозбереження.

Одним з найважливіших напрямів Енергетичної стратегії України на період до 2030 року є створення передумов для докорінного зменшення енергоємності вітчизняної продукції за рахунок впровадження нових технологій, прогресивних стандартів, сучасних систем контролю управління та обліку на усіх етапах виробництва, транспортування та споживання енергетичних продуктів, розвиток ринкових механізмів стимулювання енергозбереження в усіх галузях економіки. Тому питання впровадження енергоаудиту в систему енергоменеджменту підприємства залишається вкрай актуальним і потребує ґрунтовних досліджень.

**Мета та завдання статті** – дослідити основні засади підвищення енергетичної ефективності промислового підприємства та торгівельного закладу, які передбачають досягнення найвищого рівня показників енергозбереження, проведення енергетичного обстеження для визначення ефективності енерговикористання і потенціалу енергозбереження, впровадження системи енергетичного менеджменту.

**Результати дослідження.** Енергетичне обстеження проводилось на промисловому підприємстві та в торгівельному закладі. Результати наведемо для кожного об'єкту окремо.

**Промислове підприємство.** Після обстеження системи електропостачання (СЕП) було виявлено наступне: структура і елементи СЕП проектувались із врахуванням повного виробничого завантаження. В результаті того, що в даний час діючі виробничі потужності підприємства значно менші за проектні, СЕП є надлишковою і функціонує в неоптимальному режимі. Електричне навантаження значно менше за проектне. З метою оптимізації функціонування СЕП було проведено ряд заходів, направлених на зменшення втрат електроенергії в елементах СЕП, зумовлених недостатнім завантаженням цих елементів, в першу чергу трансформаторів. Слід зазначити, що на підприємстві відсутня служба енергоменеджменту (СЕМ), що ускладнює проведення енергозберігаючої політики.

Для визначення показників ефективності функціонування елементів СЕП був проведений розрахунок втрат в трансформаторах. Результати розрахунків були зведені в таблицю 1:

Таблиця 1. Втрати в трансформаторах

№ п/п	ТП	S <sub>ном</sub> , кВА	P <sub>уст</sub> , кВт	Паспортные данные тр-ров				Нагрузка			Кэф. загр. К <sub>з</sub>	Т <sub>п</sub> , час	Т <sub>р</sub> , час	Потери активной мощности			Потери реактивной мощности			Потери электроэнергии	
				P <sub>х.х.</sub> , кВт	P <sub>к.з.</sub> , кВт	U <sub>к.з.</sub> , %	I <sub>х.х.</sub> , %	P <sub>ф</sub> , кВт	Q <sub>ф</sub> , кВАр	S <sub>ф</sub> , кВА				ΔP <sub>х.х.</sub> , кВт	ΔP <sub>к.з.</sub> , кВт	ΔP, кВт	ΔQ <sub>х.х.</sub> , кВАр	ΔQ <sub>к.з.</sub> , кВАр	ΔQ, кВАр	ΔW <sub>P</sub> , кВт*час	ΔW <sub>Q</sub> , кВт*час
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
2	<b>ТП-4:</b>																				
	Тр-р 1	1600	1850	2,05	16	5,5	1,3	1076	798	1340	0,837	24	24	2,05	11,22	13,27	20,8	88	108,8	318,4	1980
	Тр-р 2	1600	945	2,05	16	5,5	1,3	851	638	1063	0,664	24	24	2,05	7,064	9,11	20,8	88	108,8	218,7	1432
2	<b>ТП-19:</b>																				
	Тр-р 1	560	824	2,5	9,4	5,5	6	343	263	432	0,772	24	24	2,5	5,600	8,10	33,6	30,8	64,4	194,4	1247
	Тр-р 2	560	0	2,5	9,4	5,5	6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0,0	0
3	<b>ТП-20:</b>																				
	Тр-р 1	1000	699	3,8	12,7	5,5	3	366,8	202,9	419,2	0,419	24	24	3,8	2,232	6,03	30	55	85	144,8	952
	Тр-р 2	560	0	2,5	9,4	5,5	6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0,0	0
4	<b>ТП-16:</b>																				
	Тр-р 1	1000	1158	3,8	12,7	5,5	3	700	557	894	0,894	24	24	3,8	10,16	13,96	30	55	85	334,9	1776
	Тр-р 2	1000	0	3,8	12,7	5,5	3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0,0	0
5	<b>ТП-18:</b>																				
	Тр-р 1	630	274	2,27	7,6	5,5	2	123	139	186	0,295	24	24	2,27	0,66	2,93	12,6	34,65	47,25	70,3	375
	Тр-р 2	250	0	1,05	3,7	4,5	2,3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0,0	0
6	<b>ТП-9:</b>																				
	Тр-р 1	560	295	2,5	9,4	5,5	6	141,6	154	209,0	0,373	24	24	2,5	1,31	3,81	33,6	30,8	64,4	91,4	909
7	<b>ТП-24:</b>																				
	Тр-р 1	100	33,7	0,365	1,97	4,5	2,6	9,85	6,24	12	0,117	24	24	0,365	0,03	0,39	2,6	4,5	7,1	9,4	64

Продовження таблиці 1. Втрати в трансформаторах

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
8	<b>ТП-11:</b>																				
	Тр-р 1	560	729	2,5	9,4	5,5	6	479,7	364,3	602,4	1,076	24	24	2,5	10,88	13,38	33,6	30,8	64,4	321,0	1662
	Тр-р 2	560	0	2,5	9,4	5,5	6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0,0	0
9	<b>ТП-12:</b>																				
	Тр-р 1	400	374	1,45	5,5	4,5	2,1	55,54	125,06	136,84	0,342	24	24	1,45	0,64	2,09	8,4	18	26,4	50,2	252
	Тр-р 2	400	0	1,45	5,5	4,5	2,1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0,0	0
10	<b>ТП-13:</b>																				
	Тр-р 1	160	87	0,54	2,65	4,5	2,4	18,92	45,11	48,9	0,306	24	24	0,54	0,25	0,79	3,84	7,2	11,04	18,9	108
11	<b>ТП-7:</b>																				
	Тр-р 1	560	2,8	2,5	9,4	5,5	6	14,00	10,50	17,5	0,031	24	24	2,5	0,01	2,51	33,6	30,8	64,4	60,2	807
	Тр-р 2	1000	0,0	3,8	12,7	5,5	3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0,0	0
12	<b>КТП 8А:</b>																				
	Тр-р 1	1000	400	3,8	12,7	5,5	3	410,4	254,3	482,8	0,483	24	0	3,8	0,00	3,80	30	0	30	91,2	720
	Тр-р 2	1000	0	3,8	12,7	5,5	3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0,0	0
13	<b>НС-3</b>		120,8																		
<b>ВСЕГО:</b>																<b>80,17</b>			<b>767</b>	<b>1924,0</b>	<b>12283</b>

Далі були складені енергетичні баланси підприємства, які складаються з приходної та витратної частини електричної енергії та інтегрованої в часі реактивної потужності. Так як деталізовані електроенергетичні баланси можуть бути сформовані тільки після впровадження автоматизованої системи обліку енергії (АСОЕ), то на підприємстві були складені розрахункові електроенергетичні баланси. Аналіз результатів проведених досліджень показав, що потужність, яка споживається підприємством з електричної мережі, дещо нижче розрахункових навантажень, що може бути наслідком зношеності електрообладнання. Електроенергетичні баланси представляються у вигляді таблиць та графіків. Для прикладу наведемо графік електроенергетичного балансу підприємства по фідеру Ф17 за 02.06.2012р.

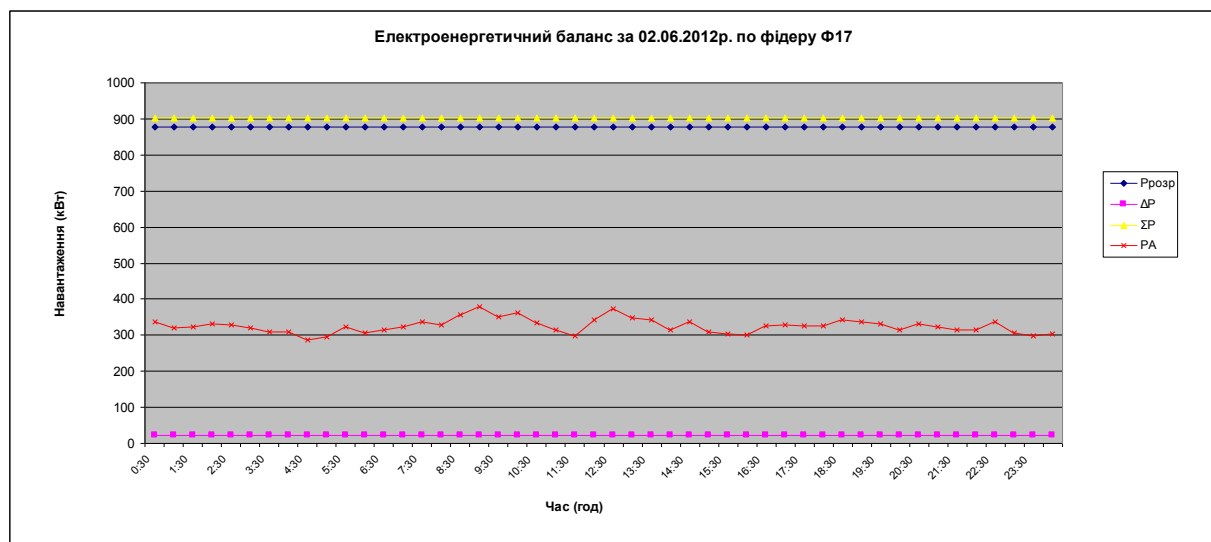


Рис.1. Електроенергетичний баланс за 02.06.2012р. по РП-1 (ТП-11, 12, 19)

З метою вдосконалення СЕП був проведений розрахунок навантажень силових струмоприймачів напругою до 1000 В і вище 1000 В, освітлення, навантажень на вищих рівнях СЕП методом розрахункових коефіцієнтів [2]. На основі розрахунку була складена картограма електричних навантажень, яка являє собою ряд кіл в центрах навантажень окремих цехів. В кожному колі виділяються сектори, які відповідають силовому навантаженню 0,38 кВ, силовому навантаженню 6 кВ та освітлювальному навантаженню. Далі проводили вибір числа і потужності цехових трансформаторів, а також розраховували переріз кабелів розподільних мереж напругою вище 1000 В, а саме 6 кВ. Також була запропонована модернізована структура СЕП підприємства.

Після проведених розрахунків були запропоновані основні напрями підвищення ефективності використання електричної енергії підприємством, а саме: вибір способів розрахунку за електричну енергію, першочергові заходи з оптимізації діючої СЕП та інші напрями підвищення ефективності енерговикористання.

**Торгівельний заклад (магазин).** Було проведено обстеження СЕП. Результати показали, що структура СЕП в цілому впорядкована. В середині магазину електрична мережа освітлення відокремлена від електричної мережі силового навантаження, що суттєво зменшує взаємні впливи та спрощує експлуатацію СЕП. Було виявлено, що частина струмоприймачів (приблизно 45% від загального електричного навантаження) не охоплена лічильниками технічного обліку електроенергії. При цьому існуюча структура СЕП не дозволяє без суттєвих

витрат виокремити технічний облік по цих групах споживачів. Втім, в магазині було впроваджено п'ять додаткових лічильників технічного обліку електроенергії, якими охоплені основні струмоприймачі магазину. При цьому технічний облік електроенергії переважно диференційований за типами навантаження та режимами роботи струмоприймачів, що суттєво спрощує та підвищує ефективність запровадження постійно діючої системи енергоменеджменту.

Також була обстежена система теплозабезпечення. Результати показали, що структура системи в цілому впорядкована, тепловий пункт утримується в належному стані. Було виявлено, що в магазині не функціонує (не застосовується) система централізованої механічної вентиляції, внаслідок чого не забезпечується достатній повітрообмін приміщень.

Далі були складені енергетичні баланси магазину та побудовані графіки електричного навантаження.

Електроенергетичні баланси складені на основі даних комерційного і технічного обліку електроенергії та розрахункових електричних навантажень магазину, і зображені у вигляді таблиць та графіків. Для прикладу наведемо графік електроенергетичного балансу по групі споживачів «Кондиціонери і вентиляція».

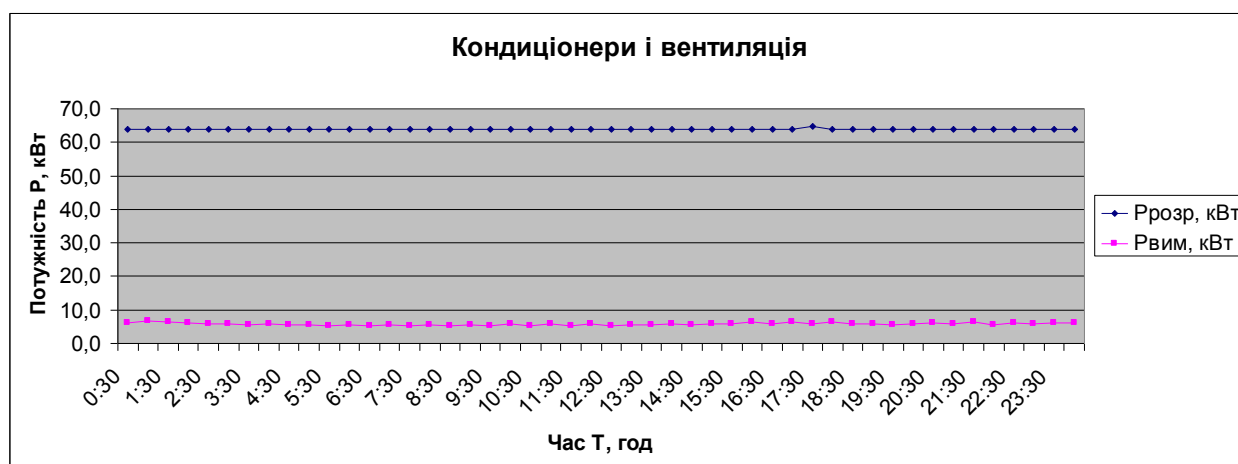


Рис.2. Електроенергетичний баланс по групі струмоприймачів «Кондиціонери та вентиляція».

Аналіз результатів проведених досліджень показав, що виміряні значення споживаної потужності нижче розрахункових навантажень, що може бути наслідком похибок визначення кількості й часу роботи струмоприймачів, зношеності електрообладнання та невідповідності дійсних значень споживаної електричної потужності паспортним даним, а також наслідком регулювання потужності струмоприймачів під час їхньої роботи.

На підставі даних обліку були складені баланси реактивної потужності. Для прикладу наведемо баланс у вигляді графіка по групі струмоприймачів «Кондиціонери і вентиляція».

Після виявлення недоліків було запропоновано виконати більш точне налагодження системи керування установками компенсації реактивної потужності (КРП). В цілому баланс споживання та генерації реактивної потужності по магазину можна вважати цілком задовільним. Також було запропоновано з метою провадження енергозберігаючої політики організувати постійно діючу службу з енергоменеджменту.



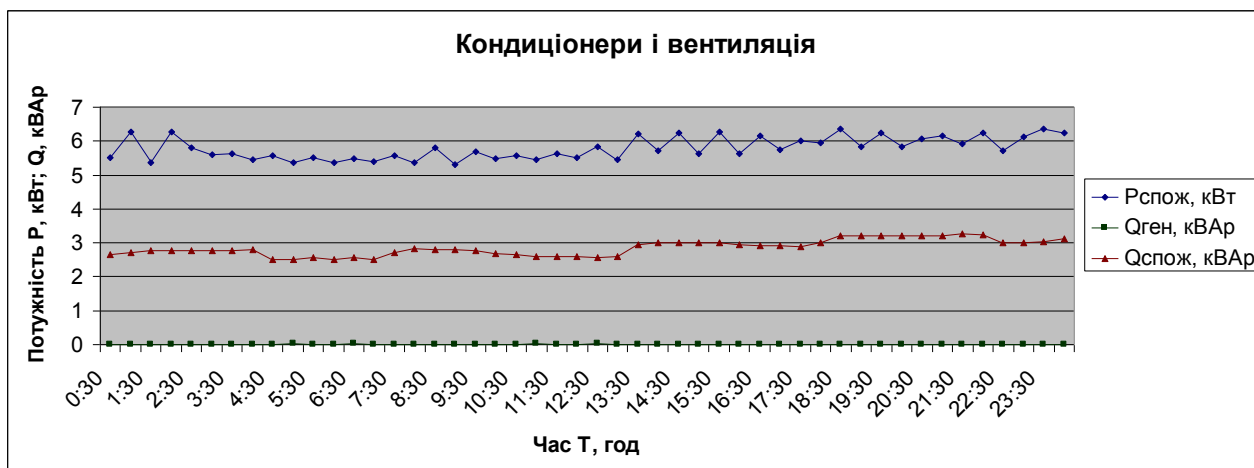


Рис.3. Графіки споживання активної і реактивної та генерації реактивної потужності по групі струмоприймачів «Кондиціонери і вентиляція».

За результатами енергетичного обстеження був складений звіт, до якого включено енергетичні баланси по кожному підрозділу торговельного закладу а також оцінка ефективності кожного етапу виробничого процесу.

**Висновки.** Енергетичний аудит дозволяє вирішити такі задачі: оцінка енерговитрат і можливості зниження енерговитрат підприємства по кожному з видів споживаних енергоресурсів; оцінка потенціалу енергозбереження; розробка ефективних заходів для реалізації виявленого потенціалу енергозбереження; розробка пропозицій з організації системи енергоменеджменту на підприємстві. Проведення енергетичного обстеження на основі дослідження схем технологічного процесу з використанням високоточних приладів складання енергетичних і матеріальних балансів дасть змогу встановити обґрунтовані обсяги споживання енергетичних ресурсів та чітко визначити завдання щодо підвищення ефективності їхнього використання.

По промисловому підприємству було проведено ряд заходів, направлених на зменшення втрат електричної енергії в елементах СЕП, обумовлених недостатнім завантаженням трансформаторів. Після цього було рекомендовано замінити деякі трансформатори на трансформатори меншої потужності. Також була запропонована схема електроживлення, як альтернатива існуючій на підприємстві схемі.

В торговельному закладі було виявлено, що близько 45% від загального електричного навантаження не охоплено лічильниками технічного обліку. Тому було впроваджено п'ять додаткових лічильників технічного обліку електричної енергії, якими охоплено основні струмоприймачі магазину. Також було запропоновано організувати службу з енергоменеджменту, яка б проводила політику енергозбереження.

### Перелік використаних джерел інформації

[1] <http://ukranews.com/ru/>

[2] РТМ 36.18.32.4-92. Указания по расчету электрических нагрузок. – К.: ВНИПИ Тяжпромэлектропроект, 1992.

УДК 621.317

**Ткаченко Д.К., студент, Коцар О.В., к.т.н., доцент**  
**СВІТОВИЙ ДОСВІД ОРГАНІЗАЦІЇ ЗБОРУ ТА ОБРОБКИ ДАНИХ**  
**КОМЕРЦІЙНОГО ОБЛІКУ В ЛІБЕРАЛІЗОВАНИХ РИНКАХ ЕЛЕКТРИЧНОЇ**  
**ЕНЕРГІЇ**

*В статті розглянуто досвід організації збирання та оброблення даних комерційного обліку в світових лібералізованих ринках електричної енергії. Виконано аналіз відомих структур систем комерційного обліку електроенергії, контролю енерговикористання та керування режимами електроспоживання. Досліджено методи забезпечення достовірності даних комерційного обліку електроенергії та керування даними вимірювань.*

*Ключові слова: дані вимірювань; лібералізовані ринки, електрична енергія, керування, контроль, режим, енерговикористання, електроспоживання.*

**Ткаченко Д.К., студент, Коцарь О.В., к.т.н., доцент**  
**МИРОВОЙ ОПЫТ ОРГАНИЗАЦИИ СБОРА И ОБРАБОТКИ ДАННЫХ**  
**КОММЕРЧЕСКОГО УЧЕТА В ЛИБЕРАЛИЗОВАННЫХ РЫНКАХ**  
**ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ**

*В статье рассмотрен опыт организации сбора и обработки данных коммерческого учета в мировых либерализованных рынках электроэнергии. Выполнен анализ известных структур систем коммерческого учета электроэнергии, контроля энергопотребления и управления режимами электропотребления. Исследованы методы обеспечения достоверности данных коммерческого учета электроэнергии и управления данными измерений.*

*Ключевые слова: данные измерений; либерализованы рынки, электрическая энергия, управление, контроль, режим энергопотребления, электропотребление.*

**Tkachenko D.K., student, Kotsar O.V., Ph.D., Associate Professor**  
**WORLD EXPERIENCE OF BILLING DATA COLLECTION AND PROCESSING IN THE**  
**LIBERALIZED ELECTRICITY MARKETS**

*The article describes the experience of organizing the collection and processing of commercial accounting in the world liberalized electricity markets. The article includes the analysis of the known structures of commercial accounting systems, monitoring of energy consumption and power consumption mode control. Methods of ensuring data reliability of electricity metering and data management are investigated as well.*

*Keywords: meter data, liberalized markets, electricity, management, control, power consumption mode, power consumption.*

**Мета дослідження.**

У цій статті наведено відомості щодо національних систем збору та керування даними вимірювань різних країн. Стаття охоплює опис національних баз даних і/або концентраторів даних та інших складових проєктів, пов'язаних з керуванням та передаванням даних вимірювань. Заінтересовані сторони і клієнти повинні мати доступ, а іноді і спільно використовувати та передавати інформацію з метою ефективного здійснення продуктивних торговельних ринкових процесів, зокрема процедури підключення споживачів до мережі та проведення комерційного обліку енергоспоживання. Це також необхідно для удосконалення процесів надання споживачам послуг у секторі електропостачання.

### Вступ.

У зв'язку з невинним технологічним удосконаленням, а також в результаті передбачуваного повного розгортання програми впровадження інтелектуальних мереж та інтелектуальних систем вимірювань, питання вибору моделі керування даними вимірювань та вдосконалення регуляторної політики в енергетичному секторі країн ЄС є одними з найважливіших. Європейська Рада Регуляторів Енергетики (The Council of European Energy Regulators /CEER/) стверджує, що впровадження інтелектуальних систем вимірювань не має бути самоціллю, а скоріше має сприяти створенню ефективно функціонуючого і конкурентоспроможного енергетичного ринку та досягненню поставлених на 2020 рік цілей, що стосуються сектору енергетики та екології, які затверджені у 3-му пакеті документів внутрішніх енергетичних ринків (3-rd Internal Energy Market Package) [1].

Під терміном “керування даними вимірювань” (Meter Data Management /MDM/) розуміють процес збору та використання великої кількості інформації, який, як правило, називають обробкою даних вимірювань. Використання технологій MDM відіграє важливу роль у функціонуванні ринку електричної енергії, внаслідок чого є предметом дискусій, зокрема щодо нормативних, функціональних і технічних питань. Оскільки “інтелектуальні” системи обліку оснащені додатковими можливостями і можуть забезпечувати великими обсягами інформації за короткі періоди часу, питання про впровадження даних технологій буде відігравати все більш важливу роль.

Директива 2009/72/ЄС (Directive 2009/72/EC) [2] дозволяє країнам-учасникам впровадження інтелектуальних систем обліку залежно від економічної оцінки всіх довгострокових витрат і вигод для ринку і окремих споживачів.

У більшості країн ЄС відповідальність за впровадження систем обліку енергоспоживання (встановлення, обслуговування лічильників, керування даними вимірювань і т.д.) покладається виключно на компанії-операторів розподільних мереж (Distribution System Operator). У деяких випадках (наприклад, Великобританія і Німеччина), ці обов'язки можуть брати на себе інші учасники ринку, наприклад компанії-постачальники електроенергії або провайдери систем обліку.

Існує декілька підходів до керування даними вимірювань. В країнах ЄС найбільш поширений (Австрія, Бельгія, Нідерланди, Великобританія) підхід до організації базується на централізованому доступі до даних вимірювань за умови їхнього децентралізованого зберігання [3]. У таких країнах, як Данія та Норвегія, має місце централізований підхід з централізованим доступом і збереженням даних вимірювань [4]. В той час як у Німеччині використовується децентралізований підхід [5]. Це особливо цікаво, враховуючи величезну кількість заінтересованих сторін на німецькому ринку - близько 2000 конкуруючих компаній.

Варто зазначити, що в секторі керування даними вимірювань відбуваються зміни, які в першу чергу стосуються регуляторної політики. У таких країнах, як Австрія, Данія, Італія, Норвегія і Великобританія, найближчим часом будуть впроваджені нові правила відповідно до змін у моделі упаравління даними [6]. Багато країн-учасниць остаточно визначились з підходом до керування даними вимірювань внаслідок розгортання програм впровадження інтелектуальних систем обліку. Основними вагомими факторами, які впливають на вибір тієї чи іншої моделі керування є економічна ефективність, прозорість, безпека даних вимірювань та ефективне функціонування інформаційної системи. Також важливою перевагою вважається можливість певної моделі керування сприяти розвитку інтелектуальних систем обліку енергоспоживання.

Серед діючих підходів до керування даними вимірювань в країнах ЄС слід визначити три принципово різні моделі:

- централізована;
- децентралізована (“точка-точка”);
- частково централізована децентралізована модель керування.

#### Централізований підхід.

Централізована модель керування даними, як було зазначено вище, використовується у Норвегії та Данії. Розглянемо даний підхід на прикладі *Норвегії* [7]:

#### *Модель ринку і розподіл повноважень.*

Норвезький ринок електроенергії формально став відкритий для конкуренції з моменту набрання чинності Акта Енергетики (Energy Act) 1го січня 1991 року. Водні Ресурси та Енергетична Дирекція Норвегії (Norges vassdrags og energidirektorat) мають повноваження регулятора, а також несуть відповідальність за налагоджену роботу ринку енергії. Регуляторний комітет був заснований (як відділ NVE) в 1990 році [8]. Як регулятор, NVE вів активну діяльність з розвитку регулювання енергомереж, забезпечення реального доступу до ринку всіх споживачів, спрощення процедур підключення споживачів до мереж, забезпечення безпеки та якості поставляється енергії, а також ефективного управління енергомережами.

Подальшим етапом розвитку енергоринку Норвегії сприяло створення аналогічних моделей ринку в сусідніх скандинавських країнах, в результаті чого утворився єдиний відкритий Скандинавський ринок електроенергії з єдиною системою енергообміну. Скандинавський енергоринок також взаємопов'язаний з Естонією, ринком континентальної Європи, і Росією. NVE є членом Європейської асоціації вільної торгівлі (European Free Trade Association, EFTA) та учасником Угоди про Європейський економічний простір (European Economic Area, EEA). У наслідку цього, заходи ЕЕА з адаптації нових директив Європейського Союзу впроваджуються і стосовно Норвегії. Директива Електроенергетики 2003/54/ЕС і Порядок Регулювання 1228/2003 були прийняті Загальними Зборами Комітету ЕЕА в грудні 2005 року. Зій пакет документів (The 3-rd Package) вступить в дію в Норвегії після прийняття рішення Загальними Зборами Комітету ЕЕА і подальшого затвердження Парламентом [9]. На даний момент ринок електроенергії використовує комунікаційний центр інформації (*рисунок 1*) під назвою Nubix для передачі даних про споживання електроенергії від операторів розподільних мереж до постачальників. Це дозволяє постачальникам отримати ідентифікаційний номер (Identity document, ID) точки виміру, який необхідний для реалізації процедури підключення до постачальника. В іншому випадку здійснюється двосторонній зв'язок між постачальником і оператором розподільних мереж. У цілому, на ринку очікується поява необхідності в створенні інформаційного центру до моменту повного впровадження інтелектуальних вимірювальних систем в 2017 році.

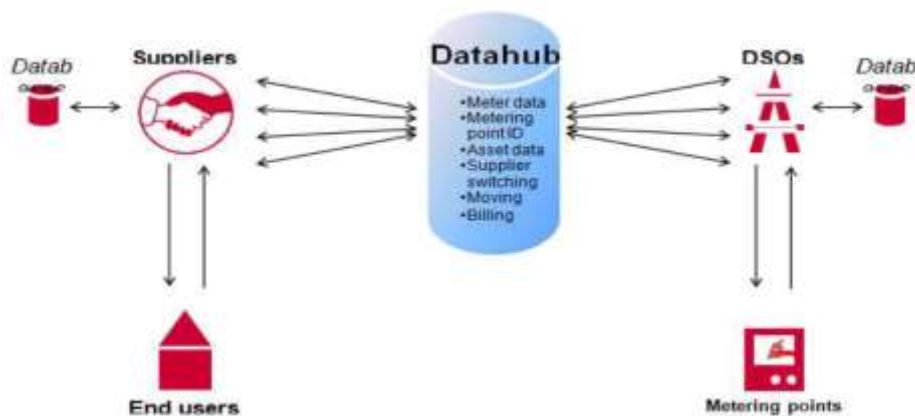


Рис.1 Централізована модель керування даними вимірювань [10]

Умови конфіденційності дозволяють споживачеві здійснювати моніторинг своїх даних у центрі обміну інформації і отримувати інформацію про осіб, що мають доступ до його даних. Також споживач має можливість, за власним бажанням, приймати рішення, чи розміщувати більш розширені, порівняно з мінімально необхідними, дані про обсяги енергоспоживання

***Вигоди для споживачів.***

Відповідно до вимог, оператори розподільних мереж мають розміщувати інформацію про споживання, ціни, тарифи і повної вартості в інтернеті. NVE реалізує інформаційну кампанію, в більшій мірі з метою просування інтелектуальних лічильників, де споживачі дізнаються про вигоди їхнього впровадження, а також, ймовірно, про загальні відомості інформаційних комунікаційних систем.

***Обґрунтування використання централізованої моделі.***

Нижче наведені деякі переваги та недоліки створення централізованого керування даними вимірювань.

***Переваги:***

- *ефективність витрат:* Централізація забезпечує істотну економію в масштабі надання послуг зв'язку та обробки даних.
- *покриття важкодоступних точок обліку:* Централізація передбачає комплексні комунікаційні рішення, забезпечуючі повне розгортання системи.
- *безпека даних:* Централізована модель забезпечення зв'язку поліпшує впровадження всебічних, послідовних та остаточних заходів безпеки;
- *інтелектуальні мережі:* Централізована модель керування забезпечує більш широкі можливості для розвитку інтелектуальних мереж з плином часу, в порівнянні з альтернативними децентралізованими моделями побудови комунікаційних систем;
- *позагалузеві послуги за додаткову вартість:* Вповноважений орган керування даними вимірювань обслуговує цілісну систему, розповсюджену в межах енергоринку відповідної держави. Це може дати можливість пропонувати свої послуги іншим галузям промисловості за додаткову плату, тим самим, з часом компенсуючи витрати у секторі енергетики.

***Виклики:***

- Впровадження монополії у галузі, де процес надання послуг зі зв'язку мав би надаватись шляхом роботи ринку. Негативно впливати можуть наступні фактори:
  - а) Вища вартість послуг з впровадження інформаційних систем;
  - б) За відсутності тиску зі сторони конкурентів у своїй галузі, послуги відповідального органу керування можуть не відповідати дійсним потребам споживачів.
  - в) Витрати на розробку нормативно-правої бази для впровадження моделі.
- Єдиний інформаційний центр з доступом до всіх точок обліку вимірювальних даних являє собою єдину ціль для хакерських нападів (однак, переваги, які стосуються безпеки інформації за використання централізованої моделі керування даними, вказано вище).

***Децентралізований підхід.***

Децентралізована модель керування даними, як було зазначено вище, використовується у ***Німеччині:***

***Модель ринку і розподіл повноважень.***

Оператори енергомереж в Німеччині є регульованими монополістами. Існує два оператори магістральних мереж: один функціонує на сході, другий - у південно-західній частині Німеччини.

Нормативна відповідальність розділена між національним та федеральним рівнями держави. Федеральне Агентство Мереж Електро- та Газопостачання, Телекомунікацій, Пошти та Залізниці (The Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen, BNetzA) є регулятором на національному рівні, в той час як на федеральному рівні для кожної з земель Німеччини може бути призначений свій власний регулюючий орган [6]. Федеральна відповідальність передбачає, щоб мережі не перетинали кордони землі, та кількість клієнтів, приєднаних прямо чи опосередковано, не перевищувала 100 000.

На роздрібному ринку електроенергії в даний момент функціонує 1013 компаній-постачальників енергії. 48 млн. побутових споживачів отримують електроенергію на рівні операторів розподільних мереж. Відповідно до Закону енергетики (Energy Industry Act), оператори розподільних мереж виступають в якості оператора лічильників до тих пір, поки клієнт не обере третю особу, підприємство, відповідальне за експлуатацію та/або зчитування даних з лічильників. Станом на 2011 рік, 866 операторів розподільних мереж, крім своїх прямих повноважень, також надають послуги з впровадження систем комерційного обліку енергоспоживання. Також існує 20 незалежних компаній, що надають тільки ці послуги [11].

Оператор розподільних мереж, отримавши дані вимірювань від провайдера інформаційних систем, перенаправляє їх оператору магістральних мереж електропостачання та постачальнику (щомісяця), а також постачальнику для комерційного обліку за тарифом за використання мережі (раз на рік). Порядок обміну даними вимірювань (рисунком 2) встановлений регулятором і узгоджений з основними учасниками енергоринку. Оператор розподільних мереж несе повну відповідальність за стандартизовану обробку та своєчасне передавання даних вимірювань.

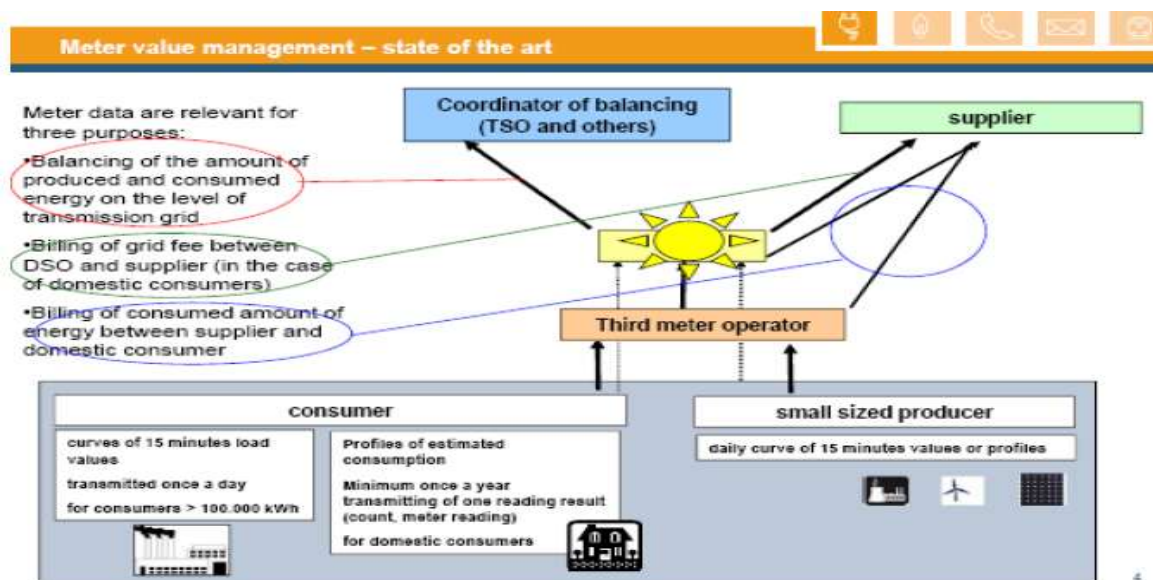


Рис.2 Децентралізована модель керування даними вимірювань [12]

Не дивлячись на те, що на даний момент, дані вимірювань, що знімаються за допомогою інтелектуальних систем обліку, не мають розробленої чітко окресленої політики

конфіденційності, можна сказати про високий рівень захисту інформаційних систем учасників енергоринку. Децентралізована модель обміну вимірювальними даними вимірювань передбачає пряmlinійну передачу необхідної інформації про енергоспоживання безпосередньо від споживача відповідним учасникам енергоринку. У такому випадку, споживач може бути впевнений у тому, що дані про його власне енергоспоживання конфіденційні, оскільки він отримує одноосібне право на їхнє передавання у відповідні інстанції.

#### **Обґрунтування використання децентралізованого підходу.**

У той же час, також з'являється поле діяльності для великої кількості відповідальних підприємств (наприклад, для компаній-операторів розподільних мереж та компаній-провайдерів послуг), які є ключовими для всіх заінтересованих сторін, що діють у відповідних регіональних частинах держави. Нарешті, можуть бути впроваджені технічні рішення, такі як шлюзи, які поширюють дані всіх відповідних сторін, що є характерною рисою децентралізованої моделі. Переваги і недоліки залежать від структури ринку, опираючись на технічні рішення і регуляторний режим.

#### **Змішана модель керування.**

Розглянемо даний підхід на прикладі *Австрії*:

#### **Модель ринку і розподіл повноважень**

Чітке визначення функцій і обов'язків кожного суб'єкта має вирішальне значення для тісної співпраці та гарантій безперебійного функціонування ринку, а також для цілодобового забезпечення електроенергією.

*Регіональний диспетчер* - особа, яка несе відповідальність за навантаження та частоту на контрольованій території. Ця функція може також здійснюватися третьою компанією, яка базується в іншій державі-члені Європейського Союзу. Таку роль зазвичай виконує оператор транзитної мережі (наприклад, Австрійська Енергетична Мережа - APG).

*Оператор мережі* - це оператор транзитної або розподільчої мережі, яка функціонує з рівнем номінальної частоти 50 Гц. В обов'язки операторів мережі входять облік, обробка конфіденційних даних користувачів мережі та передача інформації для всіх учасників ринку на недискримінаційних засадах. В той же час, вони повинні гарантувати, що дані передаються тільки правовласникам.

*Електроенергетичний трейдер* – фізична, юридична особа або комерційне підприємство, що продає електричну енергію з метою отримання прибутку.

*Постачальник* – фізична, юридична особа або комерційне підприємство, яке забезпечує електричною енергією інші фізичні або юридичні.

*Споживач* - споживач електроенергії, який купує енергію для власного споживання.

В результаті лібералізації ринку з'явилися наступні нові учасники:

*Кліринговий та розрахунковий агент* - фізична або юридична особа з офіційною ліцензією на клірингову та розрахункову діяльність з метою організації та клірингу енергетичних послуг з балансування на підконтрольній території, в Австрії це APCS Power Clearing & Settlement and A&B - Ausgleichsenergie & Bilanzgruppen-Management [13].

*Сторона, відповідальна за баланс* – юридична особа, що представляє балансуєчі групи по відношенню до інших учасників ринку та клірингових і розрахункових агентів.

*Учасники балансуєчої групи* - постачальники або споживачі, що об'єднуються в балансуєчі групи для збалансування виробітку та споживання електроенергії.

В Австрії, загальна модель керування даними організована в децентралізованому вигляді (рисунки 3). Є багато різних видів обміну даними, всі базуються на стандартних

форматах даних, що визначаються регулюючим органом. Більша частина цього обміну даних регулюється за допомогою «ринкових правил» або на основі юридично обов'язкових вимог.

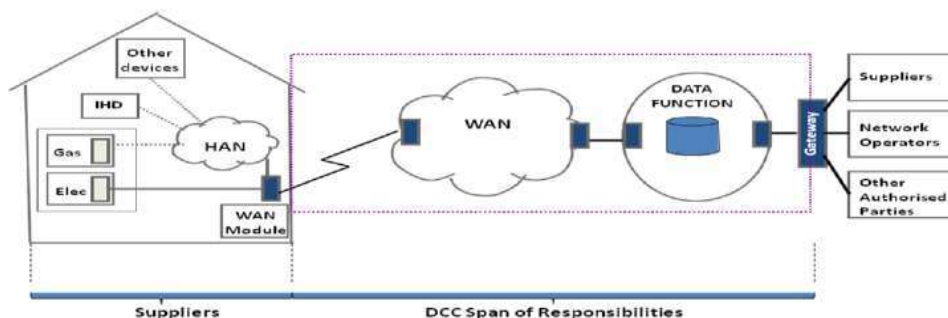


Рис.3 Змішана модель керування даними вимірювань [14]

З 2013 року планується розробити нову “платформу підключення постачальників”, призначену для управління потоком даних між DSO, старими і новими постачальниками, так звану “data hub” (“концентратор даних”). Ця платформа не буде виступати в якості централізованого сховища даних, адже всі дані споживачів будуть зберігатися в системах відповідальних учасників ринку, а обмін буде здійснюватись тільки через зазначену платформу в стандартному форматі. Крім того, в даний час платформа не призначена для використання при обміні даними з інтелектуальних лічильників.

В зв'язку з впровадженням інтелектуальних лічильників є кілька правових норм, що вступили в силу з 2011 року. Передумовою є, звичайно, встановлення інтелектуальних лічильників, але і в Австрії є кілька домогосподарств, які вже встановили інтелектуальні лічильники. Тому правові норми відносяться до майбутньої ситуації та зобов'язують операторів розподільних мереж забезпечити споживачів (домашні господарства та дрібних промислових споживачів) щоденним зчитуванням вимірюваних даних через веб-портал.

#### **Обґрунтування використання змішаної моделі керування даними.**

В Австрії всі потоки даних організовані у децентралізованому вигляді. Організаціями із споживання і захисту даних та учасниками ринку були висловлені деякі застереження у зв'язку зі зберіганням даних споживачів в централізованій платформі даних. Для декількох чутливих частин комунікаційних процесів, пов'язаних із підключенням постачальника та інтелектуальних систем вимірювання, не існує правової основи для зберігання даних в централізованому порядку.

#### **Висновки.**

Незалежно від обраної моделі керування даними, перш за все, має бути розроблена відповідна чітко окреслена нормативна-правова база, яка встановлює правила доступу до даних, їхньої конфіденційності та безпеки, з метою захисту інтересів споживачів, за умови надання одночасного пропорційного доступу до даних вимірювань уповноваженим сторонам. На даний момент неможливо виділити найбільш оптимальну модель керування даними з огляду на те, що склад учасників ринку електроенергії та кількість зацікавлених сторін відрізняються для кожної країни, внаслідок чого спостерігається різноманіття обраних моделей керування даними вимірювань.

Загальний огляд лібералізованих ринків електричної енергії деяких країн ЄС наведено у таблиці 1[15]:



Таблиця 1.

Країна	Кількість операторів магістральних мереж	Кількість операторів розподільних мереж	Кількість компаній-постачальників	Надання послуг з експлуатації систем обліку
Австрія	2	128	144	Оператори розподільних мереж
Бельгія	1	27	25	Оператори розподільних мереж
Данія	1	75	54	Оператори розподільних мереж
Німеччина	4	866	1013	Оператори розподільних мереж та провайдери послуг
Італія	1	144	381	Оператори розподільних мереж
Норвегія	1	157	100	Оператори розподільних мереж
Іспанія	1	300+	100+	Оператори розподільних мереж
Нідерланди	1	8	30+	Оператори розподільних мереж
Великобританія	7	18	24	Постачальник

## Джерела:

1. 3rd Internal Energy Market Package. [Електронний ресурс] *Режим доступу:* [http://ec.europa.eu/energy/gas\\_electricity/legislation/legislation\\_en.htm](http://ec.europa.eu/energy/gas_electricity/legislation/legislation_en.htm)
2. Директива Електроенергії 2009/72/ЕС. [Електронний ресурс] *Режим доступу:* <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:211:0055:0093:EN:PDF>
3. CEER Benchmarking Report on Meter Data Management. [Електронний ресурс] *Режим доступу:* [http://www.energy-regulators.eu/portal/page/portal/EER\\_HOME/EER\\_PUBLICATIONS/CEER\\_PAPERS/Customers/Tab3/C12-RMF-46-05\\_BR\\_MDM\\_07Nov2012.pdf](http://www.energy-regulators.eu/portal/page/portal/EER_HOME/EER_PUBLICATIONS/CEER_PAPERS/Customers/Tab3/C12-RMF-46-05_BR_MDM_07Nov2012.pdf), ст. 15.
4. CEER Benchmarking Report on Meter Data Management. [Електронний ресурс] *Режим доступу:* [http://www.energy-regulators.eu/portal/page/portal/EER\\_HOME/EER\\_PUBLICATIONS/CEER\\_PAPERS/Customers/Tab3/C12-RMF-46-05\\_BR\\_MDM\\_07Nov2012.pdf](http://www.energy-regulators.eu/portal/page/portal/EER_HOME/EER_PUBLICATIONS/CEER_PAPERS/Customers/Tab3/C12-RMF-46-05_BR_MDM_07Nov2012.pdf), ст. 15.
5. CEER Benchmarking Report on Meter Data Management. [Електронний ресурс] *Режим доступу:* [http://www.energy-regulators.eu/portal/page/portal/EER\\_HOME/EER\\_PUBLICATIONS/CEER\\_PAPERS/Customers/Tab3/C12-RMF-46-05\\_BR\\_MDM\\_07Nov2012.pdf](http://www.energy-regulators.eu/portal/page/portal/EER_HOME/EER_PUBLICATIONS/CEER_PAPERS/Customers/Tab3/C12-RMF-46-05_BR_MDM_07Nov2012.pdf), ст. 15.

- 
6. CEER Benchmarking Report on Meter Data Management. [Електронний ресурс] *Режим доступу:* [http://www.energy-regulators.eu/portal/page/portal/EER\\_HOME/EER\\_PUBLICATIONS/CEER\\_PAPERS/Customers/Tab3/C12-RMF-46-05\\_BR\\_MDM\\_07Nov2012.pdf](http://www.energy-regulators.eu/portal/page/portal/EER_HOME/EER_PUBLICATIONS/CEER_PAPERS/Customers/Tab3/C12-RMF-46-05_BR_MDM_07Nov2012.pdf), ст. 15.
  7. Офіційний сайт NVE. [Електронний ресурс] *Режим доступу:* <http://www.nve.no/en/Electricity-market/>.
  8. Директива Електроенергії 2003/54/ЕС. [Електронний ресурс] *Режим доступу:* <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2003:176:0037:0037:EN:PDF>
  9. Офіційний сайт Statnett. [Електронний ресурс] *Режим доступу:* <http://www.statnett.no/no/>
  10. Офіційний сайт BNetzA. [Електронний ресурс] *Режим доступу:* [http://www.bundesnetzagentur.de/cln\\_1911/EN/Areas/Energy/Companies/Companies-node.html](http://www.bundesnetzagentur.de/cln_1911/EN/Areas/Energy/Companies/Companies-node.html)
  11. CEER Benchmarking Report on Meter Data Management. [Електронний ресурс] *Режим доступу:* [http://www.energy-regulators.eu/portal/page/portal/EER\\_HOME/EER\\_PUBLICATIONS/CEER\\_PAPERS/Customers/Tab3/C12-RMF-46-05\\_BR\\_MDM\\_07Nov2012.pdf](http://www.energy-regulators.eu/portal/page/portal/EER_HOME/EER_PUBLICATIONS/CEER_PAPERS/Customers/Tab3/C12-RMF-46-05_BR_MDM_07Nov2012.pdf), ст. 35.
  12. CEER Benchmarking Report on Meter Data Management. [Електронний ресурс] *Режим доступу:* [http://www.energy-regulators.eu/portal/page/portal/EER\\_HOME/EER\\_PUBLICATIONS/CEER\\_PAPERS/Customers/Tab3/C12-RMF-46-05\\_BR\\_MDM\\_07Nov2012.pdf](http://www.energy-regulators.eu/portal/page/portal/EER_HOME/EER_PUBLICATIONS/CEER_PAPERS/Customers/Tab3/C12-RMF-46-05_BR_MDM_07Nov2012.pdf), ст. 36.
  13. The Austrian Natural Gas Act 2011. [Електронний ресурс] *Режим доступу:* [http://www.e-control.at/portal/page/portal/medienbibliothek/gas/dokumente/pdfs/GWG\\_en\\_konsolidiert-v3.pdf](http://www.e-control.at/portal/page/portal/medienbibliothek/gas/dokumente/pdfs/GWG_en_konsolidiert-v3.pdf)
  14. CEER Benchmarking Report on Meter Data Management. [Електронний ресурс] *Режим доступу:* [http://www.energy-regulators.eu/portal/page/portal/EER\\_HOME/EER\\_PUBLICATIONS/CEER\\_PAPERS/Customers/Tab3/C12-RMF-46-05\\_BR\\_MDM\\_07Nov2012.pdf](http://www.energy-regulators.eu/portal/page/portal/EER_HOME/EER_PUBLICATIONS/CEER_PAPERS/Customers/Tab3/C12-RMF-46-05_BR_MDM_07Nov2012.pdf), ст. 66.
  15. CEER Benchmarking Report on Meter Data Management. *Режим доступу:* [http://www.energy-regulators.eu/portal/page/portal/EER\\_HOME/EER\\_PUBLICATIONS/CEER\\_PAPERS/Customers/Tab3/C12-RMF-46-05\\_BR\\_MDM\\_07Nov2012.pdf](http://www.energy-regulators.eu/portal/page/portal/EER_HOME/EER_PUBLICATIONS/CEER_PAPERS/Customers/Tab3/C12-RMF-46-05_BR_MDM_07Nov2012.pdf), ст. 73.
-

УДК 621.316

Сухарь А.О, студентка бакалаврату,  
наук.керівник: к.т.н., доц., Коцар О.В.**ОЦІНКА СТУПЕНЮ УЧАСТІ КІНЦЕВОГО СПОЖИВАЧА У ФОРМУВАННІ  
ГРАФІКА НАВАНТАЖЕННЯ ЕНЕРГОСИСТЕМИ**

*В статті розглянуто спосіб визначення участі кінцевого споживача у формуванні графіка навантаження енергосистеми шляхом застосування взаємного кореляційного моменту двох графіків навантаження.*

*Ключові слова: електрична енергія, енергосистема, споживач, нерівномірність, графік навантаження, кореляція.*

*В статье рассмотрен способ определения участия конечного потребителя в формировании графика нагрузки энергосистемы путем применения взаимного корреляционного момента двух графиков нагрузки.*

*Ключевые слова: электрическая энергия, энергосистема, потребитель, неравномерность, график нагрузки, корреляция.*

*In current article is reviewed the method of ultimate customer's participation in load pattern generation determination on basis of usage of mutual correlation moment of the two load patterns.*

*Key words: electrical power, electric power system, consumer, ripple, load pattern, correlation.*

Починаючи від моменту масового використання електричної енергії однією з ключових проблем електроенергетики є задоволення потреб споживачів не тільки (і навіть не стільки) в кількості електричної енергії (кВт·г), скільки в електричній потужності (кВт), яка використовується струмоприймачами. А оскільки переважна більшість струмоприймачів використовує електричну потужність нерівномірно в часі (протягом доби тижня, місяця, сезону, року), і враховуючи той факт, що електрична потужність (електроенергія) може вироблятися тільки під час її споживання, то й виробіток електроенергії в часі також має здійснюватись нерівномірно, відповідно до графіку її споживання [1].

Нерівномірність виробітку й споживання електроенергії в часі призводить до погіршення режимів роботи енергосистеми та збільшення питомих витрат палива, що врешті решт негативно відбивається на екології довкілля [2]. Намагаючись зменшити цю нерівномірність енергосистема в різний спосіб стимулює кінцевих споживачів до вирівнювання власного графіку електроспоживання. А оскільки не всі споживачі спроможні рівномірно використовувати електричну потужність в часі, енергосистема, через застосування диференційованих тарифів, стимулює споживачів, які здатні регулювати власний графік навантаження, до вирівнювання результуючого графіка навантаження енергосистеми. При цьому постає завдання оцінити ступінь участі кожного кінцевого споживача у формуванні результуючого графіка навантаження енергосистеми.

Результуючий графік електричного навантаження енергосистеми складається з графіків навантаження кінцевих споживачів, а останні, в свою чергу, з графіків навантаження окремих струмоприймачів. Рівномірне споживання електричної енергії середньостатистичним кінцевим споживачем протягом тривалого інтервалу часу в загальному випадку малоімовірно, як вже зазначалося. Це пояснюється великою кількістю факторів, зокрема нерівномірність режиму роботи споживачів, різна добова активність людини, зміни світлового дня, зміни

кліматичних умов (сезонів) тощо. З іншого боку, нерівномірний виробіток електроенергії – процес, з економічної точки зору, недоцільний. Адже собівартість електроенергії, виробленої маневреними енергоблоками, значно перевищує собівартість виробітку електроенергії базовими енергоблоками, які мають високу інерційність [3].

Нерівномірність сумарного графіка посилюється суміщенням екстремумів електроспоживання окремих струмоприймачів. Втім, більшість з учасників шляхом регулювання процесу виробництва здатні зсунути своє енергоспоживання в часі. Таким чином можна досягти того, що мінімуму одиничного графіка відповідатиме максимум графіка енергосистеми, і навпаки. Тобто, такі споживачі сприятимуть зменшенню сумарної нерівномірності, що є однією з головних цілей енергосистеми. В умовах переходу до моделі ринку двохсторонніх договорів та балансуючого ринку (РДДБР) необхідно застосовувати механізм економічного стимулювання для таких споживачів, як, наприклад, диференціація тарифу. Проте заохочення не може бути випадковим, одиничним. Має бути впроваджена система договорів, які будуть обґрунтовувати заохочення, в разі виконання струмоприймачем умови максимальної некореляції власного графіка з сумарним навантаженням енергосистеми, та штрафи, в разі невиконання струмоприймачем покладених на нього обов'язків.

Щоб порівнювати дві змінні в часі величини, необхідно мати визначену міру порівняння. Такою мірою може бути взаємний кореляційний момент (ВКМ) двох графіків навантаження [4]. Значення ВКМ дає нам уявлення про те, наскільки вид одного графіка електричної потужності (навантаження) подібний до виду іншого. Додатне значення ВКМ свідчить про співпадіння екстремумів одного типу: чим ближче значення ВКМ до одиниці, тим більша подібність між графіками, що порівнюються. Максимальне ж за модулем від'ємне значення ВКМ свідчить про найбільшу невідповідність між графіками.

Проілюструємо вищесказане на елементарних прикладах. Розглянемо тривіальні графіки енергоспоживання енергосистеми і кінцевого споживача (всі графіки мають інтервал усереднення  $T = 30$  хв.):

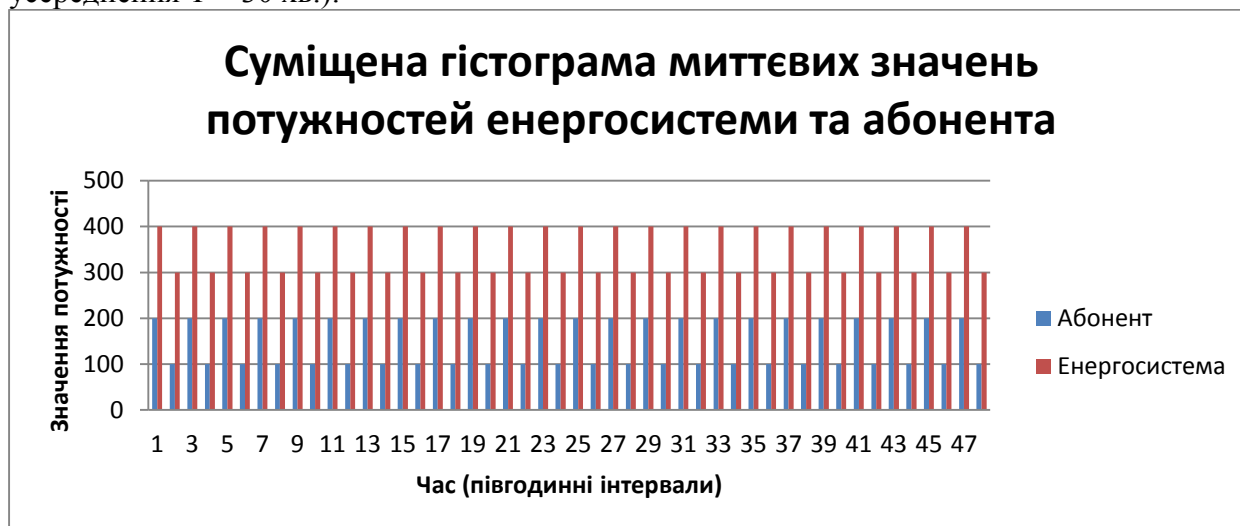


Рис 1.

Нехай певний споживач має елементарний двоступінчатий періодичний графік навантаження з періодом повторюваності 60 хв (рис.1). Нехай форма графіка навантаження енергосистеми абсолютно повторює форму графіка споживача. Значення ВКМ  $k$  в моменти часу  $t = (1, 3, 5, 7 \dots 2n+1) \cdot 30$ хв дорівнює 1 (рис 2). Цей споживач максимально сприяє нерівномірності результуючого графіка навантаження енергосистеми.

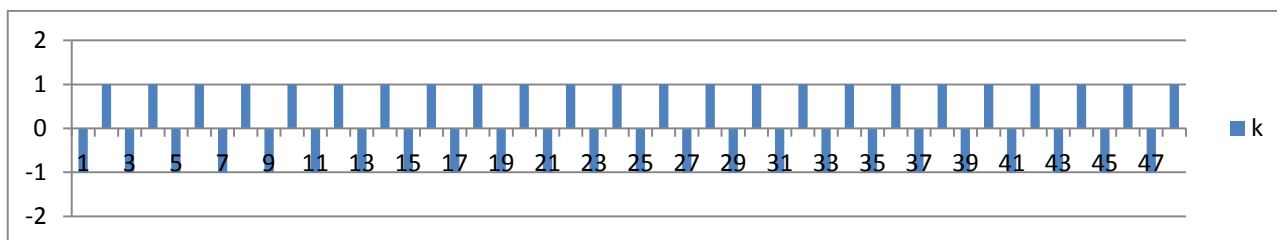


Рис. 2

Якщо графік навантаження цього споживача зсунути в часі на  $\tau = 30$  хв. (рис.3), тоді в ті ж самі моменти часу  $k$  дорівнюватиме  $-1$ , що свідчить про те, що сумарний і одиничний графіки абсолютно не корелюються. Споживання електроенергії таким графіком сприятиме зменшенню нерівномірності результуючого графіка навантаження енергосистеми.

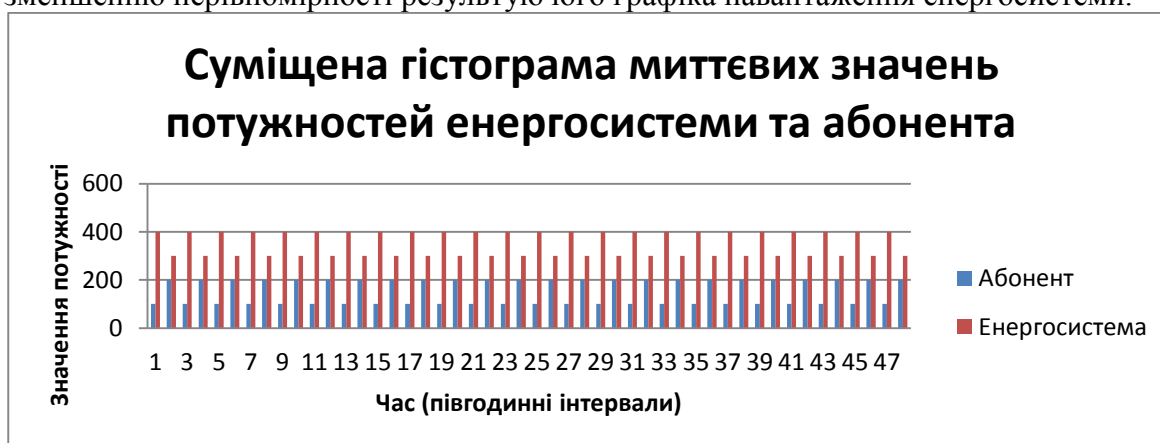


Рис.3

Розглянемо двоступінчатий графік навантаження з періодом повторюваності 120 хв. (рис.4).  $k=1$  при  $t=(4n+1) \cdot 30$  хв (рис. 5).



Рис. 4

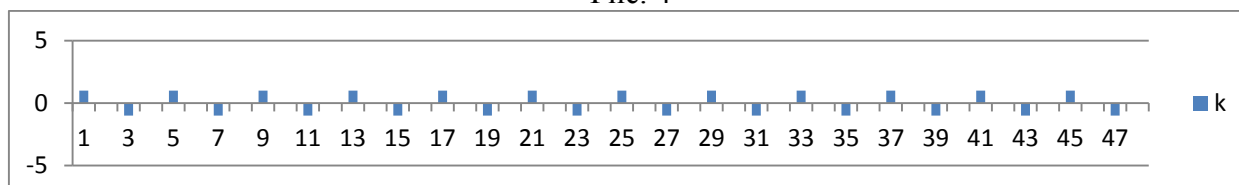


Рис. 5

Також з рис.5 видно, що при  $t=(4n-1) \cdot 30$  хв  $k=-1$ , тобто зсунувши енергоспоживання абонента в часі всього на годину буде досягнута максимальна некореляція двох графіків(рис.6).

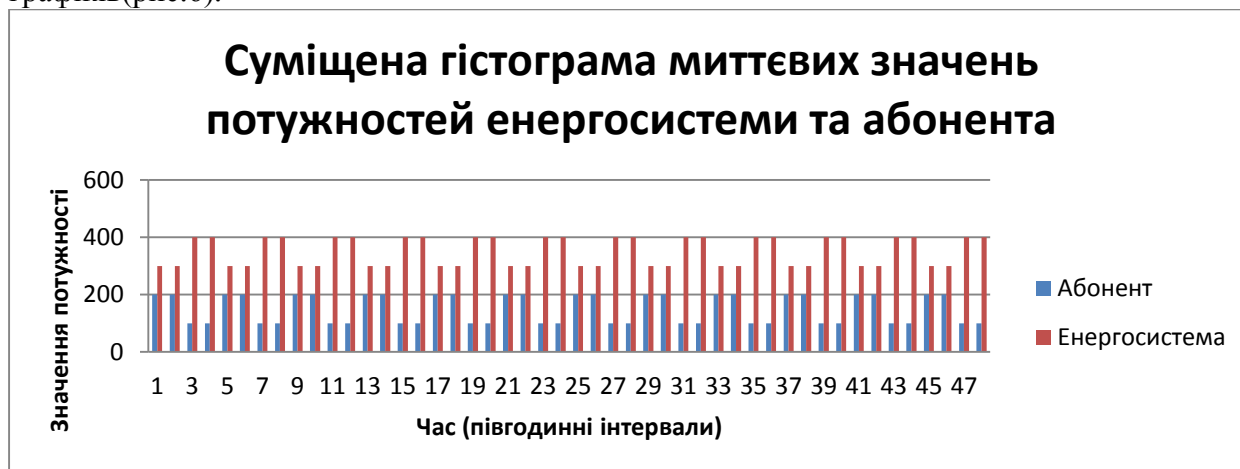


Рис.6

Тепер розглянемо двоступінчатий графік навантаження з періодом повторюваності 180 хв. (рис.7).

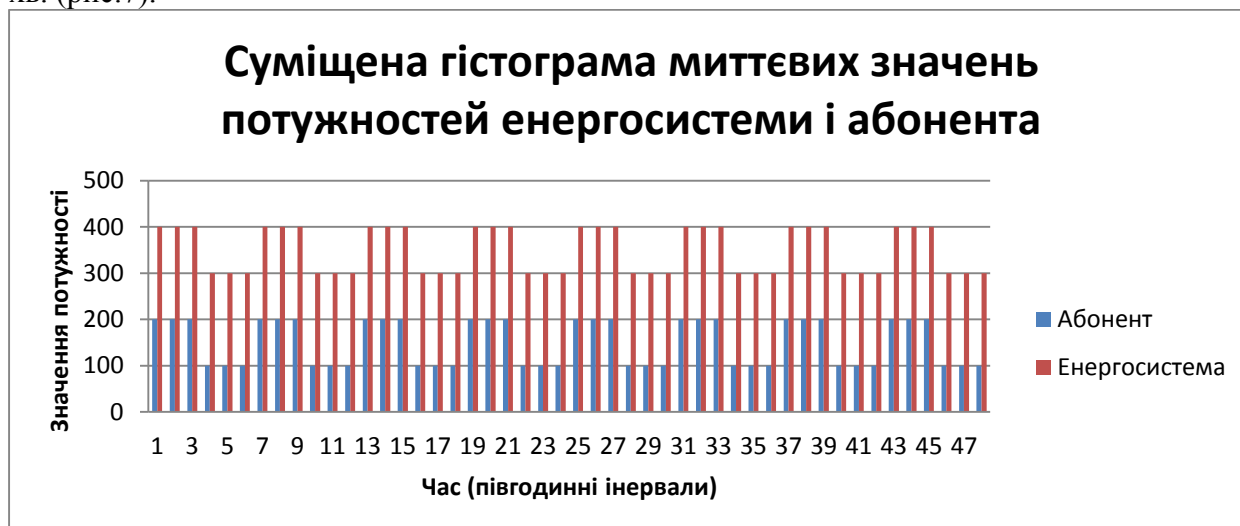


Рис.7

На рис.8 зображено корелограму цих графіків. З корелограми видно, що абонент масимально підсилює нерівномірність електроспоживання енергосистеми при  $t=(6n+1) \cdot 30$  хв. Якщо змістити графік абонента лише на півгодини, ВКМ зменшується у 3 рази, що свідчить про те, що вплив абонента на нерівномірність графіка системи в цьому випадку значно менший. Змістившись ще на півгодини, отримуємо від'ємний ВКМ, тобто графік абонента буде сприяти зменшенню нерівномірності сумарного графіка. І, нарешті, змістивши електроспоживання абонента на півтори години, маємо повну некореляцію двох графіків.

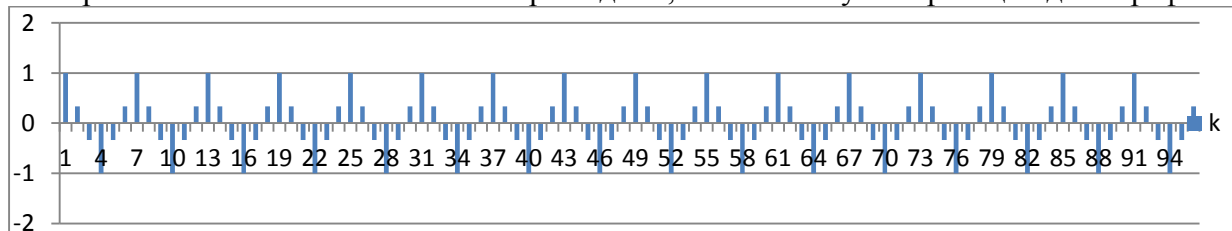


Рис.8

Розглянемо трьохступінчаті графіки.

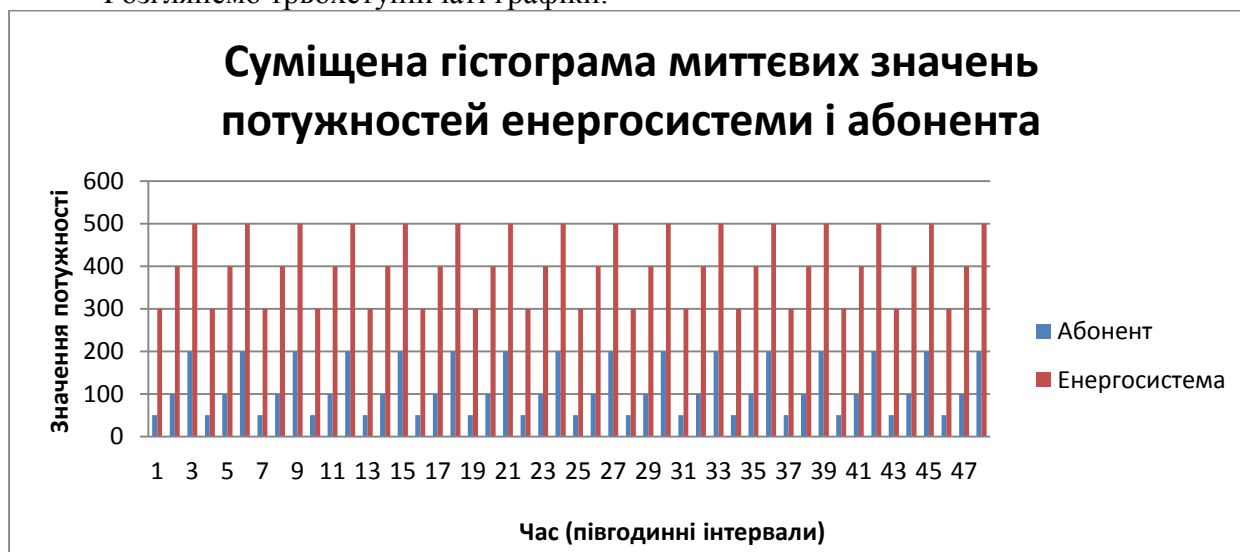


Рис.9

Нехай графік електричного навантаження абонента і енергосистеми має період повторюваності 90 хв. Форма графіка абонента повністю повторює форму графіка енергосистеми. В момент часу  $t=(3n+1) \cdot 30$  хв. графіки корелюються абсолютно (рис.10).

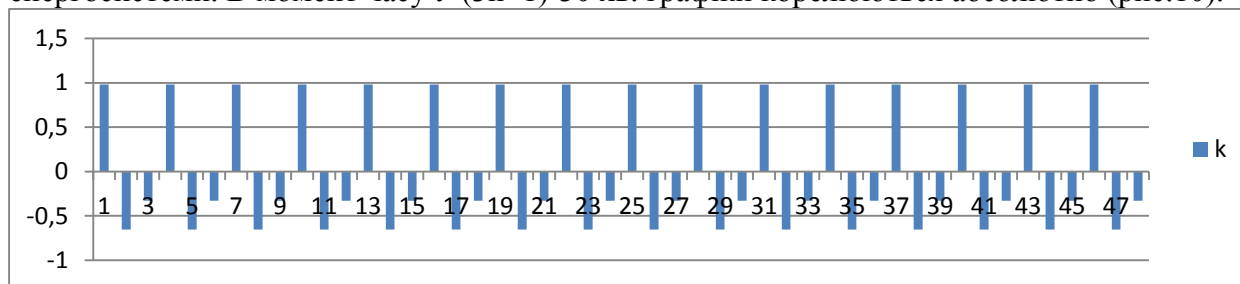


Рис. 10

При зсуві графіка навантаження абонента на  $\tau=30$  хв. вперед,  $k$  приймає значення  $-0,66$ , при  $\tau=60$  хв.  $k=-0,33$ , що свідчить про те, що абонент сприяє зменшенню сумарної нерівномірності. Але при  $\tau=30$  хв. взаємодія одиничного та сумарного графіків буде результативнішою.

На рис.11 зображено трьохступінчатий графік, який має період повторюваності 180 хв. Корелограму зображено на рис.12. З корелограми видно, що зсунувши енергоспоживання абонента вперед на  $\tau=30$  хв., зменшимо ВКМ двох графіків з 1 до 0,16, а змістившись ще на 30 хв. отримаємо від'ємний ВКМ, який показує що характер одного графіка різко відрізняється від характеру другого.



Рис.11

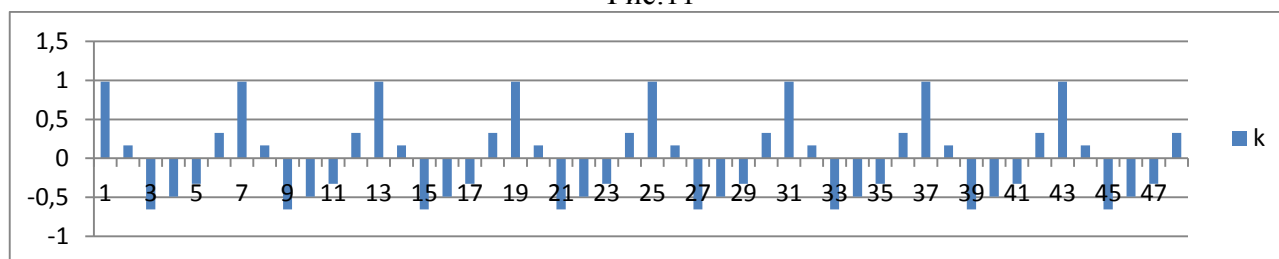


Рис.12

Застосуємо проведені дослідження до реальних графіків електричного навантаження. Нехай маємо енергосистему, до складу якої входять 10 абонентів, що формують її сумарне навантаження. Розглянемо поведінку одного з абонентів і проаналізуємо вплив навантаження цього абонента на навантаження енергосистеми (рис13).

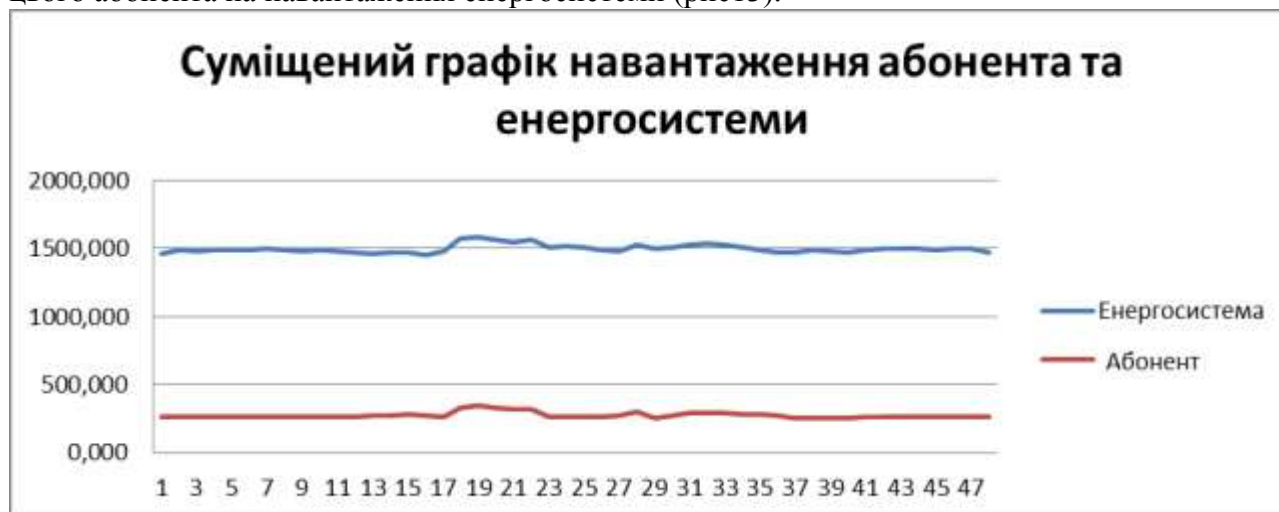


Рис.13

З рисунка видно, що форма графіка електричного навантаження абонента подібна до форми сумарного графіка. Розглянемо корелограму цих графіків(рис.14).



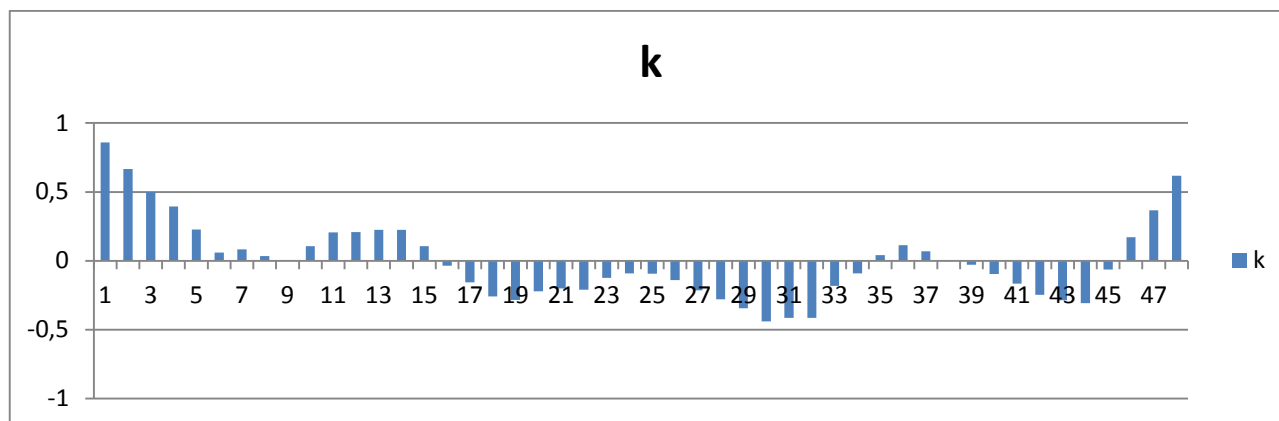


Рис.14

З корелограми видно, що при  $\tau=9\cdot30$  хв.  $k=0$ , тобто енергоспоживання абонента мінімально впливає на форму графіка енергосистеми. Корелограма має три яскраво виражені мінімуми: при  $\tau=19\cdot30$  хв.,  $\tau=30\cdot30$  хв. і  $\tau=44\cdot30$  хв. Таким чином можна очікувати, що в ці моменти часу графік навантаження даного споживача максимально сприятиме вирівнюванню графіка навантаження енергосистеми.

Щодо використання ВКМ, як критерія порівняння навантаження енергосистеми з навантаженням її складових,  $k=-1$  – значення, до якого має прагнути ВКМ енергосистеми та споживача, який погодився брати участь у зменшенні сумарної нерівномірності графіка навантаження енергосистеми. В реальних умовах досягти такого значення ВКМ практично неможливо, адже при зміщенні графіка одного з абонентів змінюється й вигляд сумарного графіка навантаження енергосистеми. Тому треба прагнути до від'ємного значення ВКМ, при цьому ступінь участі споживача у зменшенні сумарної нерівності графіка навантаження енергосистеми слід оцінювати відповідно до модулю ВКМ.

#### Література

1. Праховник А.В., Коцар О.В. Керування режимами електроспоживання в умовах запровадження в Україні ринку двохсторонніх договорів та балансуєчого ринку // *Енерг. и электрификация*, 2010. - №2 - С.42 - 52.
2. Коцарь О.В., Варганова О.В. Стимулирование генерирующих энергокомпаний и потребителей к повышению энергоэффективности и сокращению вредных выбросов // *Энергетика: экономика, технологии, экология*, 2012. - №2 - С.40 - 44.
3. Свидерская О. В. Основы энергосбережения: ответы на экзаменац. вопр. / О. В. Свидерская. — Минск: ТеграСистсмс, 2008. — 176 с.
4. Гордеев В.И. Регулирование максимума нагрузки промышленных электрических сетей. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 184 с.: ил. – (Экономия топлива и электроэнергии).

УДК 621.311

Находов В.Ф., к.т.н., доцент

Яроцька Т.В., аспірант

Матвійко Н.О., магістрант

**АНАЛІЗ ВПЛИВУ ДИФЕРЕНЦІЙОВАНИХ ЗА ПЕРІОДАМИ ЧАСУ ТАРИФІВ  
НА ЕЛЕКТРИЧНУ ЕНЕРГІЮ НА ПОПИТ СПОЖИВАЧІВ НА ЕЛЕКТРИЧНУ  
ПОТУЖНІСТЬ**

*В статті проаналізовано вплив диференційованих тарифів на електричну енергію на конфігурацію добових графіків електричного навантаження споживачів. Виділені групи споживачів, які готові змінювати конфігурацію свого графіку навантаження в залежності від величини співвідношень тарифних коефіцієнтів. Визначено можливий перерозподіл навантаження споживачів протягом доби.*

**АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ДИФФЕРЕНЦИРОВАННЫХ ПО ПЕРИОДАМ ВРЕМЕНИ  
ТАРИФОВ НА ЭЛЕКТРИЧЕСКУЮ ЭНЕРГИЮ НА СПРОС ПОТРЕБИТЕЛЕЙ НА  
ЭЛЕКТРИЧЕСКУЮ МОЩНОСТЬ**

*В статье проанализировано влияние дифференцированных тарифов на электрическую энергию на конфигурацию суточных графиков электрической нагрузки потребителей. Выделенные группы потребителей, которые готовы менять конфигурацию своего графика нагрузки в зависимости от величины соотношений тарифных коэффициентов. Определено возможное перераспределение нагрузки потребителей на протяжении суток.*

**ANALYSIS OF DIFFERENTIATED BY TIME PERIOD THE TARIFF FOR  
ELECTRICITY AT CONSUMER DEMAND FOR ELECTRIC CAPACITY**

*This paper analyzes the impact of differentiated tariffs for electricity on the configuration of daily schedules of electric load customers. The selected group of consumers who are ready to configure your graphics load depending on the size ratio of tariff rates. Definitely possible redistribution of loads of consumers during the day.*

**Вступ.** Через нерозривність процесу електропостачання й електроспоживання енергосистема змушена покривати графік навантаження споживача з усіма його нерівномірностями. Але енергосистема не завжди здатна задовольнити попит споживачів на електричну потужність, який швидко змінюється.

При покритті добового графіка електричного навантаження основні труднощі пов'язані з забезпеченням максимуму навантаження й необхідної швидкості набору навантаження в години ранкового максимуму, а також необхідного розвантаження в години провалу електричного навантаження. Причиною тому, що енергосистема не завжди може задовольнити попит споживачів є практично повна відсутність в ОЕС України маневрених генеруючих потужностей.

Вирішення цієї проблеми потрібно шукати не тільки у напрямку створення і введення в експлуатацію додаткових маневрених потужностей, зокрема, потужностей ГЕС і ГАЕС, або ж використання значного потенціалу децентралізованої (розосередженої) генерації. Помітного полегшення режимів виробництва та розподілу електроенергії в ОЕС, підвищення надійності та економічності її функціонування можна досягти також шляхом дієвого управління попитом споживачів на електричну потужність.

Одним із основних економічних методів управління електроспоживанням є тарифи на електричну енергію, котрі повинні не лише повертати витрати на виробництво, передачу та розподіл енергії і забезпечувати необхідний рівень прибутку, але й бути ефективним інструментом регулювання процесу електроспоживання.

На сьогоднішній день в Україні єдиним засобом економічного управління попитом споживачів на електричну потужність є тарифи на електроенергію, диференційовані за періодами часу (далі – диференційовані тарифи), які діють в нашій державі з 1995 року.

**Завдання дослідження:** дослідити можливість управління попитом споживачів на електричну потужність за допомогою диференційованих за періодами часу тарифів на електричну енергію.

**Мета дослідження:** визначення впливу рівня ставок диференційованих за періодами часу тарифів на електричну енергію на конфігурацію добових графіків навантаження споживачів, що їх використовують.

#### **Виклад основного матеріалу**

Для виконання аналізу використання діючих в Україні тарифів на електричну енергію, диференційованих за періодами часу, а також визначення можливих та доцільних напрямків їх подальшого удосконалення було проведено анкетне опитування енергоємних споживачів, в кількості 77 споживачів, що використовують диференційовані тарифи та 72 споживача, які розраховуються за звичайним тарифом. Споживачі обирались кваліфікованими спеціалістами найкрупніших енергопостачальних компаній, як найбільш характерні в регіоні. Загалом опитування було проведено в 9 енергопостачальних організаціях.

Аналіз використання протягом останніх 10 років диференційованих тарифів свідчить, що на сьогоднішній день економічна заінтересованість споживачів у подальшому вирівнюванні графіків навантаження енергосистеми є дуже низькою [1]. Тобто, існуючі диференційовані тарифи вичерпали свої можливості впливу на характер попиту на електричну потужність тих споживачів, які їх використовують.

З метою визначення шляхів удосконалення існуючих диференційованих тарифів перш за все необхідно проаналізувати вплив цих тарифів на конфігурацію добових графіків електричного навантаження споживачів. Для цього, зокрема, слід визначити та дослідити зв'язок між рівнем тарифних ставок (або тарифних коефіцієнтів), встановлених для відповідних зон доби, і змінами характеру попиту споживачів на потужність, що відбулися або могли б відбутися завдяки застосуванню диференційованих тарифів.

Зважаючи на те, що за 17 років використання в нашій державі диференційованих тарифів на електричну енергію тарифні коефіцієнти для зон доби змінювались незначно і всього кілька разів, наявних статистичних даних недостатньо для побудови та аналізу відповідних стохастичних залежностей. Тому для вирішення цієї задачі в умовах невизначеності та недостатності вихідної інформації пропонується використовувати методи експертного оцінювання, а також нечіткої математики та логіки [2-3].

При застосуванні експертних методів в ході опитування фахівцям різного профілю, які працюють на характерних виробничо-господарських об'єктах, надається декілька можливих варіантів диференційованих за часом тарифів на електроенергію, що відрізняються між собою рівнем тарифних коефіцієнтів. Експертам пропонується на основі їх спеціальних знань та професійного досвіду оцінити можливі обсяги споживання електричної енергії на відповідному об'єкті в кожній зоні доби у випадку застосування кожного з варіантів диференційованих тарифів. Опитування проводиться для двох типів підприємств:

- промислові підприємства, що використовують диференційовані за періодами доби тарифи на електричну енергію;

- промислові підприємства, які розраховуються за звичним одноставочним тарифом, і є перспективними з точки зору регулювання їх попиту на електричну потужність і енергію впродовж доби.

В проведеному експертному опитуванні були задіяні близько 150 підприємств різних галузей промисловості і, відповідно, з різних технологічними процесами виробництва. З метою отримання надійних результатів аналізу та обробки отриманої від експертів інформації необхідно, перш за все, оцінити ступінь узгодженості думок експертів та виявити причини їх неоднорідності.

Так для споживачів, які розраховуються за одноставочними тарифами отримані наступні результати, наведені на рисунку 1.

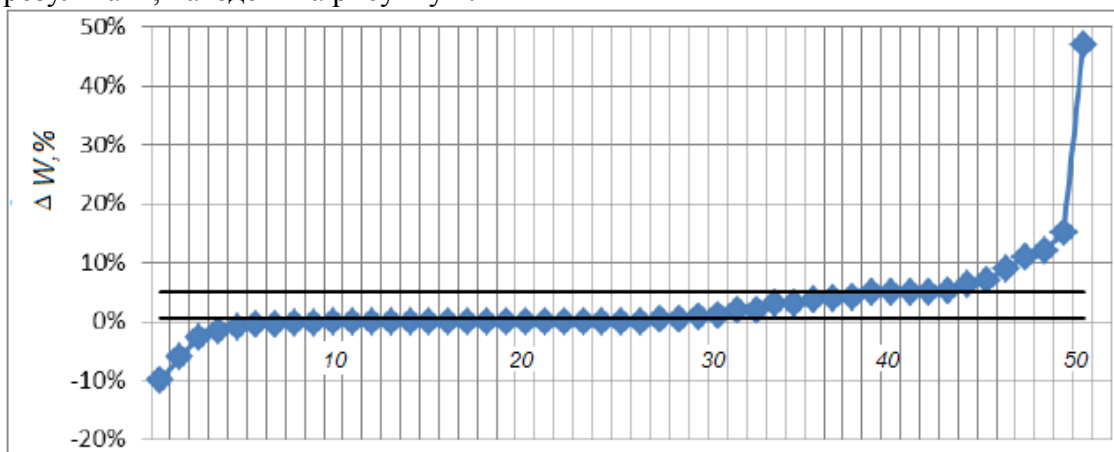


Рисунок 1 - Результати аналізу узгодженості думок експертів для споживачів, що розраховуються за одноставочним тарифом

Експертні думки, які виявились значно нижчими від загальної думки експертів групи представляють групу споживачів, які при будь-яких варіантах співвідношень тарифних коефіцієнтів у зв'язку з технологічними особливостями виробництва або з інших об'єктивних причин змінювати свої добові графіки навантаження не можуть. Отже, для подальшого аналізу можливих змін в добових графіках енергосистеми при залученні нових споживачів до диференційованих тарифів, такі споживачі не можуть бути об'єктом подальших досліджень і виключаються з матриці експертної інформації.

Надалі аналізуються відповіді споживачів, значення яких є близькими до загальної думки експертів або значно вищі від неї. Питома вага такої групи споживачів серед всіх опитаних підприємств складає 40%. Кластерний аналіз такої групи споживачів представлений на рисунку 2. Як видно на рисунку 2 відповіді споживачів № 6, 20, 17 і 10 помітно відрізняються від результатів опитування інших споживачів. Однак, виключати їх з масиву отриманих даних не варто, так як вони несуть достатньо цінну інформацію і представляють собою споживачів, які мають найбільш гнучкий попит на електричну потужність впродовж доби.

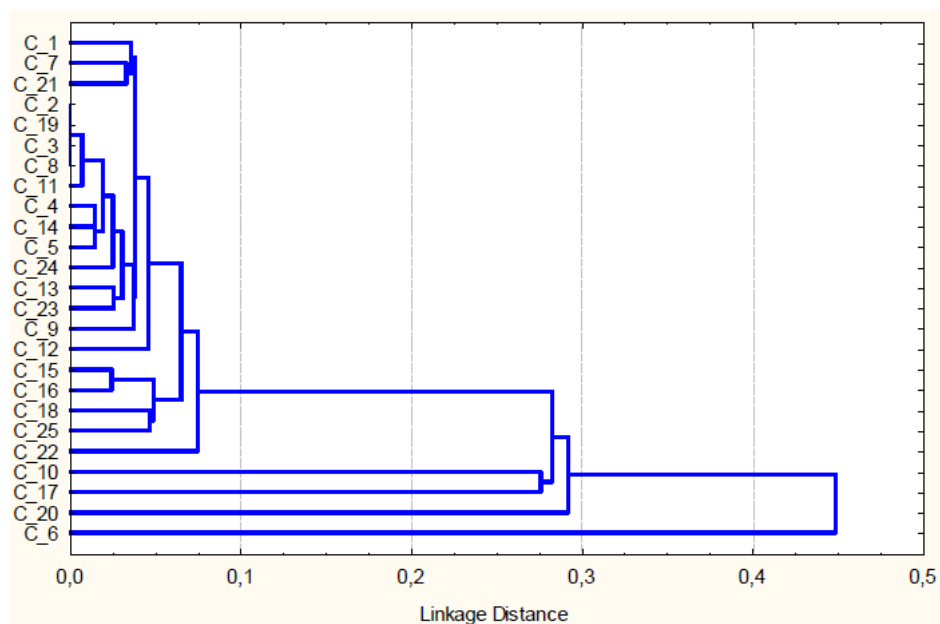


Рисунок 2 - Результати кластерного аналізу групи споживачів, що не використовують диференційовані тарифи

Процедура аналізу узгодженості думок експертів аналогічно застосовується і до підприємств, що розраховуються за диференційованими тарифами (рисунок 3).

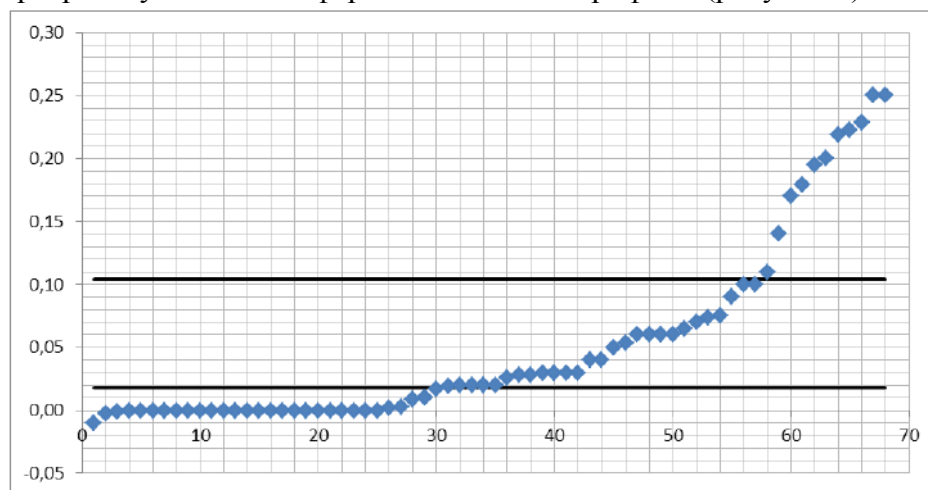


Рисунок 3 - Результати аналізу узгодженості думок експертів для споживачів, що розраховуються за диференційованим тарифом

Вибірка значень думок експертів підприємств, що використовують диференційовані тарифи, характеризується значною варіацією. Підприємства, зміна навантаження яких має від'ємне значення виключаються з масиву даних, як помилкові. Всі інші підприємства підлягають процедурі кластерного аналізу для більш детальної оцінки попиту таких споживачів на електричну потужність впродовж доби. Групування споживачів здійснюється на основі методу кластерного аналізу k-середніх. Аналіз здійснюється на основі значень зниження навантаження в пікові години і його збільшення в нічні години при різних значеннях різниці тарифних коефіцієнтів. Результати кластерного аналізу наведені на рисунку 4, отримані за допомогою програмного забезпечення Statistika 6.0.

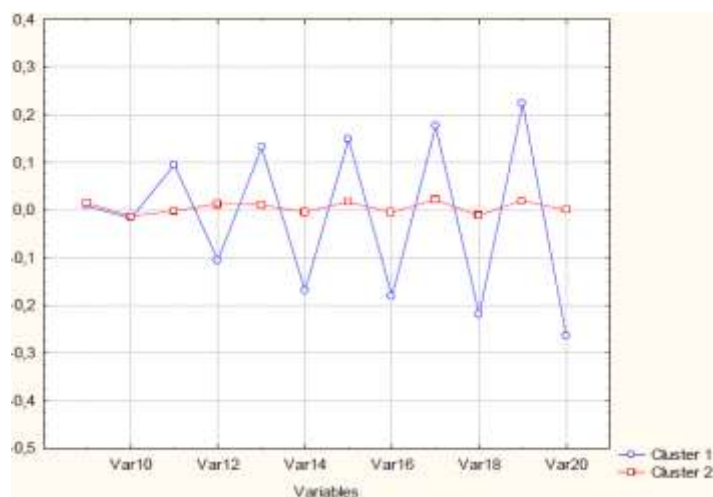


Рисунок 4 - Результати кластерного аналізу групи споживачів, що використовують диференційовані тарифи

Таким чином результатом кластерного аналізу являються дві групи споживачів:

- споживачі, які згідно своїх технологічних особливостей або інших об'єктивних причин не можуть змінювати свої графіки навантаження або змінюють їх не значно;
- споживачі, які готові змінювати свої добові графіки навантаження при підвищенні різниці в тарифних коефіцієнтах в нічні та пікові години доби.

З метою прогнозування можливих змін в графіку навантаження споживачів, в залежності від рівня тарифних коефіцієнтів диференційованих тарифів доцільно використовувати методи економічного аналізу попиту таких споживачів на електричну потужність в відповідних періодах доби в залежності від вартості споживання 1 кВт·год та визначення коефіцієнтів еластичності їх попиту (рисунки 5-6).

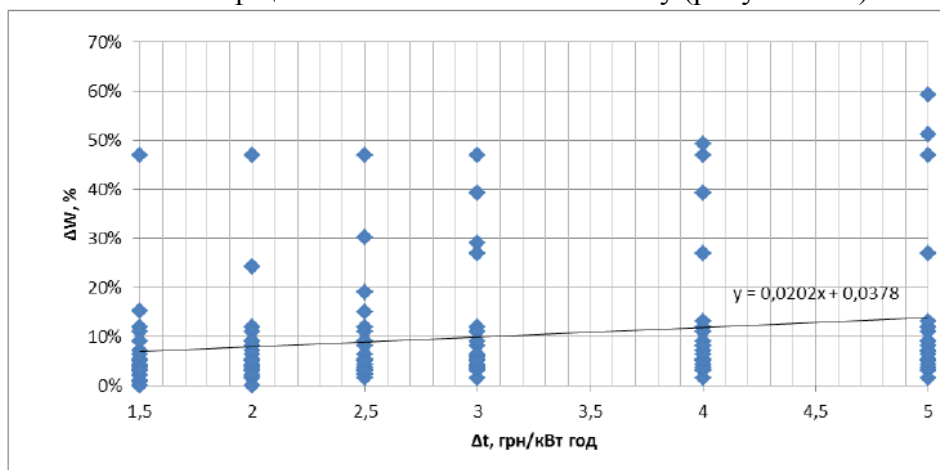


Рисунок 5 - Лінійна модель залежності перерозподілу навантаження споживачів, що розраховуються за одноставочним тарифом протягом доби від різниці між вартістю електричної енергії в різні тарифні зони доби для зимового сезону

Попит на електричну потужність споживачів, що розраховуються за одноставочними тарифом протягом доби є нееластичним. Однак, вже при різниці в тарифних коефіцієнтах

$\Delta t=1,5$  грн/кВт·год група споживачів, що розглядалась, готова знизити своє денне навантаження і підвищити нічне приблизно на 4%.

Аналогічно будуються криві еластичності і для споживачів, які використовують диференційовані тарифи, а саме для групи споживачів, які готові змінювати свої добові графіки навантаження при підвищенні різниці в тарифних коефіцієнтах в нічні та пікові години доби зимового сезону.

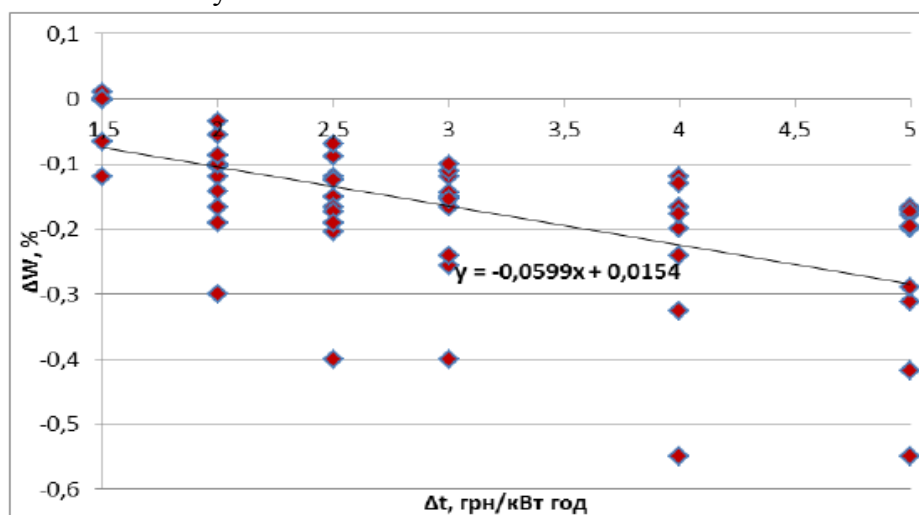


Рисунок 6 - Лінійна модель залежності перерозподілу навантаження споживачів, які готові змінювати свої добові графіки навантаження в пікові години доби для зимового сезону

Таким чином, при зміні різниці в вартості електричної енергії в нічні та пікові години доби на 1 грн/кВт·год навантаження споживачів, що регулюють свій попит на електричну потужність збільшиться приблизно на 5% вночі та знизиться приблизно на 6% в пікові години доби.

Отримана від експертів інформація щодо конфігурації їх добових графіків навантаження є недостатньо чіткою та визначеною, так як, на навантаження і конфігурацію добових графіків окрім рівня диференційованих тарифів значно впливають і інші фактори, такі як – сезонність, температура навколишнього середовища, обсяг замовлень на кінцеву продукцію та ін., - які в процесі опитування до уваги не брались. Тому жоден з експертів не може із стовідсотковою прогнозувати зміни в графіках навантаження свого підприємства. Тому відповіді, отримані в анкетах, варто розцінювати, як приблизну величину, навколо якої може бути реальне значення споживання електричної потужності підприємства в різні періоди доби.

Тому для аналізу отриманих анкет доцільно використати методи нечіткої математики та побудови експертних баз знань.

Основною задачею аналізу еластичності попиту споживачів, що використовують диференційовані тарифи на електричну енергію, являється *визначення їх потенціалу з точки зору подальшого управління попитом споживачів на електричну потужність*. З цією метою на основі нечіткої математики були проаналізовані відповіді експертів [4-5]. Певним значенням варіантів різниці між значеннями тарифних коефіцієнтів в денні та нічні години доби ставилось у відповідність можливе зменшення або збільшення навантаження в нічний та піковий період. На основі таких логічних виразів будувалась експертна система, яку в подальшому можна використовувати для прийняття управлінських рішень щодо корегування існуючих тарифів. Результати аналізу для споживачів, що розраховуються за одноставочним тарифом представлені в таблиці 1.

Таблиця 1 - Результати перерозподілу навантаження споживачів, що розраховуються за одноставочним тарифом протягом доби

	Нечітка оцінка зменшення навантаження в пікові години доби	Значення функції приналежності нечіткої оцінки	Чітке значення зменшення навантаження в пікові години доби
<b>Зимовий режимний день</b>			
$\Delta T=1,5$ грн/кВт·год	Близько 10%	$\mu(\Delta W)=0,5$	5,35%
$\Delta T=2,0$ грн/кВт·год	Близько 10%	$\mu(\Delta W)=0,5$	5,58%
$\Delta T=2,5$ грн/кВт·год	Близько 10%	$\mu(\Delta W)=0,412$	5,28%
$\Delta T=3,0$ грн/кВт·год	Близько 10%	$\mu(\Delta W)=0,34$	7,35%
$\Delta T=4,0$ грн/кВт·год	Близько 10%	$\mu(\Delta W)=0,28$	8,73%
$\Delta T=5,0$ грн/кВт·год	Близько 10%	$\mu(\Delta W)=0,2$	14,05%

Результати аналізу для споживачів, що розраховуються за диференційованими тарифами представлені в таблицях 2-3.

Таблиця 2 - Результати аналізу зниження обсягу споживання електричної потужності в пікові години доби для споживачів, що розраховуються за диференційованими тарифами

	Нечітка оцінка зменшення навантаження в пікові години доби	Значення функції приналежності нечіткої оцінки	Чітке значення зменшення навантаження в пікові години доби
<b>Зимовий режимний день</b>			
$\Delta T=1,5$ грн/кВт·год	Близько 0%	$\mu(\Delta W)=0,96$	3,43%
$\Delta T=2,0$ грн/кВт·год	Близько 0%	$\mu(\Delta W)=0,95$	3,45%
$\Delta T=2,5$ грн/кВт·год	Близько 10%	$\mu(\Delta W)=0,5$	5,34%
$\Delta T=3,0$ грн/кВт·год	Близько 10%	$\mu(\Delta W)=0,5$	5,34%
$\Delta T=4,0$ грн/кВт·год	Близько 10%	$\mu(\Delta W)=0,5$	5,47%
$\Delta T=5,0$ грн/кВт·год	Близько 10%	$\mu(\Delta W)=0,5$	5,52%

Таблиця 3 - Результати аналізу збільшення обсягу споживання електричної потужності в нічні години доби для споживачів, що розраховуються за диференційованими тарифами

	Нечітка оцінка збільшення навантаження в нічні години доби	Значення функції приналежності нечіткої оцінки	Чітке значення збільшення навантаження в нічні години доби
<b>Зимовий режимний день</b>			
$\Delta T=1,5$ грн/кВт·год	Близько 0%	$\mu(\Delta W)=0,97$	3,41%
$\Delta T=2,0$ грн/кВт·год	Близько 10%	$\mu(\Delta W)=0,95$	5,23%
$\Delta T=2,5$ грн/кВт·год	Близько 10%	$\mu(\Delta W)=0,5$	5,48%
$\Delta T=3,0$ грн/кВт·год	Близько 10%	$\mu(\Delta W)=0,5$	5,34%
$\Delta T=4,0$ грн/кВт·год	Близько 10%	$\mu(\Delta W)=0,4$	5,23%
$\Delta T=5,0$ грн/кВт·год	Близько 10%	$\mu(\Delta W)=0,3$	6,23%

Отже, згідно даних наведених в таблицях 2-3 при зростанні різниці між тарифними коефіцієнтами споживачі, що використовують диференційовані тарифи, будуть зменшувати навантаження в пікові години доби і збільшувати його в нічні години. Ці зміни в графіках



навантаження не будуть перевищувати 6,5% добового споживання електричної потужності. При цьому помітно, що для зимового періоду попит споживачів в зазначених періодах доби є більш еластичним. Але починаючи з показника  $\Delta t=2$  грн/кВт·год (різниця між тарифними ставками пікового та нічного періоду) опитані підприємства не готові збільшувати своє навантаження і ця величина залишається приблизно однаковою надалі.

#### **Висновки**

1. На сьогодні, диференційовані тарифи вичерпали свої можливості впливу на характер попиту на електричну потужність тих споживачів, які їх використовують і потребують подальшого удосконалення.

2. При зростанні різниці між тарифними коефіцієнтами, наприклад, на 1,5 грн/ кВт·год перспективні споживачі, що використовують диференційовані тарифи, будуть зменшувати навантаження в пікові години доби і збільшувати його в нічні години на 3,4%.

3. З метою ефективного управління попитом споживачів на електричну потужність необхідно виділити і проаналізувати перспективні групи споживачів і на основі аналізу їх попиту на електричну потужність розробляти меню тарифів на електричну потужність і енергію.

#### **Перелік використаних джерел**

1. Папков Б.В. Электроэнергетический рынок и тарифы: Учеб. пособие/Б.В. Папков; НижнеНовгород. гос. техн. ун-т. Н. Новгород, 2002. 252с.

2. Бешелев С.Д. Гурвич Ф.Г. Математико-статистические методы экспертных оценок. – 2-е изд., переб. и доп. – М.: Статистика, 1980. – 263с. ил.

3. Мітюшкін Ю. І., Мокін Б. І., Ротштейн О. П. Soft Computing: ідентифікація закономірностей нечіткими базами знань. Монографія. - Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2002. - 145 с.

4. А.П. Рыжов. Модели поиска информации в нечеткой среде. – М.: Издательство Центра прикладных исследований при механико-математическом факультете МГУ. 2004. – 96 с.

5. Зайченко Ю. П. Нечеткие модели и методы в интеллектуальных системах. – К.: «Издательский дом «Слово». 2008. – 344 с.

УДК 621.311:658.26:336.5.02:64

Чернявський А.В., Мидловець О.А.

### ЗАСТОСУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ БЕНЧМАРКІНГУ ДЛЯ ПОРІВНЯННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ВИЩИХ НАВЧАЛЬНИХ ЗАКЛАДІВ

*У роботі вказано на проблеми управління енергозбереженням у вищих навчальних закладах (ВНЗ) та вказано на необхідність удосконалення механізмів стимулювання енергозберігаючої діяльності. За результатами вивчення методичних документів та наукових публікацій у цій сфері в даній роботі запропоновано застосування механізму бенчмаркінгу енергоефективності для порівняння рівнів енергоефективності окремих ВНЗ з метою стимулювання реалізації енергозберігаючої діяльності.*

*Ключові слова: бенчмаркінг, вищий навчальний заклад, енергоефективність, енергозбереження, енергоспоживання.*

Чернявский А.В., Мидловец О.А.

### ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ БЕНЧМАРКИНГУ ДЛЯ СРАВНЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ВУЗОВ

*В работе указано на проблемы управления энергосбережением в высших учебных заведениях (ВУЗ) и указано на необходимость совершенствования механизмов стимулирования энергосберегающей деятельности. По результатам изучения методических документов и научных публикаций в этой сфере в данной работе предложено применение механизма бенчмаркинга энергоэффективности для сравнения уровней энергоэффективности отдельных вузов с целью стимулирования реализации энергосберегающей деятельности.*

*Ключевые слова: бенчмаркинг, высшее учебное заведение, энергоэффективность, энергосбережение, энергопотребление*

A. Cherniavskiy, O. Mydlovets

### BENCHMARKING TECHNOLOGY USAGE FOR ENERGY EFFICIENCY UNIVERSITIES COMPARISON

*It is pointed at problems of energy preservation management at institutes of higher education (IHE) and the necessity of improvement of energy preservation activity mechanism stimulation. On the base of studying methodical documents and scientific publications in this field to compare energy efficiency levels of some IHE with the aim of energy preservation activity realization stimulation it is proposed to apply the mechanism of benchmarking energy efficiency.*

*Keywords benchmarking, institute of higher education, energy efficiency, energy preservation, energy consumption.*

**Вступ.** Енергоефективність та енергозбереження є пріоритетними напрямками енергетичної політики більшості країн світу. Це обумовлено обмеженістю існуючих невідновлюваних паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР), відсутністю реальних альтернатив їх заміни, наявністю ризиків при їх виробництві і транспортуванні. В останній час ці чинники набувають все більшого значення у зв'язку із загальною нестабільністю у регіонах видобутку ПЕР, напругою на паливно-ресурсних ринках та несприятливими прогнозами щодо подальшого зростання цін на ПЕР. Розвинені країни світу, у першу чергу, країни ЄС, які вже

досягли значних успіхів у вирішенні проблем енергоефективності, продовжують пошук нових джерел енергозабезпечення та розробку заходів щодо енергозбереження, що є позитивним прикладом для України. З результатів розрахунків проведених на базі прогнозних даних проекту енергетичної стратегії України до 2030 року виходить, що в країні за рахунок енергозбереження до 2020 року можна досягти економії енергоносіїв у загальному обсязі порядку 470 млн. т у.п., що відповідає зменшенню витрат на їх імпорт близько 38 млрд. дол. [1]

Питання ефективного використання ПЕР в бюджетній сфері все частіше обговорюється та отримує більшої уваги як з боку керівництва держави, так і з боку керівників окремих бюджетних установ. Особливо гостро воно постало з часів незалежності України та все більше загострюється протягом останніх років, через брак власних ПЕР та залежність від їх імпорту з закордону. Ситуація в державі неухильно позначається й на діяльності державних ВНЗ та призводить до збільшення частки видатків на покриття комунальних витрат у бюджеті університетів, що в свою чергу скорочує можливості розвитку матеріально-технічної бази. У зв'язку з цим першочерговими до реалізації є заходи, спрямовані на зменшення та визначення обґрунтованої необхідної частки видатків на покриття цих потреб, шляхом підвищення ефективності та посилення контролю за енерговикористанням, проведення навчання співробітників та студентів з питань ощадливого енерговикористання [2].

Шляхами вирішення питань, пов'язаних з нераціональним енерговикористанням в галузі освіти є розробка нових й удосконалення існуючих методів оцінювання рівня енергоефективності, проведення енергетичних обстежень будівель, побудова системи управління ефективністю енергоспоживаючих об'єктів, розробка та реалізація дієвої програми з підвищення енергоефективності [2].

**Мета та задачі дослідження.** Метою дослідження є розроблення дієвого інструменту стимулювання енергозбереження у ВНЗ України. Для досягнення мети в даній роботі поставлені та вирішені такі задачі дослідження:

1. Огляд стану енергоефективності ВНЗ України та виявлення основних проблем, що стоять на шляху формування енергоефективних ВНЗ.
2. Аналіз існуючих способів підвищення рівня енергоефективності ВНЗ України.
3. Розроблення механізму порівняння структурних підрозділів ВНЗ України за рівнем їх енергетичної ефективності.

**Матеріал і результати досліджень.** Згідно даних [3] система вищої освіти налічує 966 вищих навчальних закладів I-IV рівнів. При цьому слід звернути увагу на те, що більшість державних ВНЗ мають проблеми з енергозбереженням та енергоспоживанням своїх корпусів. Провівши систематизацію існуючих проблем можна зробити висновок, що у більшості ВНЗ вони однакові. Сюди можна віднести, наприклад:

- наявність застарілої системи опалення корпусів;
- високе енергоспоживання корпусів та гуртожитків на потреби опалення, вентиляції та гарячого водопостачання;
- використання в системі штучного освітлення будівель університету джерел світла з низьким рівнем енергоефективності;
- відсутність приладів обліку споживання ПЕР та води;
- відсутність достатнього фінансування для проведення робіт з комплексної модернізації енергоспоживаючого обладнання з метою зменшення енергоспоживання студмістечка;
- застосування електрокотлів, виготовлених за допомогою ручного складання з матеріалів, наявних на момент виготовлення;
- використання електричних опалювальних приладів;

- приготування гарячої води в їдальнях часто здійснюється місцево в електричних водонагрівачах;
- будівлі підключені до застарілих трансформаторів, виготовлених в 1950-60-ті роки;
- застосування фізично і морально застарілих електроприймачів;
- у великій кількості зустрічаються вугільні котельні малої потужності з фізично застарілим обладнанням та відсутністю хімводопідготовки;
- втрати теплоти в котельнях багаторазово перевищують допустимі норми;
- нещільності у віконних прошарках і в конструкціях вхідних дверей;
- порушення циркуляції теплоносія.

Проте деякі ВНЗ вже розпочали свою діяльність у сфері підвищення енергоефективності та впровадили ряд заходів. Сюди можна віднести [2]:

- проведення енергетичного аудиту будівель;
- розробка енергетичних паспортів будівель з затвердженням енергетичних показників (існуючі та бажані рівні споживання);
- створення автоматизованої системи обліку та моніторингу споживання електричної та теплової енергії, а також холодної води;
- скорочення втрат енергоносіїв в інженерних мережах;
- підвищення теплозахисту огорожувальних конструкцій будівель;
- створення системи мотивації ощадливого енерговикористання структурних підрозділів;
- популяризація та розвиток ефективного енерговикористання серед студентів та співробітників.

Однак головними проблемами залишаються нестача коштів та неефективність проведених заходів. Слід також звернути увагу на те, що в більшості університетів відсутній підрозділ, який займається аналізом ефективності витрат енергетичних ресурсів та розробкою пропозицій щодо заходів з енергозбереження, а також відсутність дієвої системи стимулювання енергозберігаючої діяльності [2].

Для створення системи стимулювання енергозберігаючої діяльності перш за все необхідно розробити методичку оцінки ефективності виконуваних робіт у сфері енергозбереження на рівні конкретних корпусів. Для цього в даній роботі пропонується проводити порівняння ефективності виконуваних робіт у сфері енергозбереження на рівні конкретних корпусів пропонується із застосуванням принципів бенчмаркінгу.

Бенчмаркінг (англ. Benchmarking) - це процес визначення, адаптації наявних прикладів ефективного функціонування компанії, це процес пошуку шляхів для досягнення підвищення ефективності виробництва продукції шляхом систематичного аналізу процесів та методів роботи на різних підприємствах[4,5]. Бенчмаркінг є ефективним інструментом, що надає можливість підприємству постійно нарощувати продуктивність, покращувати якість своєї роботи, бути енергоефективним. Він передбачає безперервний аналіз та оцінку існуючих способів виробництва шляхом порівняння з найкращими внутрішніми та зовнішніми зразками з наступним впровадженням найбільш ефективних підходів. Його мета полягає в тому, щоб за допомогою дослідження визначити необхідність у змінах, та досягти успіхів завдяки ним. Бенчмаркінг застосовується в різних сферах. Його використовують банки для покращення своєї роботи [6], досить вдале застосування він має в сільському господарстві [7], його можна використовувати для покращення будь-чого.

Бенчмаркінг енергоефективності - це один із інструментів підтримки та безперервного покращення діяльності в сфері енергозбереження (ISO 50001:2011) [3].

Згідно рекомендацій [9], [10] бенчмаркінгу енергоефективності проводиться для:

- підвищення рівня інформованості об'єктів в одному класі для стимулювання впровадження енергозберігаючих заходів;
- визначення цілей у підвищенні рівня енергоефективності;
- визначення та спостереження за динамікою рівня енергетичної ефективності об'єктів.

Згідно методології бенчмаркінгу енергоефективності, що запропонована в [8], для порівняння енергоефективності об'єктів застосовується такий показник, як коефіцієнт енергетичної ефективності (КЕЕ):

$$КЕЕ_i = \frac{W_{факт.i}}{W_{факт}^{id}}$$

де  $W_{факт.i}$  – фактичне загальне споживання ПЕР об'єктом;

$W_{факт}^{id}$  – фактичне загальне споживання ПЕР подібного об'єкту з найнижчими показниками питомого споживання ПЕР, який обрано за «ідеал».

На практиці у більшості випадків оперують значеннями не загального, а питомого споживання ПЕР, приведеного до деякої бази. Так для ВНЗ можуть застосовуватися такі показники, як: питома енергоспоживання приведені до кількості людей, що знаходяться в корпусі; питома енергоспоживання на 1 м<sup>2</sup> опалювальної або корисної площі; питома енергоспоживання на 1 м<sup>3</sup> опалювального об'єму корпусу.

Покажемо можливість застосування цієї методології для оцінки енергоефективності ВНЗ на прикладі порівняння енергоефективності окремих корпусів Національного технічного університету України «Київського політехнічного інституту» (НТУУ «КПІ»). Результати представлені в таблицях 1 та 2, а також на рисунках 1 - 4.

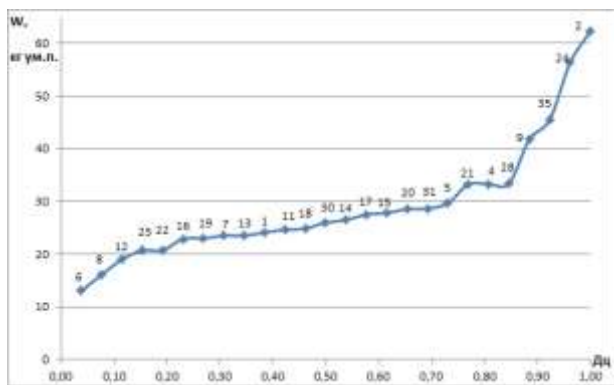


Рис. 1. Питома енергоспоживання на 1 особу, що перебуває в корпусі.

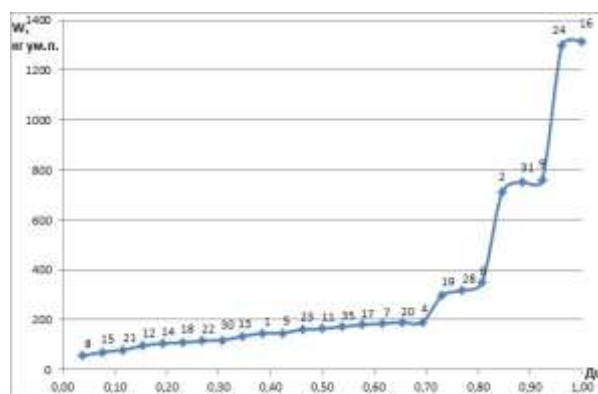


Рис. 2 Питома енергоспоживання на 1 м<sup>2</sup> опалювальної площі.

Таблиця 1

№	Назва об'єкту*	Спожито енергії	Кількість	Опалю-	Корисна	Опалю-
---	----------------	-----------------	-----------	--------	---------	--------

п/п		Теплової, Гкал	Електричної, кВт·год	людей у будівлі	вана площа будинку, м <sup>2</sup>	площа будинку, м <sup>2</sup>	ваний об'єм будинку , м <sup>3</sup>
1	Корпус 1	2671,2	822 748	3303	28178,25	20029,25	183061
2	Корпус 2	785,2	245 000	200	4493,5	2281,3	24500
3	Корпус 4	1921,2	322 503	1645	13177,2	9428,1	76783
4	Корпус 5	1382,9	295 518	1590	14108,96	7882,2	60050
5	Корпус 6+музей	444,5	147 434	232	6980,2	6257,36	29427
6	Корпус 7 (разом с ЦКМ)	3344,1	544 172	2946	41579,66	23166,96	242805
7	Корпус 8	236,6	76 077	762	3871	2680,9	15558
8	Корпус 9	1524,8	189 202	318	12011,46	5773,3	50851
9	Корпус 11	308,9	130 036	366	3228	2442,1	17960
10	Корпус 12	951,9	292 864	1787	13539,68	9052,98	63912
11	Корпус 13	196,5	85 792	288	3008	1642,2	12271
12	Корпус 14	255,4	112 651	475	2808,6	1899,2	11215
13	Корпус 15	261,0	91 677	686	3024	1745	12306
14	Корпус 16	268,4	62 821	35	2957	2013,43	11844
15	Корпус 17	1232,7	194 880	1109	11281,8	7273,8	11276
16	Корпус 18	1751,6	409 779	2763	21490,4	12078,5	101700
17	Корпус 19	1573,1	593 421	1000	21826,79	12946,02	101724
18	Корпус 20	1621,7	193 717	1340	16916,4	8954,8	77240
19	Корпус 21	659,3	260 184	1588	6754,3	3798,6	28000
20	Корпус 22	1111,5	322 613	1710	16029,31	9564,14	74300
21	Корпус 23	605,3	61 620	585	6399,7	4547,97	33675
22	Корпус 24	3819,2	728 236	489	19968,26	11286,66	160000
23	Корпус 28	980,5	98 000	478	6941,8	4552,5	36634
24	Корпус №30	391,5	69 110	540	3763,2	2482,8	23195
25	Корпус 31(Ст. Мет.)	660,8	243 120	165	5655,43	4337,23	26582
26	Корпус 35	224,5	49 000	221	1229,7	836,7	5672

\* через відсутність даних на момент проведення експерименту в порівнянні приймали участь не всі корпуси.

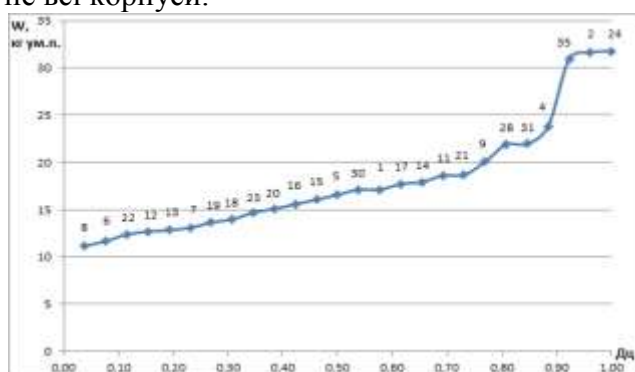


Рис. 3 Питоме енергоспоживання на 1 м<sup>2</sup> корисної площі

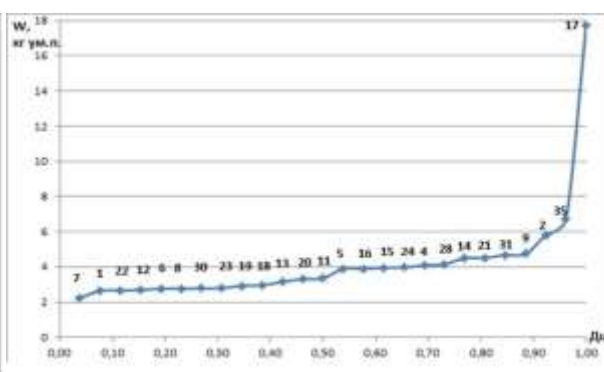


Рис. 4 Питоме енергоспоживання на 1 м<sup>3</sup> опалювального об'єму.

Таблиця 2

№ п/п	Назва об'єкту	Сумарна енергоспоживання, кг ум.п.	Питоме енергоспоживання			
			на 1 особу, що перебуває в корпусі, кг ум.п./1ос.	на 1 м <sup>2</sup> опалюваної площі, кг ум.п./1м <sup>2</sup> оп. пл.	на 1 м <sup>2</sup> корисної площі, кг ум.п./1 м <sup>2</sup> к. пл...	на 1 м <sup>3</sup> опалюваного об'єму, кг ум.п./ 1 м <sup>3</sup> оп.об.
1	Корпус 1	482699,5	146,1397	17,13	24,1	2,64
2	Корпус 2	142277,1	711,3855	31,66	62,367	5,81
3	Корпус 4	314086,4	190,934	23,84	33,314	4,09
4	Корпус 5	233870,5	147,0884	16,58	29,671	3,89
5	Корпус 6+музей	81616,74	351,7963	11,69	13,043	2,77
6	Корпус 7(разом с ЦКМ)	544596,6	184,8597	13,1	23,507	2,24
7	Корпус 8	43148,37	56,6252	11,15	16,095	2,77
8	Корпус 9	241077,8	758,1062	20,07	41,757	4,74
9	Корпус 11	60107,44	164,228	18,62	24,613	3,35
10	Корпус 12	171972,9	96,2356	12,7	18,996	2,69
11	Корпус 13	38613,58	134,0749	12,84	23,513	3,15
12	Корпус 14	50328,3	105,9543	17,92	26,5	4,49
13	Корпус 15	48551,01	70,7741	16,06	27,823	3,95
14	Корпус 16	46062,32	1316,066	15,58	22,878	3,89
15	Корпус 17	200046,9	180,385	17,73	27,502	17,74
16	Корпус 18	300582,3	108,7884	13,99	24,886	2,96
17	Корпус 19	297648,3	297,6483	13,64	22,991	2,93
18	Корпус 20	255475,4	190,6533	15,1	28,529	3,31
19	Корпус 21	126157,2	79,4441	18,68	33,212	4,51
20	Корпус 22	198428,5	116,0401	12,38	20,747	2,67
21	Корпус 23	94043,31	160,7578	14,69	20,678	2,79
22	Корпус 24	635085,9	1298,744	31,8	56,269	3,97
23	Корпус 28	152113,7	318,2295	21,91	33,413	4,15
24	Корпус №30	64420,83	119,2978	17,12	25,947	2,78
25	Корпус 31(Ст. Мет.)	124274,7	753,1798	21,97	28,653	4,68
26	Корпус 35	38092,56	172,3645	30,98	45,527	6,72

Після проведення бенчмаркінгу енергоефективності з графіків залежності питомого енергоспоживання (W) від частки сукупного об'єму виробництва енергії можна помітити закономірність, що показники загального питомого енергоспоживання на 1 особу, що перебуває в корпусі, на 1 м<sup>2</sup> опалювальної площі, на 1 м<sup>2</sup> корисної площі та на 1 м<sup>3</sup> опалювального об'єму корпусів 8, 12, 19, 22 є найкращими, а 20, 24, 28, 29, 35 – найгіршими. В середині рейтингу знаходяться корпуси 30, 17 20, 31.

### Висновки.

1. На даний момент в світі існує обмеженість невідновлюваних ПЕР, відсутність реальних альтернатив їх заміни, наявність ризиків при їх виробництві і транспортуванні, тому кожна країна ставить пріоритетним напрямом енергоефективність та енергозбереження.

2. Одним із кроків в напрямку енергозбереження та енергоефективності є покращення енергоспоживання та енергопостачання ВНЗ, так як їхня кількість в нашій країні досить значна, а проблеми досить глобальні і різносторонні. Для прикладу було розглянуто НТУУ «КПІ» – один з найбільших університетів нашої країни, а саме навчальні корпуси і застосували один із інструментів підтримки та безперервного покращення діяльності в сфері енергозбереження – бенчмаркінг.

3. Отримані результати показали закономірність, що показники загального питомого енергоспоживання на 1 особу, що перебуває в корпусі, на 1 м<sup>2</sup> опалювальної площі, на 1 м<sup>2</sup> корисної площі та на 1 м<sup>3</sup> опалювального об'єму корпусів 8, 12, 19, 22 є найкращими, а 20, 24, 28, 29, 35 – найгіршими. В середині рейтингу знаходяться корпуси 30, 17 20, 31.

### Посилання на літературу:

[1] Енергозбереження - пріоритетний напрям енергетичної політики та підвищення енергетичної безпеки України / Бараннік В.О., Земляний М.Г. // Міжнародна науково-практична конференція «Енергоефективність – 2004», м. Одеса, 13-16 жовтня 2004 р.

[2] Програма з енергоефективності НТУУ «КПІ» на 2012-2015 роки. / Шевченко О.М., Петушкова К. О., Довбуш О.В., - Рада з енергозбереження НТУУ «КПІ».

[3] Статистичний збірник «Україна у цифрах». К.: 2011. – 210 с.

[4] Benchmarking for Competitive Advantage. Robert J Boxxwell Jr, New York: McGraw-Hill. 1994. pp.225. ISBN 0-07-006899-2.

[5] Camp, R. (1989). The search for industry best practices that lead 2 superior performance. Productivity Press prEN16231:2011 Energy Efficiency Benchmarking Methodology, Brussels: CEN, 2011, p5 (Definition 3.2).

[6] Хасанова Л. Т. Формування конкурентоспроможності банківських послуг з використанням технології бенчмаркінгу, 2011.

[7] Шпота Б. М. Генрі Форд. Життя і бізнес., - М.: ТОВ «КДУ», 2005, ISBN 5-98227-016-4

[8] prEN16231:2011 Energy Efficiency Benchmarking Methodology, Brussels: CEN, 2011, p5 (Definition 3.2).

[9] Working Paper «Energy Star» Benchmarking\_to\_Save\_Energy.

[10] Working Paper Global Industrial Energy Efficiency Benchmarking. An Energy Policy Tool November 2010.



УДК 621.311:65.012.122

**О.П. Панасюк, О. І. Соловей**  
**ОЦІНКА АДЕКВАТНОСТІ, ТОЧНОСТІ ТА ПОРІВНЯННЯ МЕТОДІВ ПОДВІЙНОГО**  
**ЦЕНТРОВАНОГО КОВЗНОГО СЕРЕДНЬОГО І НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ В**  
**ПРОГНОЗУВАННІ РЕЖИМУ СПОЖИВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ НТУУ**  
**«КПІ» НА 2013 Р.**

*У статті проведена кількісна оцінка критеріїв адекватності та точності прогнозів режиму електроспоживання НТУУ «КПІ» на 2013 р., побудованих з використанням методів подвійного центрованого ковзного середнього та нейронних мереж і здійснене їх порівняння на основі отриманих статистичних показників.*

*Ключові слова: прогнозування, модель, нейронні мережі, оптимальний прогноз, точність.*

**Е.П. Панасюк, А. И. Соловей**  
**ОЦЕНКА АДЕКВАТНОСТИ, ТОЧНОСТИ И СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ**  
**ДВОЙНОГО ЦЕНТРИРОВАННОГО СКОЛЬЗЯЩЕГО СРЕДНЕГО И НЕЙРОННЫХ**  
**СЕТЕЙ В ПРОГНОЗИРОВАНИИ РЕЖИМА ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ**  
**ЭНЕРГИИ НТУУ «КПИ» НА 2013 Г.**

*В статье проведена количественная оценка критериев адекватности и точности прогнозов режима электропотребления НТУУ «КПИ» на 2013 г., построенных с использованием методов двойного центрированного скользящего среднего и нейронных сетей и осуществлено их сравнение на основе полученных статистических показателей.*

*Ключевые слова: прогнозирование, модель, нейронные сети, оптимальный прогноз, точность.*

**Е.Р. Panasyuk, A.Y. Solovey**  
**ASSESSMENT OF ADEQUACY, ACCURACY AND COMPARISON OF DOUBLE**  
**CENTERED MOVING AVERAGE AND NEURAL NETWORKS METHODS IN**  
**PREDICTING MODE OF ELECTRICITY CONSUMPTION OF NTUU "KPI" FOR 2013**

*This article presents the quantitative assessment criteria for the adequacy and accuracy of forecasts mode power consumption of NTU "KPI" in 2013, built using the double-centered moving average, and neural networks methods, and their comparison based on the obtained statistical indicators.*

*Keywords: forecasting, model, neural network, the best prognosis, accuracy.*

**Мета і завдання дослідження.** Метою дослідження є проведення аналізу методів прогнозування режимів споживання електричної енергії, їх кількісна оцінка, порівняння отриманих результатів, вибір на основі отриманих показників кращої моделі та розробка рекомендацій щодо доцільності застосування її для планування режиму споживання електроенергії НТУУ «КПІ» на короткостроковий період.

Для досягнення поставленої мети в роботі вирішуються наступні завдання:

- Оцінка адекватності методів подвійного центрованого ковзного середнього та нейронних мереж шляхом перевірки відповідності розподілу випадкових компонент нормальному закону розподілу та рівності математичного сподівання випадкових компонент нулю.

- Розрахунок кількісних критеріїв точності прогнозних моделей та прогнозів режиму споживання НТУУ «КПІ» на 2013 р. за допомогою параметричних методів аналізу точності прогнозів.

- Порівняння якості прогнозів на основі отриманих статистичних показників, вибір за їх результатами кращої моделі для прогнозування та перспективного планування електроспоживання.

**Вступ.** Прогнозування режимів електроспоживання дозволяє виявляти і аналізувати закономірності, що склалися, і тенденції споживання електричної енергії; оцінювати дії цих тенденцій у майбутньому й вести облік їх позитивних та негативних наслідків; передбачати нові ситуації, нові проблеми, що потребують свого вирішення; виявляти можливі альтернативи розвитку в перспективі; накопичувати інформацію для всебічно обґрунтованого вибору напрямку в розробці оптимальних планових рішень.

Моделі, що застосовуються в прогнозуванні, повинні: задовольняти вимогам повноти, адаптивності; мати змінні; задовольняти умовам, які обмежують час вирішення завдання; орієнтуватися на реалізацію за допомогою існуючих технічних засобів; забезпечувати отримання корисної інформації про об'єкт в плані поставленого завдання.

### **Постановка проблеми**

Проблема енергозбереження безпосередньо пов'язана з ефективним використанням енергоресурсів. Ефективне управління енергоресурсами неможливо здійснювати без використання максимально більш точного прогнозування споживання електроенергії. Проблема прогнозу споживання електроенергії залежить являє собою складну багатопараметричну задачу. Оперативне і короткострокове прогнозування споживання електричної енергії є невід'ємною частиною планування і управління електроспоживанням. Помилки прогнозування завжди приводять до певних фінансових втрат, тому всі суб'єкти, в тому числі і НТУУ «КПІ», зацікавлені у постійному підвищенні точності прогнозування.

Незалежно від того, яка модель прогнозування розглядається, проблема отримання оптимальних прогнозів режиму електроспоживання залишається актуальною.

Підвищення точності та якості прогнозів вимагає пошуку та застосування ефективніших методів прогнозування, тому аналіз, зіставлення і вибір кращих прогнозних моделей – одна з них.

### **1 Поняття оптимального прогнозу. Критерії визначення якісного прогнозу**

*Оптимальний прогноз* — це зроблене на підставі теорії передбачення, яке використовує всю доступну на момент побудови прогнозу інформацію.

Варто користуватися системою критеріїв якості прогнозу, які мають враховувати:

- кількість зусиль, витрачених на побудову моделі, і наявність готових комп'ютерних програм;
- швидкість, із якою метод уловлює істотні зміни у поведінці часового ряду;
- існування серійної кореляції у помилках;
- незмінюваність первинних даних;
- повний обсяг роботи — часові ряди щомісяця потребують оновлення, невеликі витрати й швидкість мають першорядне значення;
- терміновість прогнозування.

Якість прогнозу характеризують такі поняття, як точність і надійність. Але ці терміни часто тлумачать досить неоднозначно, тому що поки не знайдено ефективного підходу до оцінювання якості прогнозу, окрім його практичного підтвердження.

Про точність прогнозу судять за розміром помилки прогнозу — різниці між прогнозним і фактичним значенням досліджуваного показника. Але такий підхід можливий

лише тоді, якщо дослідник має інформацію стосовно справжніх значень часового ряду, який він оцінював під час розроблення прогнозів. Спрощену схему періодів прогнозування показано на рис. 1.



Рисунок 1 – Спрощена схема періодів прогнозування

В дослідженні йдеться про використання *expost*-прогнозу. Його сутність полягає у побудові моделі за меншим обсягом даних ( $n - m$ ) із подальшим порівнянням прогнозних оцінок за останніми  $m$  точками (для  $t = n - m + 1, n$ ) із відомими фактичними, але спеціально залишеними рівнями ряду.

### Оцінювання адекватності прогнозованих моделей

Незалежно від виду і способу побудови математичної моделі питання про можливість її застосування з метою аналізу і прогнозу споживання електроенергії може бути вирішено тільки після встановлення адекватності моделі. При моделюванні мається на увазі адекватність не взагалі, а тим властивостям моделі, які вважаються суттєвими для дослідження.

Модель прогнозування  $\hat{y}_t$  певного часового ряду  $y_t$  вважається адекватною, якщо правильно відображає систематичні компоненти часового ряду. Ця вимога еквівалентна вимозі, щоб залишкова компонента:

$$e_t = y_t - \hat{y}_t, \quad (1)$$

де  $t = 1, 2, \dots, n$ , відповідає таким властивостям випадкової компоненти часового ряду як:

- відповідність розподілу випадкової компоненти нормальному закону;
- рівність математичного сподівання випадкової компоненти нулю;
- незалежність значень рівнів випадкової компоненти.

Розглянемо, яким чином здійснюється перевірка цих властивостей залишкової послідовності.

Перевірка відповідності розподілу випадкової компоненти нормальному закону розподілу може бути зроблена лише наближено за допомогою дослідження показників асиметрії ( $A$ ) і ексцесу ( $E$ ), які при нормальному розподілі дорівнюють нулю. Припустимо, що відхилення від тренду являють собою вибірку з генеральної сукупності, тому можна визначити тільки вибіркові характеристики асиметрії (2) й ексцесу (4) та їхні помилки (3) та (5) відповідно:

$$A = \frac{\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n e_t^3}{\sqrt{\left(\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n e_t^2\right)^3}}; \quad (2)$$

$$\sigma_{|A|} = \sqrt{\frac{6(n-2)}{(n+1)(n+3)}}; \quad (3)$$

$$E = \frac{\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n e_t^4}{\left(\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n e_t^2\right)^2} - 3; \quad (4)$$

$$\sigma_E = \sqrt{\frac{24n(n-2)(n-3)}{(n+1)^2(n+3)(n+5)}}; \quad (5)$$

де  $A$  – вибіркова характеристика асиметрії;  $E$  – вибіркова характеристика ексцесу;  $\sigma_A$  і  $\sigma_E$  – відповідні середньоквадратичні помилки.

Якщо одночасно виконуються такі нерівності:

$$|A| < 1,5\sigma_A; \quad (6)$$

$$\left|E + \frac{6}{n+1}\right| < 1,5\sigma_E, \quad (7)$$

то гіпотеза про нормальний характер розподілу випадкової компоненти приймається.

Якщо виконується хоча б одна з цих нерівностей:

$$|A| \geq 2\sigma_A; \quad (8)$$

$$\left|E + \frac{6}{n+1}\right| \geq 2\sigma_E, \quad (9)$$

то гіпотеза про нормальний характер розподілу відхиляється, трендова модель визнається неадекватною. Інші випадки потребують додаткової перевірки за допомогою складніших критеріїв. Для адекватних моделей доцільно ставити запитання щодо оцінювання їхньої точності. Вважається, що моделі з меншою розбіжністю між фактичними й розрахунковими значеннями краще відображають досліджуваний процес у майбутньому. Для характеристики рівня близькості використовують такі описові статистики:

- середнє квадратичне відхилення (або дисперсія):

$$\hat{\sigma}_E = \sqrt{\frac{1}{n-k-1} \sum_{t=1}^n (y_t - \hat{y}_t)^2}; \quad (10)$$

- середню відносну похибку апроксимації (чим ближче до 0, тим точніша модель):

$$\bar{e}_{\text{відн.}} = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \left| \frac{y_t - \hat{y}_t}{y_t} \right| \cdot 100\%; \quad (11)$$

- коефіцієнт сходження:

$$\varphi^2 = \frac{\sum_{t=1}^n (y_t - \hat{y}_t)^2}{\sum_{t=1}^n (y_t - \bar{y}_t)^2}, \quad (12)$$

- коефіцієнт детермінації (чим ближче до 1, тим точніша модель):

$$R^2 = 1 - \varphi^2. \quad (13)$$

У формулах (10) – (13)  $n$  - кількість рівнів ряду,  $k$  - кількість пояснювальних змінних у моделі,  $\hat{y}_t$  - оцінки рівнів ряду за моделлю,  $\bar{y}_t$  — середнє арифметичне значення вибірки.

Оскільки формально-статистичний вибір кращої моделі в багатьох випадках не гарантує цілковитої впевненості в його правильності, адже добрий прогноз можна отримати і на підставі поганої моделі, і навпаки, тому про якість застосовуваних методик і моделей у прогнозуванні можна судити лише за сукупністю зіставлень прогнозів і їх реалізації. При цьому незалежно від обраної методики та моделі прогнозування джерелами помилок прогнозу можуть бути:

- 1) природа змінних (випадковий характер змінних спричиняє відхилення прогнозу від справжніх величин);
- 2) природа моделі (сам процес оцінювання спричиняє похибки оцінок параметрів);
- 3) помилки, привнесені прогнозом незалежних випадкових величин;
- 4) помилки специфікації моделі.

Перевірка рівності математичного сподівання випадкової компоненти нулю, якщо вона розподілена за нормальним законом, виконується на основі  $t$ -критерію Стьюдента. Розрахункове значення цього критерію задається формулою

$$t = \frac{\bar{e} - 0}{\sigma_e} \sqrt{n}, \quad (14)$$

де  $\bar{e}$  – середнє арифметичне значення рівнів залишкової послідовності  $e_t$  за (1);

$\sigma_e$  – стандартне (середньоквадратичне) відхилення для цієї послідовності.

Якщо розрахункове значення  $t$  менше табличного значення  $t_\alpha$  статистики Стьюдента із заданим рівнем значущості  $\alpha$  і числом ступенів свободи  $n - 1$  [6]:

$$t < t_\alpha, \quad (15)$$

то гіпотеза про рівність нулю математичного сподівання випадкової послідовності приймається, в протилежному випадку ця гіпотеза відхиляється і модель вважається неадекватною.

Висновок про адекватність трендової моделі робиться, якщо всі розглянуті вище перевірки властивостей залишкової послідовності дають позитивний результат.

### 3 Оцінка точності прогнозних моделей та прогнозів

Параметричні методи аналізу точності прогнозів розглядають показники точності, на підставі яких можна з кількох адекватних моделей обрати найточнішу. За результатами прогнозів розраховують такі показники точності прогнозів за  $m$  кроків:

Середня квадратична похибка:

$$MSE = \frac{\sum_{i=n-m+1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{m}. \quad (14)$$

Корінь із середньоквадратичної похибки:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=n-m+1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{m}}. \quad (15)$$

Середня абсолютна похибка:

$$MAE = \frac{\sum_{i=n-m+1}^n |y_i - \hat{y}_i|}{m} \quad (16)$$

Корінь із середньоквадратичної похибки, %:

$$RMSPE = \sqrt{\frac{100}{m} \sum_{i=n-m+1}^n \left( \frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i} \right)^2} \quad (17)$$

Середня абсолютна похибка, %:

$$MAPE = \sum_{i=n-m+1}^n \frac{100 |y_i - \hat{y}_i|}{m |y_i|} \quad (18)$$

Чим менше значення цих величин, тим вища якість ретропрогнозу. Даний підхід дає гарні результати, якщо на періоді ретропрогнозу не виникають принципово нові закономірності. На підставі останніх двох критеріїв можна дійти висновку стосовно загального рівня точності моделі шляхом їх порівняння. Цей рівень наведений у таблиці 1 [1].

Таблиця 1 – Точність прогнозу в залежності від MAPE, RMSPE

MAPE, RMSPE	Точність прогнозу
Менше 10%	Висока
10% - 20%	Добра
20% - 40%	Задовільна
40% - 50%	Погана
Більше 50%	Незадовільна

Недоліком обговорених вище характеристик точності прогнозів є їх залежність від обраних одиниць виміру. Було б корисним указати безрозмірний показник, аналогічний до коефіцієнта кореляції. Одним з таких показників є коефіцієнт невідповідності Тейла, чисельником якого є середньоквадратична похибка прогнозу, а знаменник дорівнює квадратному кореню із середнього квадрата фактичних та оцінних значень:

$$U = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^m (y_i - \hat{y}_i)^2 / m}}{\sqrt{\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m y_i^2 + \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \hat{y}_i^2}} \quad (19)$$

Перевага коефіцієнта Тейла полягає в тому, що його значення завжди перебувають у межах від 0 до 1. Якщо всі прогнози абсолютно точні, то  $U = 0$ .

Обговорені характеристики точності прогнозів є параметричними в тому сенсі, що вони потребують виконання заданих припущень щодо властивостей математичного сподівання та дисперсії, чинних за умов нормальності відповідних розподілів.

### Оцінка точності та порівняння прогнозів, побудованих методами подвійного центрованого ковзного середнього (ПЦКС) та нейронних мереж (НМ)

Наведемо дані про споживання електроенергії НТУУ «КПІ» за 2012 р. та результати прогнозів обох методів на 2013 р. в таблиці 2.

Таблиця 2 – Фактичні величини споживання електроенергії за 2012 р. та прогнози на 2013 р.

Фактичне споживання	Місяць, рік	W, кВт·год (фактичне)	Прогноз	Місяць, рік	W, кВт·год	
					Метод ПЦКС	Метод НМ (MPL)
	Січень 2012	1895104		Січень 2013	2148489	1895104
	Лютий 2012	2718320		Лютий 2013	2329141	2128888
	Березень 2012	1821879		Березень 2013	1877439	1931496
	Квітень 2012	1962216		Квітень 2013	1873061	1713151
	Травень 2012	1458082		Травень 2013	1500807	1451708
	Червень 2012	1214524		Червень 2013	1489812	1727618
	Липень 2012	918287		Липень 2013	1349480	1491951
	Серпень 2012	918407		Серпень 2013	1025071	1356392
	Вересень 2012	1234116		Вересень 2013	1227767	1306272
	Жовтень 2012	1662345		Жовтень 2013	1664975	1305943
	Листопад 2012	2065383		Листопад 2013	2074325	1611065
	Грудень 2012	2187262		Грудень 2013	1916599	1866084

Розрахуємо характеристики адекватності за (2) - (5), (10) - (14) для прогнозів обох методів і покажемо їх в таблиці 3.

Таблиця 3 – Характеристики адекватності побудованих моделей

№п	Назва характеристики		Метод ПЦКС	Метод НМ
1	Вибіркова характеристика асиметрії	$A$	0,8298	0,6106
2	Помилка вибіркової характеристики асиметрії	$\sigma_{ A }$	0,55470	0,5547
3	Вибіркова характеристика ексцесу	$E$	0,1414	-1,3061
4	Помилка вибіркової характеристики ексцесу	$\sigma_{ E }$	0,7755	0,7755
5	Середнє квадратичне відхилення	$\hat{\sigma}_E$	330140,4643	270336,7063
6	Середня відносна похибка апроксимації	$e_{відн.}$	15,8786	14,1212
7	Коефіцієнт сходження	$\varphi^2$	0,000297	0,000186
8	Коефіцієнт детермінації	$R^2$	0,9997	0,9998
9	$t$ - критерій Стьюдента	$t$	1,0463	0,5395

Перевірка відповідності розподілів випадкових компонент нормальному закону розподілу за нерівностями (6), (7):

– за (6) для методу подвійного центрованого ковзного середнього:

$$|0,8298| < 1,5 \cdot 0,5547 \Leftrightarrow 0,8298 < 0,8325 ;$$

– за (6) для методу нейронних мереж:

$$|0,6106| < 1,5 \cdot 0,5547 \Leftrightarrow 0,6106 < 0,8325 .$$

– за (7) для методу подвійного ковзного середнього:

$$\left| 0,1414 + \frac{6}{12+1} \right| < 1,5 \cdot 0,7755 \Leftrightarrow 0,6030 < 1,1633 ;$$

– за (7) для методу нейронних мереж:

$$\left| -1,3061 + \frac{6}{12+1} \right| < 1,5 \cdot 0,7755 \Leftrightarrow 0,8446 < 1,1633 .$$

Перевірка рівності математичного сподівання випадкової компоненти нулю за критерієм Стюдента.

За [5] при  $\alpha = 0,05$  і числом ступенів свободи  $n - 1$  знаходимо:

$t_{\alpha} = 2,20$ . Нерівність (15):

– для методу подвійного ковзного середнього:

$$1,0463 < 2,20 ;$$

– для методу нейронних мереж:

$$0,5395 < 2,20 .$$

Отже, моделі можна вважати адекватними.

Тоді розрахуємо характеристики визначення точності для даних прогнозів за формулами (14)-(19). В якості ряду фактичних значень споживаної електроенергії  $y_i$  приймемо значення  $W$ , кВт·год за 2012 р.; в якості ряду прогнозованих значень  $\hat{y}_i$  відповідно результати прогнозу обох моделей на 2013 р., а потім порівняємо отримані показники.

Результати розрахунків занесемо в таблицю 4.

Таблиця 4 – Параметри оцінки точності побудованих прогнозів

№ п	Назва характеристики		Метод ПЦКС	Метод НМ
1	Середня квадратична похибка	<i>MSE</i>	109853462680	68764948533
2	Корінь із середньоквадратичної похибки	<i>RMSE</i>	331441,4921	262230,7162
3	Середня абсолютна похибка	<i>MAE</i>	265996,7512	231857,9179
4	Корінь із середньоквадратичної похибки, %	<i>RMSPE</i>	1,0830	0,6072
5	Середня абсолютна похибка, %	<i>MAPE</i>	15,8786	14,1212
6	Коефіцієнт невідповідності Тейла	<i>U</i>	0,0961	0,07434

На підставі розрахованих критеріїв, а саме кореня *RMSPE*, (%) та *MAPE*, (%) робимо висновок згідно таблиці 1 стосовно загального рівня точності моделей шляхом їх порівняння (чим менше значення критеріїв, тим краще).

#### Висновки.

1. Оскільки нерівності (6) і (7) виконуються одночасно, то вважатимемо, що гіпотеза про нормальний закон розподілу приймається. Так як виконується і (15), то гіпотеза про рівність нулю математичного сподівання випадкової послідовності також приймається, на основі чого можна стверджувати, що обидві моделі є адекватними.



2. Значення  $RMSPE$  для обох методів дуже мале, а саме 1,0830 для методу ПЦКС та 0,6072 для нейронних мереж, на основі чого можна стверджувати, що точність прогнозів висока.

Значення  $MARE$  становить 15,8786% та 14,1212% для обох методів відповідно, що свідчить про добру точність.

3. Значення отриманих коефіцієнтів Тейла, які дорівнюють 0,0961 та 0,07434 відповідно, свідчать, що обидва прогнози мають високу точність (прогнози абсолютно точні, якщо  $U = 0$ ).

Слід також відзначити, що метод нейронних мереж має дещо кращі показники, ніж метод подвійного центрованого ковзного середнього в задачах короткострокового прогнозування, тому його доцільно застосовувати при плануванні режимів споживання електроенергії. Нейронні мережі особливо ефективні в випадках, коли вихідні дані сильно корельовані або неповні.

#### Література

1. Тейл Г. Экономические прогнозы и принятие решений. / Г. Тейл. - М.: Статистика, 1971. - 488 с.
2. Ковалева А.М. Финансы и статистика . Учеб. пособие / Под ред. проф. А. М. Ковалевой. - 4-е изд., перераб. и доп. - М.:, 2005. - 384 с.
3. Борисевич В.И. Прогнозирование и планирование экономики: Учеб. пособие / В.И. Борисевич, Г.А. Кандаурова, Н.Н. Кандауров; Под общ. ред., Г.А. Кандауровой. – Мн.: Интерпрессервис, Экоперспектива, 2001.- 380 с.
4. Четыркин Е.М. Статистические методы прогнозирования. Изд. 2-е, перераб. и доп. - М.: Статистика, 1977. - 200 с.
5. Мхитарян В.С., Трошин Л.И. Статистическая оценка параметров и проверка гипотез. М., МЭСИ, 1977.
6. Бокс Дж., Дженкинс Г. Анализ временных рядов. Прогноз и управление. М.: Мир, 1974, вып. 1, 2 406 с.
7. Статистическое моделирование и прогнозирование. Учебное пособие./Под ред. А. Г. Гранберга. М.: Финансы и статистика, 1990. - 383 с.

УДК

**О.М. Єременко, А.В. Чернявський**

**ЩОДО ПИТАННЯ ЗАСТОСУВАННЯ САПР ПІД ЧАС ПРОЕКТУВАННЯ  
ОСВІТЛЕННЯ ПРОМИСЛОВИХ ОБ'ЄКТІВ**

*В наш час гострим питанням постає ефективність і економічність промислового освітлення. Під час проектування треба врахувати не тільки характеристики освітлювальних приладів, а і доцільність методу розрахунку. Розв'язати комплексну задачу допоможуть системи автоматизованого проектування (САПР).*

**КАСАТЕЛЬНО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ САПР ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ  
ОСВЕЩЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ**

*В настоящее время острым вопросом является эффективность и экономичность промышленного освещения. При проектировании следует учитывать не только характеристики осветительных приборов, а и целесообразность метода расчета. Решить комплексную задачу помогут системы автоматизированного проектирования (САПР).*

**FOR THE QUESTION OF CAD APPLICATION IN THE INDUSTRIAL LIGHTNING  
DESIGN PROJECTS**

*Nowadays effectiveness and efficiency of industrial lighting are the pressing issue. During the design it's necessary to use not only the characteristics of lighting, but also the feasibility of the method of calculation. Computer-aided design (CAD) helps to solve this complex problem.*

Головною метою освітлення є забезпечення нормальних зорових умов для життєдіяльності людини. Отже, під час проектування промислового освітлення в першу чергу слід враховувати мінімальну освітленість, циліндричну освітленість, коефіцієнт пульсації, показники засліпленості і дискомфорту. Для досягнення більш ефективного результату у розрахунках і проектуванні освітлення, як зовнішнього так і внутрішнього, доцільно використовувати комп'ютерні програми. Вони надають змогу задавати не тільки достатні параметри, а і геометрію приміщень, тип поверхонь та ін. Важливе досягнення САПР для проектування освітлення – це можливість використовувати бібліотеки освітлювальних приладів передових розробників. Що в свою чергу забезпечить вибір вигідної пропозиції ціни-якості.

Під час проектування промислового освітлення одним із перших питань постає питання вибору підходящої САПР для моделювання освітлення. На ринку системи автоматизованого проектування є більше десятка комп'ютерних програм для моделювання освітлення, які відрізняються функціональними можливостями, точністю розрахунків, складністю інтерфейса і т.і. Для вибору найбільш придатної САПР для проектування освітлення промислових об'єктів був проведений аналіз сучасних комп'ютерних програм.

Ключові слова: освітленість, САПР, промислове освітлення, зовнішнє та внутрішнє освітлення, проектування.

**Ulysse**

Програма розроблена Дослідницьким центром компанії Шредер (Schreder) у Великобританії для світлотехнічних промислових проектних організацій. Ulysse розраховує освітлення автомобільних доріг, приміщень (цехів, складів, спортивних залів тощо), відкритих територій. Результатом розрахунків є: схема розміщення світильників на заданій площі, показники яскравості, освітленості, а також ізоляції.

**Переваги:** Програма має два режими розрахунку: табличний розширений розрахунок (Super Light) та візуальний спрощений розрахунок (Quick Light). Простий інтерфейс. Програма підтримує ОС: Windows 7, Vista, XP, 2000, 98.

**Недоліки:** Не розраховує внутрішнє освітлення. Використовує асортимент тільки одного виробника – Schreder. Немає тривимірного проектування [1].

#### **Beroes OS**

Програма розроблена Beroes Group для проектних організацій та студентів навчальних закладів, які займаються розрахунком штучного освітлення. Програма Beroes OS використовується для розрахунку штучного освітлення будівель і споруд двома методами: методом питомої потужності і методом коефіцієнта використання світлового потоку. Крім того, можлива перевірка результатів розрахунку точковим методом і методом розрахунку від випромінюючих ліній з подальшою корекцією кількості світильників і їх розміщення.

**Переваги:** Користувач може налаштовувати ряд параметрів програми: розрахункові параметри (коефіцієнти запасу, нерівномірності і втрат потужності в ПРА); графічні параметри (умовні позначення світильників, рівні освітленостей і т.д.); параметри розміщення світильників (відстань між рядами світильників, відстань від крайнього ряду світильників до паралельної ряду стіни, відстань між світильниками в ряду, відстань від крайнього в ряду світильника до перпендикулярного ряду стіни і т.д.) Програма підтримує ОС: Windows 7, Vista, XP, 2000, 98.

**Недоліки:** Не розраховує зовнішнє освітлення. Немає тривимірного проектування. Обмежений асортимент світильників в базі даних [1, 3].

#### **Europic 9**

Europic 9 розроблена Європейським підрозділом GE Lighting для світлотехнічних проектних організацій та дизайнерів освітлення. Програмний продукт дозволяє здійснювати світлотехнічні розрахунки підвищеної складності, для навколишніх середовищ будь-якого типу - внутрішніх, зовнішніх, а також вулиць і доріг. Проектування освітлення ведеться в тривимірному просторі. Проводить розрахунок освітленості і яскравості в будь-якій площині; розрахунок циліндричної та напівциліндричної освітленості; розрахунок показника засліпленості.

**Переваги:** Europic 9 має повну фотометричну базу даних світильників і прожекторів GE (General Electrics). Дає можливість тривимірного моделювання з використанням вбудованих бібліотек компонентів. Виводить результати у необхідній формі: криві ізолюкс, діаграми плями і тривимірні діаграми. Інтегроване в програму російське керівництво (Меню -> Help); вбудовані відео-уроки (Меню -> Help); генерація кольорових зображень, близьких до фотореалістичних. Програма підтримує ОС: Windows 7, Vista, XP, 2000, 98.

**Недоліки:** Обмеженість баз даних світильників єдиним виробником, відсутність підтримки операційних систем Linux і Mac OS X [2].

#### **Light-in-Night Road**

Програма компанії «БЛ ГРУПП» Light-in-Night Road є робочим інструментом для професіоналів в області проектування зовнішнього освітлення. Головні користувачі програми розрахунку освітлення - проектувальники багатофункціональних проектних інститутів та організацій (у тому числі спеціалізованих дорожніх), експлуатаційні служби структури «Горсвет», будівельні компанії, енергетики та інженери підприємств. Для світлотехнічного проектування вуличного і зовнішнього освітлення, а саме: освітлення автобанів, автомагістралей, шосе (дороги категорії А за СНиП 23-05-95); освітлення міських і сільських вулиць, доріг, проїжджих частин, бульварів (дороги категорії Б); освітлення дворів, проїздів, провулків (дороги категорії В); освітлення площ, пішохідних зон, садово-паркових територій,

скверів, зон відпочинку, зовнішніх територій шкіл, дитячих садів і т.д.; освітлення периметрів охоронюваних зон, зовнішніх територій промислових об'єктів; освітлення паркінгів, автостоянок, АЗС; освітлення довільно модельованих об'єктів, що не увійшли до наведеного стандартний перелік. Дозволяє виконувати тривимірне моделювання різних об'єктів, призначених до освітлення, світлотехнічні розрахунки на цих об'єктах, наочну візуалізацію результатів та формування протоколу розрахунку, зручного як для аналізу, так і для демонстрації замовнику.

**Переваги:** Містить вбудовану базу даних освітлювальних приладів GALAD. Оцінює ефективність обраної схеми освітлення прямих доріг. Підбирає найбільш раціональне розташування світильників: спосіб установки, схему розміщення, висоту установки, крок опор, нахил кронштейна або орієнтацію прожекторів та ін. Правильно класифікує освітлюваний об'єкт (ділянку вулиці, площі, перехрестя, пішохідна зона і т.п.) і визначає для нього нормативні показники відповідно до положень діючих федеральних норм СНиП 23-05-95 \*. Зручна для подання до проектної документації. Програма підтримує ОС: Windows 2000, XP, Vista.

**Недоліки:** Не розраховує внутрішнє освітлення громадських будівель. Обмежений асортимент світильників єдиним виробником світильників GALAD в базі даних [4].

#### CalcuLuX

Розроблена світовим виробником світлотехніки Philips для світлотехнічних промислових проектних організацій. Пакет програм дозволяє розрахувати освітленість доріг (Calculux Road), промислових об'єктів, спортивних майданчиків, великих торговельних об'єктів та інших зовнішніх будов (Calculux Area). Підпрограма Area виконує розрахунки на довільній площині; враховує перешкоди, що потрапляють на шляху світлових пучків, задаючи коефіцієнт пропускання (прозорості). Оцінює широкий спектр кількісних і якісних характеристик освітлення: горизонтальну освітленість, вертикальну освітленість за чотирма основними напрямками, освітленість у напрямку спостерігача, градієнт освітленості, напівциліндричну освітленість, напівсферичну освітленість, яскравість вуалюючої пелени, індекс бляклості для спортивного освітлення. Є можливість виконувати розрахунки для різних режимів включення освітлювальної установки і для різних коефіцієнтів регулювання освітлення. Підпрограма Road враховує яскравість дорожнього покриття.

**Переваги:** Надається можливість вводити симетрію при розміщенні всіх або окремих світильників, задавати положення й орієнтацію світильників або індивідуально (окремо для кожного світильника), або для впорядкованої множини світильників у вигляді двовимірного блоку, лінії, дуги, точки або вільної множини. В програму вбудований набір спеціальних спортивних полів. Дана опція дуже зручна, тому що крім габаритних розмірів, поля містять спеціальну розмітку, притаманну конкретному виду спорту, а також супроводжуються відповідною розрахунковою сіткою. Є можливість виконувати розрахунки для різних режимів включення освітлювальної установки і для різних коефіцієнтів регулювання освітлення. Програма імпортує і експортує файли у форматі Autocad та формує звіти, представляючи результати розрахунків у зручному текстовому і графічному вигляді. У пакет програм Calculux входить велика база даних, що містить інформацію про світильники, вироблених компанією Philips Lighting. Крім фотометричних характеристик, база містить дані про оптичні системи, типи ламп, ПРА, повному енергоспоживанні та ефективності комплектів лампа-ПРА-світильник. Програма підтримує ОС: Windows 7, Vista, XP, 2000, 98.

**Недоліки:** Відсутність розрахунку стандартних проектів внутрішнього освітлення. Також Calculux містить бази даних світильників лише одного виробника Philips Lighting [5, 6].

### Litestar 4D

Програма компанії Oxytech для проектування освітлення приміщень, вулиць, доріг, тунелів та спортивних комплексів. Програма містить фотометричні дані світильників, дозволяє легко проектувати освітлення, а також містить бази 3D-моделей меблів та інших об'єктів. LITESTAR дає можливість моделювати різні форми приміщень, вибрати їх зі списку готових кімнат або імпортувати в форматі .dwg або .dxf. Результати представлені в математичній, графічній і реалістичній формі. Можливо також представити реалістичну 3D-презентацію об'єкта. Форму презентації можна змінювати в залежності від положення спостерігача.

**Переваги:** Пакет програм дозволяє працювати як у двовимірному, так і в тривимірному інтерфейсі. Дозволяє імпортувати бази даних світильників зарубіжних виробників. Імпортує 3ds формат. Доступ до використання багатьох матеріалів і структур приміщень. Розраховує як штучне, так і природне освітлення. Програма підтримує ОС: Windows 98/2000/XP/NT.

**Недоліки:** Не підтримує бази даних світильників вітчизняних виробників. Досить складне управління та моделювання в програмі. Розрахунки не відповідають вітчизняним стандартам [7].

### Relux

Пакет програм компанії Relux Informatik AG створений для дизайнерських, проектних організацій, пов'язаних з світлотехнікою. А так само для менеджерів, які працюють в сфері електротехнічного бізнесу. Пакет програм ReluxSuite містить: ReluxVision, ReluxPro, ReluxTunnel, ReluxSensor, ReluxOffer, ReluxEnergy, ReluxLum, ReluxCAD. ReluxSuite призначена для розрахунку внутрішнього та зовнішнього освітлення, освітлення тунелів та доріг, вуличного освітлення. Зокрема ReluxVision розрахована для трасування променів та тривимірного зображення траєкторій променів; ReluxTunnel дозволяє розрахувати освітлення тунелів, враховуючи геометрію та поверхню стін тунелю, ширину, кількість смуг та покриття доріг; ReluxEnergy розраховує споживання електроенергії для внутрішнього освітлення нежитлових будівель; ReluxCAD працює безпосередньо з програмою Autocad.

**Переваги:** Пакет програм дозволяє працювати у тривимірному інтерфейсі, проектувати полігони для створення дизайнерських приміщень і розрахунку їх освітлення. Працює з базами даних 75 виробників освітлювальних приладів. Імпортує 3ds формат. Доступ до використання багатьох матеріалів і структур приміщень. Розраховує як штучне, так і природне освітлення. Можна розташовувати світильники в лінію, по колу, рівномірно. Або відображати один відносно одного. Економічні розрахунки. Програма підтримує ОС: Windows 2000, XP, Vista.

**Недоліки:** Оплачуваний рендер ReluxVision та ReluxCAD, але є можливість безплатного тестового користування протягом 30 діб. Досить складне управління [8, 9].

### DIALux

Програма компанії DIAL GmbH для дизайнерських, проектних організацій, пов'язаних з світлотехнікою. А так само для менеджерів, які працюють в сфері електротехнічного бізнесу. Розрахунок зовнішнього і внутрішнього освітлення при заданому типі і кількості світильників та їх розташуванні. Можливість розрахунку вуличного освітлення доріг. При розрахунку враховується геометрія приміщень, колір і текстура поверхонь, а також розставлені в приміщенні меблі. Найбільш популярними результатами розрахунку є графічне зображення розподілу освітленості по робочій поверхні і загальний тривимірний вигляд освітленого приміщення.

**Переваги:** Вагомою перевагою програми є її універсальність. При розрахунку в програмі «Dialux» використовуються вбудовані бази даних світильників, які надають всі світові виробники і в яких світлотехнічні параметри світильників закладені максимально повно і точно. Всі бази даних світильників постійно оновлюються та найактуальніші їх версії завжди

доступні для вільного завантаження в Інтернеті. Можна отримати ізолінії постійної освітленості, таблицю і графік освітленостей, відомості світильників і їх паспортні дані. Важливими плюсами програми є здатність імпортувати і експортувати файли у форматі Autocad. Завдяки програмі «Dialux» з'являється можливість окрім безпосереднього розрахунку освітленості на будь-якій поверхні (підлога, стіни, стеля, робочі поверхні під будь-якими кутами до джерела світла) контролювати показники якості освітлення: горизонтальну освітленість, насиченість приміщення світлом, рівномірність освітлення і т. д. Програма має інтуїтивно зрозумілий інтерфейс та якісну графічну підтримку для 3D моделювання освітлення промислових об'єктів. Програма підтримує ОС: Windows 7, Vista, XP, 2000, 98.

**Недоліки:** Відсутність підтримки операційних систем Linux і Mac OS X [10, 11].

Головні функціональні можливості програм проектування промислового освітлення зведено в таблицю 1. Для оцінки можливостей САПР для проектування промислового освітлення розглядалася, по-перше, мультимедійність та мультифункціональність програм, можливість імпорту баз даних світових та вітчизняних виробників освітлювальних приладів і найголовніше придатність програм для проектування освітлення згідно вітчизняних стандартів.

Таблиця 1 – Аналіз функціональних можливостей САПР освітлення

Назва програми	Функції та вбудовані розрахунки								Відповідність розрахунків світовим стандартам	
	Зовнішнє освітлення	Внутрішнє освітлення	Освітлення доріг	Використання баз освітлювальних приладів різних виробників	Економічні розрахунки	3D проектування	Імпорт та експорт файлів у форматі Autocad	Формування протоколу отриманих розрахунків	Європейським	Українським
<b>Ulysse</b>	+		+						+	
<b>Beroes OS</b>		+							+	
<b>Europic 9</b>	+	+	+			+			+	
<b>Light-in-Night Road</b>	+		+			+		+		+
<b>CalcuLuX</b>	+		+			+	+	+	+	
<b>Litestar 4D</b>	+	+	+	+-		+	+	+	+	
<b>Relux</b>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
<b>DIALux</b>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

**Висновки:** Підсумовуючи розглянутий матеріал, системи автоматизованого проектування освітлення не тільки полегшують, а й повністю вирішують проблеми з розрахунками промислового освітлення. Для вирішення питань автоматизації проектування промислового освітлення САПР має виконувати наступні функції: розрахунок зовнішнього та внутрішнього освітлення промислових об'єктів, освітлення вулиць та доріг, можливість використання баз освітлювальних приладів різних виробників, в тому числі і вітчизняних, економічні розрахунки, проектування освітлення у тривимірному просторі, імпорт та експорт файлів у форматі Autocad та формування протоколу отриманих розрахунків. Після оцінки доступних у мережі інтернет програм проектування освітлення, найбільш мультимедійними та

рекомендованими САПР виявилися програми Relux та DIALux. Інші приведені програмні забезпечення або частково вирішують питання автоматизації, або мають більш складну структуру. З таблиці 1 видно, що в Relux та DIALux зібрані всі можливі функції та що найважливіше, більшість світових брендів по виготовленню освітлювальних приладів створюють бази даних саме для цих програм. Незважаючи на те, що Relux має платні плагіни та має трохи складніший інтерфейс, ніж DIALux, ця програма для проектування забезпечує повний спектр послуг. Отже, DIALux та Relux можна використовувати для повноцінного проектування промислового освітлення в світлотехнічних проектах як з навчальними цілями у вищих навчальних закладах, так і для компаній, що проектують освітлення для різних проектів.

**Перелік посилань:**

- 1 Освещение – IngeniumTime. Вид з екрану: <http://ingeniumtime.ru/?cat=22>
- 2 Расчет освещенности – IngeniumTime. Вид з екрану: [http://ingeniumtime.ru/?taxonomy=post\\_tag&term=raschet-osveshhenosti](http://ingeniumtime.ru/?taxonomy=post_tag&term=raschet-osveshhenosti)
- 3 Программа Beroes OS 1.1. Вид з екрану: [http://beroes.front.ru/brs\\_os11.htm](http://beroes.front.ru/brs_os11.htm)
- 4 Российская программа проектирования наружного (уличного) освещения Light-in-Night Road. Вид з екрану: <http://www.light-in-night.ru/>
- 5 CalcuLuX – светотехническая программа от Philips. Вид з екрану: <http://lightingnews.info/73-calculux-svetotekhnicheskaja-programma-ot-philips.html>
- 6 CalcuLuX 7.5.0.0 от Philips Lightning. Вид з екрану: <http://ingeniumtime.ru/?p=1130>
- 7 LITESTAR Project. Вид з екрану: <http://www.oxYTECH.it/default.asp?LN=UK>
- 8 RELUX – Lightning planning – light building – freeware. Вид з екрану: <http://www.relux.biz/>
- 9 Основы моделирования освещения в программе Relux Professional 2007. Вид з екрану: <http://lightonline.ru/svet/lessons/Relux2007.html>
- 10 Light. Building. Software. Вид з екрану: <http://www.dial.de/CMS/English/Articles/DIAL/DIAL.html#>
- 11 Изучаем DIALUX. Вид з екрану: <http://www.expertunion.ru/programmy/izuchaem-dialux-raschet-osvescheniya-za-10-shagov.html>

УДК 620.9.01

Т.В. Листопадська, О.В. Ленькин

**ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОГО ПОТЕНЦІАЛУ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ ТН В СИСТЕМІ ВЕНТИЛЯЦІЇ НА ПРИКЛАДІ ДОШКІЛЬНОГО НАВЧАЛЬНОГО ЗАКЛАДУ**

*В даній статті розглянуто проблему нереалізованого потенціалу енергозбереження вентиляційної системи з використанням відпрацьованого повітря вентиляційної системи та рекуператора теплоти на прикладі дитячого садочку. Запропоновано встановлення теплового насоса для системи опалення. Це перспективні технології, які допомагають економити кошти та енергоресурси, зменшити негативний вплив на навколишнє середовище. Наведені розрахунки втрат теплоти на обраному об'єкті. Зроблені висновки щодо ефективності використання теплових насосів у системах повітряного опалення та вентиляції.*

**Ключові слова:** утилізація повітря, тепловий насос, система опалення, вентиляція, рекуператор теплоти, ефективність теплонасосних систем.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОГО ПОТЕНЦИАЛА ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕПЛООВОГО НАСОСА В СИСТЕМЕ ВЕНТИЛЯЦИИ НА ПРИМЕРЕ ДОШКОЛЬНОГО УЧЕБНОГО ЗАВЕДЕНИЯ**

*В данной статье рассматривается проблема нереализованного потенциала энергосбережения вентиляционной системы с использованием отработанного воздуха вентиляционной системы и рекуператора теплоты на примере детского сада. Предложено установки теплового насоса для системы отопления. Это перспективные технологии, которые помогают экономить средства и энергоресурсы, уменьшит негативное воздействие на окружающую среду. Приведенные расчеты потерь теплоты на выбранном объекте. Сделанные выводы относительно эффективности использования тепловых насосов в системах воздушного отопления и вентиляции.*

**Ключевые слова:** утилизация воздуха, тепловой насос, система отопления, вентиляция, рекуператор теплоты, эффективность теплонасосных систем.

**INVESTIGATION OF POSSIBLE ENERGY SAYINGS POTENTIAL WITH USE OF HEAT PUMPS FOR VENTILATION AN EXAMPLE PRE-SCHOOL**

*This paper considers the problem of unrealized potential of energy saving ventilation system using exhaust air ventilation system and heat recuperator for example kindergarten. An installation of the heat pump to the heating system. This advanced technology to help save energy costs and reduce the negative impact on the environment. The calculation of heat losses on the selected object. Conclusions on the effectiveness of the use of heat pumps in the system of air heating and ventilation.*

**Key words:** utilization of air, heat pump, heating, ventilation, heat exchanger heat efficiency of heat pump systems.

**Вступ**

Про необхідність провітрювання приміщень знає кожен. Та, на жаль, в холодну пору року разом з молекулами повітря вилітають назовні і калорії тепла, енергії. Досвідчений енергоменеджер знає, що цих втрат можна уникнути поставивши, наприклад, систему рециркуляції відпрацьованого повітря. Та використання таких способів неможливе там, де тепло є чи не найважливішим – в дитячих садках. Адже згідно будівельних норм у дитячих дошкільних установах (сади, ясла) встановлюється природна припливно-витяжна вентиляція.



Тому в даній статі пропонується використання теплоти відпрацьованого повітря на потреби опалення будівлі. Це стане можливим при встановленні теплових насосів.

На сьогоднішній день при вирішенні проблем енергозбереження теплові насоси вважаються найбільш перспективними серед джерел нетрадиційної енергетики завдяки можливості черпати відновлювану енергію з навколишнього середовища. Масове застосування теплонасосних установок, в тих галузях, де це доцільно, дасть змогу на 40—50 % знизити обсяги спалювання природного газу в теплогенераторах комунальної енергетики за рахунок використання природних відновлюваних джерел енергії [1].

Одним із найефективніших об'єктів для застосування теплонасосних технологій теплозабезпечення є системи вентиляції промислових, громадських і житлових приміщень. Завдяки малій різниці температур припливного та відпрацьованого повітря досягається висока енергетична ефективність використання у системах вентиляції при помірних температурах навколишнього повітря. Аналізу енергетичної ефективності використання теплових насосів в конкретному дитячому садку і присвячена дана стаття.

### Постановка задачі

Метою даної статті є дослідження можливого потенціалу енергозбереження з використанням ТН в системі вентиляції, використання рекуператора теплоти на прикладі дитячого садочку. Об'єктом дослідження було обрано Дошкільний навчальний заклад № 89 по вул. Княжий Затон, 17-Г, м. Київ.

### Опис можливості використання теплоти відпрацьованого повітря, встановлення ТН в системах опалення та вентиляції

Згідно [2] пункт 4.12. «У будинках дошкільних закладів повинна проектуватися витяжна вентиляція, як правило, з природним спонуканням...». Запроектований природний приплив зовнішнього повітря за допомогою провітрювання та інфільтрації через нещільності дверних і віконних прорізів.

Ми зіткнулися з проблемою, коли повітря нагріте до температури 22°C (згідно [2] ) марно викидається в навколишнє середовище, мають місце численні теплові, а, як наслідок, і матеріальні втрати.

Згідно проектної документації по даному об'єкту дані тепловтрати з кожної кімнати за  $t_{зов} = -22^{\circ}\text{C}$ . Але потрібно врахувати, що протягом всього опалювального періоду  $t_{зов.сер.} = -1,1^{\circ}\text{C}$ . Для зручності обчислень умовно об'єднаємо кімнати на кожному поверсі у два блоки.

Табл.1

	Тепловтрати при $t_{зов} = -22^{\circ}\text{C}$ , Вт	Тепловтрати при $t_{зов.сер.} = -1,1^{\circ}\text{C}$ , Вт
1й поверх:		
Блок 1	51350	26842
Блок 2	43990	22995
2й поверх:		
Блок 1	31780	16612
Блок 2	33430	17475
3й поверх:		
Блок 1	43050	22503
Блок 2	44110	23058

Тоді сумарні тепловтрати з будівлі складуть  $\sum Q = 129485 \frac{\text{Дж}}{\text{с}}$ , ( при середній температурі  $-1,1^{\circ}\text{C}$  за опалювальний період),

а за місяць дитсадок втрачає:

$Q_{\text{міс}} = \sum Q \cdot t \cdot n \cdot 3600$ , де  $t$  - кількість робочих год.  $n$  – кількість робочих днів;

$$Q = 129485 \cdot 24 \cdot 30 \cdot 3600 = 335,6 \frac{\text{ГДж}}{\text{міс}} \text{ або } 80,5 \frac{\text{Гкал}}{\text{міс}}.$$

Згідно з постановою про тарифи на теплову енергію для потреб бюджетних установ 1 Гкал коштує 765,9 грн., неважко підрахувати, що мають місце тепловтрати на  $61689 \frac{\text{грн}}{\text{міс}}$ .

Але рішення проблеми існує: утилізація тепла відпрацьованого повітря з використанням теплового насоса для системи опалення.

На сьогодні в Україні все більше уваги приділяється використанню теплових насосів як альтернативних джерел тепlopостачання. Серед них особливе місце посідають повітряні теплові насоси, які широко застосовуються в системах опалення промислових і комерційних об'єктів, використовуються вони і в індивідуальних житлових будинках. Системи опалення на основі ТН (як і системи вентиляції) дають можливість знизити затрати енергії, відрізняються екологічною чистотою, оскільки працюють без спалювання палива і не викидають в атмосферу шкідливі речовини та економічністю (на 1 кВт використаної енергії тепловий насос виробляє 3-5 кВт). Велика перевага теплонасосних систем опалення полягає у автономності та незалежності від постійного росту цін на традиційні енергоносії.

Відпрацьоване повітря на виході із приміщення має високу температуру, тому можна раціонально використовувати його теплоту. Потік повітря подається на рекуперативний теплообмінний апарат, де відбувається відбір теплоти до теплоносія. Останній підігріває воду в системі опалення.

На рисунку представлена спрощена схема опису теплонасосної системи опалення та вентиляції:

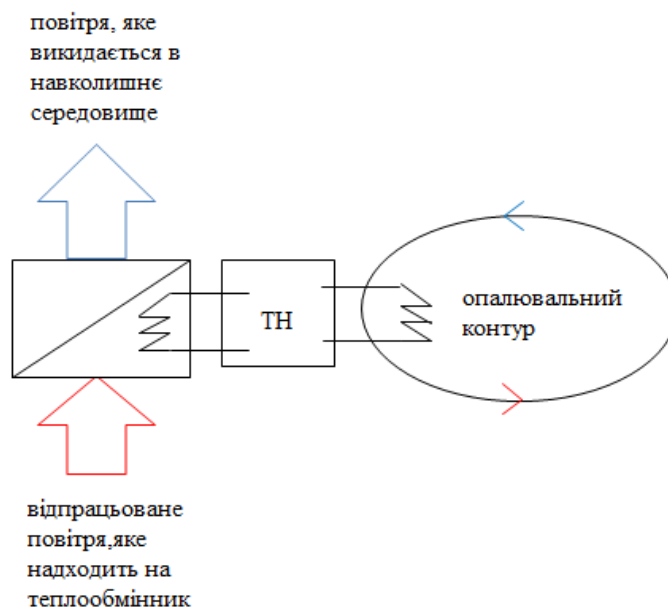


Рис. 1. Система вентиляції з використанням рекуператора теплоти і теплового насоса

Дана будівля має три поверхи, на кожному з яких передбачається установка двох ТН. З каталогу [8] для першого поверху обираємо насос А32, для другого і третього - насос А20. Характеристики ТН представлені у таблиці 2:

Табл.2

Модель ТН	А20	А32
Теплова потужність, кВт	20	31
Споживана потужність, кВт	4,2	6,5
Ціна, тис.дол. США	5	8,2

Сумарно всі шість теплових насосів виробляють:

$Q = N_1 \cdot q_1 + N_2 \cdot q_2$ , де  $N$  – кількість ТН,  $q$  - теплова потужність ТН;

$$Q = 2 \cdot 31 + 4 \cdot 20 = 142 \text{ кВт або } 87,9 \frac{\text{Гкал}}{\text{міс}} \text{ на суму в } 67322 \frac{\text{грн}}{\text{міс}}.$$

Але ТН також споживають електричну енергію на суму в:

$E = (N_1 \cdot q_1 + N_2 \cdot q_2) \cdot t \cdot n \cdot c$ , де  $t$  - кількість год.  $n$  – кількість днів,  $c$  – одноставочний тариф на електричну енергію;

$$E = (2 \cdot 6,5 + 4 \cdot 4,2) \cdot 24 \cdot 30 \cdot 0,98 = 21026 \frac{\text{грн}}{\text{міс}}$$

Тоді чистий прибуток від роботи ТН складе:  $E = 67322 - 21026 = 46296 \frac{\text{грн}}{\text{міс}}$ .

Капітальні витрати на придбання ТН становлять:  $KB = 2 \cdot 8200 + 4 \cdot 5000 = 291200 \text{ грн}$

Простий термін окупності становитиме:  $TO = \frac{291200}{46296} = 6,3 \text{ міс}$ , оскільки

опалювальний сезон складає лише половину календарного року, то даний захід окупиться за один рік.

Зважаючи на довговічність роботи обладнання  $TO$  є досить прийнятним, тому установка ТН є економічно вигідним енергозберігаючим заходом, який не лише економить фінансові ресурси дитсадку, але й не залежить від невідновлювальних джерел енергії, ціни на котрі ростуть з кожним роком.

Вище було розглянуто випадок, коли ТН покриває тепловтрати на всі 100%. Даний графік відображає на скільки відсотків ТН покривають тепловтрати в залежності від температури:

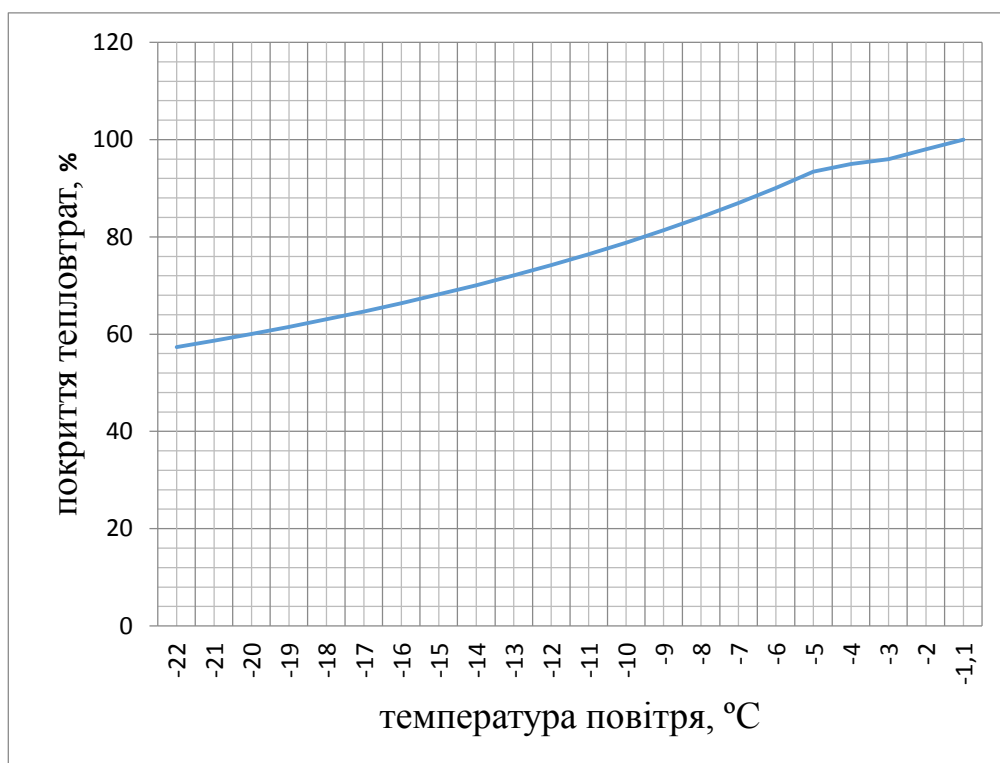


Рис.2

### Висновки

Установки вентиляції з рекуператором-утилізатором теплоти відпрацьованого повітря являють собою один із варіантів найбільш ефективного застосування повітряних теплових насосів у системах низькотемпературного теплозабезпечення.

Результати аналізу показують, що теплонасосні системи вентиляції з рекуператором теплоти відпрацьованого повітря мають незначні питомі витрати енергії навіть при низьких температурах зовнішнього повітря. Теплові насоси значно економічні, ніж звичайне опалення. Витрати на експлуатацію таких насосів можуть бути в три рази нижче в порівнянні з іншими системами. Фактично, при роботі теплових насосів не потрібно проводити технічне обслуговування. На відміну від систем опалення, що працюють на нафті і газі, не потрібно проводити регулярні перевірки за допомогою служби інспекції димоходів і / або проводити роботи з технічного обслуговування із залученням техніків. Також це екологічно чистий метод опалення та кондиціювання як для довкілля так і для людей, що знаходяться в приміщенні. Застосування теплових насосів - це заощадження невідновлюваних енергоресурсів і захист навколишнього середовища, у тому числі і шляхом скорочення викидів CO<sub>2</sub> в атмосферу.

### Література:

1. М.К.Безродний, М.А. Галан. Термодинамічна ефективність теплонасосних систем повітряного опалення та вентиляції з рекуператором теплоти та рециркуляцією відпрацьовано //Енергетика: економіка, технології, екологія. – 2012. - №1. – С.103-110.
2. Будинки та споруди дитячих дошкільних закладів ДБН В.2\_2\_4\_97

3. М.К.Безродний, М.А. Галан. Термодинамічна ефективність теплонасосних систем повітряного опалення та вентиляції з рекуператором теплоти та рециркуляцією відпрацьовано //Енергетика та нові енергогенеруючі технології. – 2011. – С.16-19.
4. М.К.Безродний, М.А. Галан. Термодинамічна ефективність теплонасосних систем повітряного опалення //Енергетика та нові енергозберігаючі технології. – С.30-35.
5. Суслов А. Воздушные тепловые насосы: возможности и ошибки маркетинга // Акватерм. – 2010. - №4. – С.22-24.
6. Колесниченко Н.В., Константинов Г.Е., Дмитренко М.А. Оценка целесообразности использования тепловых насосов в Украине // Промышленная теплотехника. – 2011. - №5. – С.67-73.
7. *Мацевитий Ю.М., Чиркин Н.Б., Богданович Л.С., Клепанда А.С.* Внедрение теплонасосных установок // экотехнологии и ресурсосбережение. — 2008. — № 3. — С. 4—10.
8. <http://www.ekosystem.lviv.ua/p-priceViallant>
9. <http://ekoshop.kiev.ua/04/rekuperator-tepla-ventylyatsyonnoho-vozduha---effektyvnoe-enerhosberezhenye-uly-neopravdannoe-rastochytelstvo.htm>
10. <http://attilanet.ru/sozдание-sistemy-ventilyacii-dlya-detskogo-sada.html>

УДК 004.032.26

Чернявський А.В., Кулікова Є.О.

**АНАЛІЗ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ НА ПІДПРИЄМСТВАХ МОЛОЧНОЇ ГАЛУЗІ**

*В статті сформульована постановка задачі прогнозування електроспоживання, розглянуто методи прогнозування електропостачання, описано спосіб формування математичної вибірки, запропоновано алгоритм методу Хольта-Вінтерса, виділено основні параметри, що впливають на оцінку точності результатів розрахунку прогнозних значень електроспоживання*

*Ключові слова: енергозбереження, прогнозування електропостачання, математична вибірка, фактори електроспоживання, метод Хольта-Вінтерса.*

**АНАЛИЗ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ МОЛОЧНОЙ ОТРАСЛИ**

*В статье сформулирована постановка задачи прогнозирования электропотребления, рассмотрены методы прогнозирования электроснабжения, описывается формирование математической выборки, предложен алгоритм метода Хольта-Винтерса, выделены основные параметры, влияющие на оценку точности результатов расчета прогнозных значений электропотребления.*

*Ключевые слова: энергосбережение, прогнозирования электроснабжения, математическая выборка, факторы электропотребления, метод Хольта-Винтерса.*

**ANALYSIS AND PREDICTION OF POWER CONSUMPTION IN THE DAIRY INDUSTRY**

*In the article is worded statement of the problem of forecasting electricity, methods of forecasting electricity, describes a method of forming mathematical sampling algorithm Holt-Winters method, the basic parameters affecting the measurement accuracy of the calculation of predictive values of power.*

*Keywords: energy, electricity prediction, mathematical sampling factors of power, Holt-Winters method.*

**Вступ.** В Україні протягом десятиріч споживання молока і молочних продуктів було традиційно високим. Особливі властивості цих продуктів потребують стабільного розвитку їх виробництва і збуту, безперервного функціонування переробних підприємств молочної промисловості[1].

Сучасна стратегія соціально-економічного розвитку України передбачає нарощування агропромислового потенціалу країни. Молочна галузь, до складу якої входять маслоробна, сироробна, молочноконсервна підгалузі, а також виробництво продукції з незбираного молока, на сучасному етапі є однією із провідних в структурі харчової індустрії України.

Для молочної промисловості характерним є одночасне споживання електричної та теплової енергії. При цьому електроенергію отримують від мережі енергозабезпечуючих компаній, а тепла енергія виробляється власними котельними. Практично відсутня на даний момент конкуренція між генеруючими та енергорозподільними компаніями призводить до відсутності мотивації у скороченні витрат на виробництво, транспортування та постачання електроенергії кінцевому споживачеві.

У 2012 році споживачами електричної енергії України було використано 150721,0 млн. кВт·год, із них – потреба харчової промисловості склала 4713,8 млн. кВт·год.

Споживання електроенергії відрізняється серед різних підприємств та залежить від асортименту продукції, завантаженості виробництва, ефективності обладнання та його технічного рівня. У виробничих витратах молокозаводів в Україні витрати на енергоресурси складають 10%, а в країнах-членах ЄС всього - 2-3% [2].

**Постановка задачі.** В умовах безперервного зростання цін на енергоносії питання прогнозування енергоспоживання в контексті планування енерговитрат є актуальним завданням служби енергоменеджменту зокрема підприємств молокопереробної галузі, оскільки загальні енерговитрати в собівартості продукції харчової промисловості можуть досягати 10-30 %.

Необхідність прогнозування споживання електроенергії обумовлена механізмом функціонування оптового ринку електроенергії. Суб'єкт оптового ринку бере на себе певний ризик, який пов'язаний з неможливістю точного планування заявки на споживання електроенергії. Відхилення фактичного споживання від заявлених значень більше певного відсотка приводить до купівлі електроенергії з балансуєчого ринку за більшою ціною. Відхилення в меншу сторону теж карається оплатою недопоставленої електроенергії, яка визначається різницею між заявленим і фактичним споживанням за встановленими розцінками. Аналізуючи вище сказане, складання точного прогнозу, залежного від планованого випуску продукції, дозволить істотно скоротити витрати в собівартості і визначити шляхи підвищення енергоефективності висока точність прогнозу дозволяє знизити фінансові втрати суб'єкта оптового ринку[3].

В якості прогнозуючої моделі електропостачання можуть бути використані математично виражені:

- регресійні залежності, які мають у якості аргументів залежні фактори;
- моделі, представлені періодичним рядом Фур'є;
- адитивні (складені) функції, що включають набори елементарних функцій.

Складність прогнозу електроспоживання обумовлена необхідністю врахування багатьох факторів, що впливають на споживання електроенергії: температура навколишнього повітря, хмарність, тривалість дня, день тижня, переходи із зимового на літній час і назад, плановане включення, відключення енергоємних виробництв.

Одним з основних факторів є температура навколишнього середовища, так як відомо, що електроспоживання в молочній галузі зростає в теплий період (весна-літо), коли включаються додаткові потужності, для задоволення попиту на молочну продукцію в спекотні дні. Такі фактори, як вологість повітря або хмарність, які створюють дискомфорт для людини, можуть пояснити використання нагрівальних і освітлювальних приладів.

**Методи прогнозування електроспоживання.** Існуючі методи прогнозування електроспоживання можна розділити на дві основні групи: методи прогнозування, в яких за споживання електричної енергії розглядається як детермінований процес і методи, засновані на припущенні про імовірнісний характер електроспоживання.

До методів першої групи можна віднести методи із застосуванням середніх характеристик ряду динаміки електроспоживання: середнього абсолютного приросту і середнього темпу зростання. У цьому випадку рівень енерговитрат на будь-яку дату визначається за виразами:

$$W_t = W_0 \pm \Delta \bar{W} t;$$

$$W_t = W_0 (\bar{K})^t,$$

де  $t$  - порядковий номер дати ( $t = 0, 1, \dots, n$ );  $W_0$  - початковий рівень ряду;  $\Delta \bar{W}$  - середній абсолютний приріст (зниження);  $\bar{K}$  - середній темп зміни електроспоживання.

До цієї ж групи належать також методи, засновані на обчисленні коефіцієнтів пропорційності між зростанням електроспоживання та іншими показниками розвитку підприємств (випуск продукції, продуктивність праці, тощо).

В якості можливого способу визначення потреби в електроенергії можливе застосування розбиття планованого рівня енерговитрат на дві складові. Одна з них  $W_{n-1} X$  дорівнює споживанню енергії за місяць, що передує планованому, помноженому на постійну  $X$ , незалежну від обсягу виробництва. Інша  $W_{n-1} Y \frac{Q_n}{Q_{n-1}}$  являє собою помноження змінної складової, яка залежить від обсягу виробництва частини загальної витрати електроенергії на коефіцієнт приросту обсягу продукції за планований місяць до обсягу продукції за місяць, що передує планованому:

$$W_n = W_{n-1} X + W_{n-1} Y \frac{Q_n}{Q_{n-1}}.$$

Величина  $Y$  визначається з виразу:

$$Y = \frac{W_{n-1} - W_{n-2}}{W_{n-2} \left( \frac{Q_{n-1}}{Q_{n-2}} - 1 \right)},$$

де  $W_{n-1}, W_{n-2}, Q_{n-1}, Q_{n-2}$  - відповідно, споживання електроенергії та обсяг випуску продукції за місяць, що передує планованому і за місяць раніше. Величина  $X$  знаходиться як різниця  $X = 1 - Y$ .

Метод прогнозу за допомогою ковзної середньої, метод експоненціального згладжування і метод адаптивної фільтрації засновані на тому загальному положенні, що результат прогнозування виходить шляхом суммування зважених результатів минулих спостережень.

$$W_{t+1} = \sum_{i=1}^N S_i X_i,$$

де  $W_{t+1}$  - прогноз на період  $t+1$ ;

$S_i$  - значення, призначене для  $i$ -го спостереження;

$X_i$  - величина, що спостерігається;

$N$  - число періодів (спостережень і значень), що використовуються при обчисленні.

Даний вираз носить загальний характер і залежно від того, яким чином призначається значення  $S_i$ , і кількість спостережень  $N$ , може відповідати різним методам прогнозування. Так, наприклад, методу з використанням ковзної середньої відповідає однозначне призначення числа спостережень  $N$ , а потім призначення однакових величин, що дорівнюють  $1/N$ . У методі експоненціального згладжування, що використовує всі минулі спостереження, значення призначаються диференційовано, при цьому значення останнього спостереження є  $S_i = \alpha$ , а значення всіх попередніх спостережень дорівнює:



$$S_{t-i} = \alpha(1-\alpha)^i,$$

де  $\alpha$  - параметр згладжування.

Прогностична оцінка знаходиться за виразом:

$$W_{t+1} = \alpha W_t + \alpha(1-\alpha)W_{t-1} + \alpha(1-\alpha)^2 W_{t-2} + \dots + \alpha(1-\alpha)^i W_{t-i},$$

де  $W_{t+1}$  - прогноз на наступний (за спостережуваним) відрізок часу;

$W_{t-i}$  - значення досліджуваного параметра, що спостерігалось  $i$  періодів назад (по відношенню до розглянутого моменту часу).

У методі адаптивної фільтрації за допомогою процедури пошуку відшукується такий набір значень  $S_i$ , який мінімізує середньоквадратичну помилку прогнозу. Початкові значення призначаються довільно, а потім коригуються в напрямку мінімізації середньоквадратичної помилки за виразом:

$$S_{j+1} = S_j + 2k\varepsilon_j X,$$

де  $S_{j+1}$  - переглянутий вектор значень;

$S_j$  - старий вектор значень;

$k$  - константа;

$\varepsilon_j$  - помилка прогнозу при використанні старого вектора  $S_j$ ,

$X$  - вектор наявних спостережень.

Крім окремих недоліків (складність визначення оптимальних значень  $\alpha$  - параметра згладжування,  $k$  - константи навчання та деяких інших) даними способом притаманний спільний недолік, що полягає в ідейному змісті методів - прогноз здійснюється з власної передісторії показника без аналізу причин розвитку і являє собою пряму екстраполяцію. Тобто на основі цих методів неможливо встановлення залежностей рівня електроспоживання від зміни основних технологічних показників виробництва Ці методи не дозволяють враховувати сезонні коливання при прогнозуванні.

Існує розширений до трипараметричного експонентного згладжування метод Хольта-Вінтерса. При цьому робиться спроба врахувати сезонні коливання в даних. Система рівнянь, що описують метод Хольта-Вінтерса має вигляд:

$$\Omega_t = a \frac{Y_t}{S_{t-s}} + (1-\alpha)(\Omega_{t-1} - T_{t-1}),$$

$$T_t = \beta(\Omega_t - \Omega_{t-1}) + (1-\beta)T_{t-1},$$

$$S_t = \gamma \frac{Y_t}{\Omega_t} + (1-\gamma)S_{t-s},$$

$$Y_{t+p} = (\Omega_t + pT_t)S_{t-s+p}.$$

Дріб у першому рівнянні служить для виключення сезонності з  $Y(t)$ . Після виключення сезонності алгоритм працює з "чистими" даними, у яких немає сезонних коливань. З'являються вони вже в самому фінальному прогнозі, коли "чистий" прогноз, полічений майже по методу Хольта множиться на сезонний коефіцієнт.

В даному алгоритмі значення рівня і тенденції згладжуються за допомогою експоненціального згладжування.

Параметри згладжування рівня і тенденції різні.

Основна система рівнянь:

- Перше рівняння описує згладжений ряд загального рівня.
- Друге рівняння служить для оцінки тенденції.
- Третє рівняння визначає прогноз на  $p$  відліків за часом вперед.

Завжди можна підібрати таку пару параметрів, яка дає велику точність на тестовому наборі і потім використовувати цю пару, при реальному прогнозуванні.

**Формування навчальної вибірки.** Однією з умов забезпечення якісної роботи використовуваного розрахункового методу є наявність у навчальній вибірці поряд з ретроспективними даними точок тяжіння. очікувані значення прогнозованого параметра в цих точках можуть бути визначені або як результат прогнозування електроспоживання, з використанням методів прогнозування, забезпечуючи хорошу якість прогнозування максимальних і мінімальних рівнів добового споживання; або як фактичні значення електроспоживання з попередніх періодів часу, або як графіки споживання, заявлені учасниками ринку.

Мінімальний обсяг вибірки вибирається виходячи з таких міркувань: всередині вибірки повинно спостерігатися стійкий розподіл і коливання норми близько середнього в межах зазначеної похибки. Вибірка повинна задовольняти умовам стаціонарності і ергодичності. Вибірка повинна давати можливість виділення сезонної і випадкової складової, а також тренда, на підставі якого будується регресія.

Період мінімального обсягу вибірки визначається виходячи з двох принципів: технологічного змісту норми (стійкість технології, номенклатури, складу електроприймачів) і тимчасової стійкості при заданому довірчому інтервалі.

**Оцінка точності результатів розрахунку прогнозних значень електроспоживання.** Точність прогнозування оцінюється за фактом, тобто кожен прогноз оцінюється не раніше, ніж по закінченні проміжку часу, рівного інтервалу попередження, що пройшов з моменту виконання прогнозу.

У загальному випадку для оцінки точності рекомендується використовувати наступні показники:

- Середній модуль помилок прогнозу

$$E_{CM} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |Y_{\Phi i} - Y_{\Pi i}|$$

де  $Y_{\Phi i}$  - фактичне значення параметра;  $Y_{\Pi i}$  - прогнозне значення параметра;  $n$  - кількість точок на оціненому інтервалі попередження.

- Середній модуль відносних помилок прогнозу

$$E_{CMB} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{Y_{\Phi i} - Y_{\Pi i}}{Y_{\Phi i}} \right|$$

- Математичне очікування помилок прогнозу

$$E_{MO} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |Y_{\Phi i} - Y_{\Pi i}|$$

- Середньоквадратичне відхилення похибок прогнозу

$$E_{CKO} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_{\Phi i} - E_{MO})^2}$$

В якості основної оцінки виступає середньоквадратичне відхилення помилок прогнозу. За результатами порівняння цього значення з рівнем нерегулярної складової, характерною для

розглянутої території прогнозування та інтервалу попередження, робиться висновок про точність отриманого прогнозу.

**Список використаних джерел**

1. Галак І.М. Залучення інвестиційних ресурсів на молокопереробні підприємства / І.М. Галак // Економіка АПК. – 2005. – № 3. – С. 82–85.
2. Копцев Л.А. Нормирование и прогнозирование потребления электроэнергии в зависимости от объемов производства / Л.А. Копцев // Промышленная энергетика. - М.:1996 - №3.-С.5-7.
3. Чумаченко Е.И. Горбатюк В.С. Алгоритм решения задачи прогнозирования. / Е.И.Чумаченко, В.С. Горбатюк // Искусственный интеллект –2012.- №2.-С.24-30.
4. Шульгинов С.Г. Методика прогнозирования графиков электропотребления для технологий краткосрочного планирования / С.Г. Шульгинов //- 2007. Электронный ресурс: [www.so-ups.ru](http://www.so-ups.ru)

Рачицький В.С., студент, керівник Денисюк С.П., д.т.н., проф.

## ПЕРСПЕКТИВНИ АРХІТЕКТУРИ MICROGRID ТА ОСОБЛИВОСТІ ЇХ ЗАСТОСУВАННЯ

*В статті розглянуті основні особливості архітектури Microgrid, приведений аналіз впливу при підключенні систем розосередженої генерації до електричної мережі.*

*В статье рассмотрены основные особенности архитектуры Microgrid, приведен анализ влияния при подключении систем рассредоточенной генерации к электрической сети.*

*The paper describes the main features of the architecture Microgrid, given the analysis of the impact of distributed systems connecting generation to the power grid.*

**Вступ.** Розподілені джерела генерації розташовуються поряд зі споживачами електроенергії для мінімізації втрат. Тому ця потужність може мати більше значення, ніж потужність, що надходить від великих, центральних звичних джерел через традиційну інфраструктуру передачі та розподілу енергомережі. З використанням відновлюваних джерел розподіленої генерації, залежність від викопних видів палива і від їх ціни може бути зведена до мінімуму. Цей крок також призведе до значного скорочення викидів двоокису вуглецю, що вимагається кількома державними програмами. Якщо, крім того, розподілена генерація і споживання в певній області об'єднані в одну систему, надійність джерела живлення може бути значно збільшена

На сьогоднішній день існує кілька промислових об'єктів по всьому світу з локальною генерацією та ізольованим робочим режимом. Основна причина цих групувань зазвичай є вимогою для досягнення найвищої ефективності процесів на певному промисловому об'єкті. Наприклад, величезна кількість пари необхідна для хімічних процесів. У цьому випадку власник виробництва може прийняти рішення щодо впровадження власного виробництва електроенергії на основі парових турбін, що дозволить підвищити надійність електропостачання та знизити витрати на енергію. Генератори на таких промислових об'єктах зазвичай покривають саме потреби об'єкту, в основному для уникнення можливого дисбалансу виробництва і споживання електроенергії у випадку ізольованості. Ця «класична мала енергосистема» буде від'єднана від місцевої електричної мережі у разі порушення нормального режиму роботи за межами малої енергосистеми, і її власні генератори будуть продовжувати енергопостачання технологічного споживача. Підключення до енергосистеми являє собою рішення для резервного режиму у випадку, коли один або кілька локальних генераторів повинні бути відключені, наприклад, через несправність або для технічного обслуговування. Відповідні інвестиції можуть бути виправдані шляхом розрахунку економічних втрат від перебоїв у системі енергопостачання і зниження вартості енергії за рахунок використання пари, яка все одно створюється для хімічних процесів. Інші місцеві енергогенеруючі системи можуть досягти високого ступеня ефективності за рахунок застосування систем виробництва теплоелектроенергії (Когенерації / ТЕЦ) або комбінованого виробництва енергії охолодження і теплової (тригенерації), якщо нагрівання і охолодження можуть бути обґрунтовано застосовані у власних технологіях.

Тим не менш, сподівання на нинішні конфігурації систем Microgrid значно перевищують можливості описаних вище систем, особливо з точки зору фізичних характеристик, а також кількості і розмірів розподілених генераторів всередині малої енергосистеми. Сучасні системи Microgrid будуть включати в себе відновлювану і енергогенерацію, що працює на викопному паливі, устаткування накопичувачів енергії, і регулятор навантаження. І ця нова система буде

здатна до розширення, це означає, що зростаюче навантаження може потребувати встановлення додаткових генераторів без будь-якого негативного впливу на стабільну і надійну роботу існуючої малої енергосистеми. Типові розподілені енергоресурси для малих енергосистем є вітрові і працюючі на сонячній енергії генератори, теплоенергетичні системи (Когенератори / ТЕЦ), а також системи, що використовують біогаз та біомасу.

### Система керування.

Керування електроенергією системи Microgrid здійснюється за допомогою програмного забезпечення керування та контролю, що зазвичай включає в себе функції, такі як диспетчерське керування і збір даних, управління виробництвом і розподілом електроенергії, керування генерацією та споживанням електроенергії, система реконфігурації і пуск із повністю знеструмленого стану після збою, система моніторингу ефективності, аналіз вмісту вуглекислого газу, контроль працездатності системи та інші функції. Система керування електроенергією малої енергосистеми зазвичай має канал зв'язку до всіх основних генераторів і навантажень в системі. Крім того, вона може отримувати точні дані прогнозу погоди від професійної метеорологічної служби для всіх місцезнаходжень генераторів поновлюваної енергії всередині малої енергосистеми. Поєднуючи цю інформацію з фізичними характеристиками генераторів, система керування електроенергією малої енергосистеми може передбачити доступну кількість поновлюваної енергії на найближче майбутнє. Ця інформація допомагає планувати коефіцієнт використання викопного палива генераторів у малій енергосистемі.

Таким чином, система керування електроенергією малої енергосистеми з її розмаїттям функцій, описаних вище допомагає керувати системою Microgrid в дуже ефективний спосіб, в той час як локальні контролери розподілених генераторів, акумуляторів і навантажень дбають про стабільну напругу і частоту в межах малої енергосистеми, як у режимі підключеної енергосистеми, так і у ізолюваному (автономному) режимі.

### Структура системи Microgrid

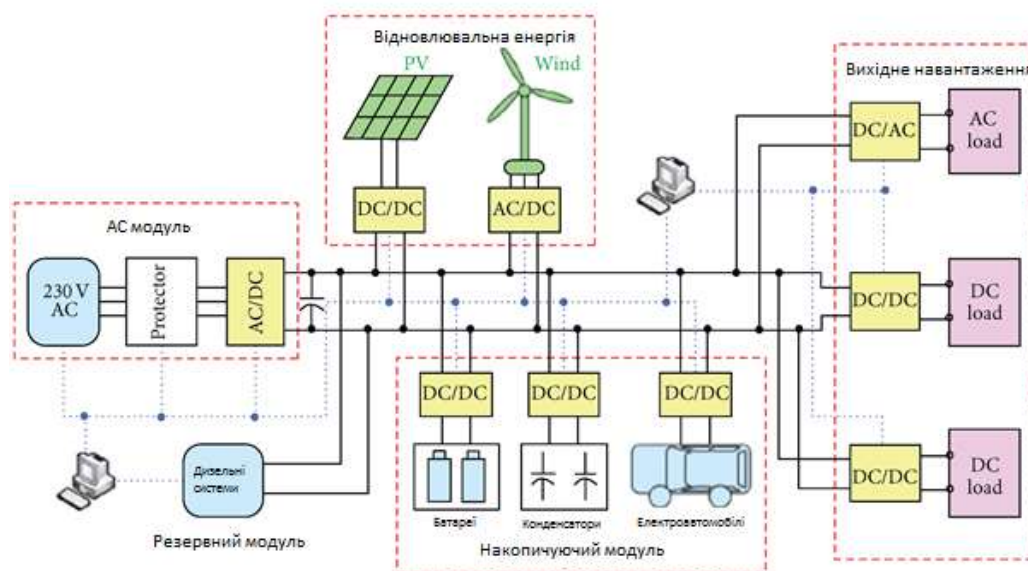


Рис. 1 Система Microgrid на постійному струмі

Як відомо, сонячні та вітрові електростанції генерують електроенергію на постійному струмі, на рис. 1 представлена структура системи Microgrid на постійному струмі. Такий вид живлення дає ряд переваг, порівняно із змінним струмом: зменшуються проблеми пов'язані із

якістю електроенергії, не потрібні напівпровідникові пристрої для перетворення електричної енергії, що дозволяє знизити вартість такої системи.

Але головною проблемою такого живлення є те, що більшість споживачів електричної енергії працюють на змінному струмі, тому даний вид системи Microgrid із живленням на постійному струмі не набув великої популярності.

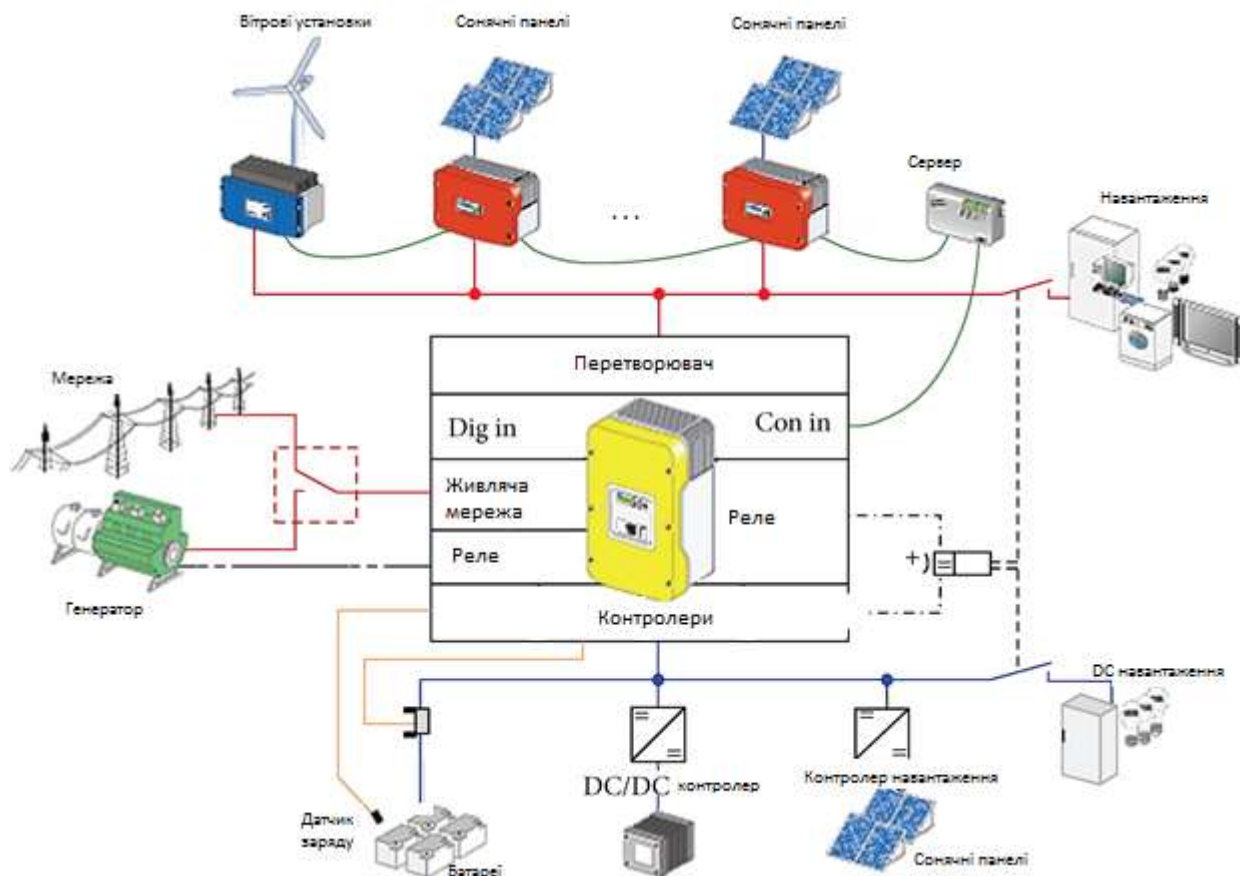


Рис.2 Система Microgrid на змінному струмі

У випадку системи Microgrid на змінному струмі, джерела розосередженої енергії з'єднуються спільною шиною, по якій протікає постійний струм. Далі, за допомогою напівпровідникових перетворювачів постійний струм перетворюється на змінний з частотою 50 Гц, і передається споживачам.

### Вплив підключення розподілених джерел генерації на розподільчі ЕМ

Широке поширення відновлюваних джерел електроенергії призводить, поряд з відомими позитивними змінами в навколишньому середовищі, також до змін електричного режиму в мережі, причому ці зміни можуть характеризуватися як позитивними (підтримання частоти і напруги, компенсація реактивної потужності, продовження електропостачання локальної ділянки мережі при розпаді енергосистеми, зниження втрат і викидів CO<sub>2</sub>), так і негативними (зворотні дії на режим мережі) факторами.

В залежності від величини потужності, що генерується джерелами РГ При цьому ступінь їх зворотного впливу буде різним.

Найбільш «чутливими» до змін електричного режиму є мережі низької і середньої напруги, де переважно має місце підключення різних типів РГ. Нижче наведено головні фактори, що впливають на ці процеси. Більшість з них вже нормуються стандартами США та країн Європи.

Типи підключених РГ за величиною напруги

Величина напруги	Тип підключених ВЕС
> 220 кВ	Вітропарки в морі
110 кВ	Вітропарки на суші PV- установки
10 – 35 кВ	Вітропарки на суші Біогаз-установки PV- установки
< 1 кВ	Акумулятори (як навантаження, накопичувач, джерело) Малі PV–установки Блочні установки тепла та електроенергії Домогосподарства, малі підприємства Водневі установки

Проаналізуємо вплив підключення розподілених джерел генерації на розподільчі ЕМ з точки зору їх експлуатації при нормальному режимі, виділивши їх вплив на регулювання напруги, рівень втрат електроенергії, генерацію вищих гармонік .

### Вплив РГ на регулювання напруги

Радіальні системи розподільних мереж регулюють напругу за допомогою пристроїв РПН на підстанціях, а також додатково за допомогою регуляторів на розподільних лініях та шунтуючих конденсаторів на розподільних лініях або уздовж лінії. Регулювання напруги базується на генерації одно направленого потоку електроенергії, де регулятори оснащені компенсацією падіння напруги на лінії. Підключення РР може призвести до змін в графіку (профілі) напруги уздовж розподільних ліній шляхом зміни напрямку і величини перетоків активної та реактивної потужності. Тим не менш, вплив РГ на регулювання напруги може бути позитивним чи негативним в залежності від режимів розподільної системи і характеристик, а також місця розташування РГ.

На рис. 2 показано, що РР встановлюється після РПН трансформатора, який оснащений компенсатором падіння напруги. Показано, що напруга стає нижчою на лінії живлення з РГ, ніж без РГ, встановлених в мережі. Регулятор напруги буде встановлювати напругу нижчою, ніж раніше було потрібно для заданого режиму функціонування. РГ знижує рівень навантаження зі сторони виділеного електроприймач, що змушує регулятор встановлювати менший рівень напруги в кінці лінії електропередачі. Це явище має й зворотний ефект, який очікується у зв'язку з введенням РГ.

Є два можливі рішення при зіткненні з цією проблемою: перше рішення це переміщення пристрою РР до вхідної сторони регулятора, в той час як друге рішення – це застосувати регулятор для компенсації рівня вихідної напруги РГ.

Установка кількох РГ вздовж живлячих ліній розподілу електроенергії може призвести до появи перенапруги через занадто великі генерації активної та реактивної потужності. Наприклад, невелика система РГ, що має спільний розподільний трансформатор з декількома навантаженнями, може збільшити напругу на вторинній стороні, яка стане достатньою, щоб викликати високу напругу на затискачах цих споживачів.

У нормальних умовах експлуатації без РГ напруга отримана на вході навантаження буде нижчою, ніж напруга на первинній обмотці трансформатора. Підключення РР може

викликати зворотний потік енергії, можливо навіть у деякій мірі й підвищення напруги, і напруга на стороні споживача може бути вищою, ніж на первинній стороні розподільних трансформаторів.

Для будь-якого обладнання РР невеликої потужності (<10 МВт) вплив на первинне енергопостачання у мережі загального призначення незначний. Тим не менше, якщо сумарна потужність зростає до критичного порога (наприклад, до 25%), то при регулюванні напруги необхідно переконаватися, що напруга генератора буде визначена з врахування реальної ситуації в електромережі.

### **Вплив РГ на втрати електроенергії**

Одним з основних впливів розосередженої генерації є вплив на втрати в електричних мережах загального призначення. Розташування окремих РГ є важливим критерієм, який має бути проаналізованим, щоб виявити можливість досягнення більш високої надійності системи зі зменшеними втратами електроенергії.

Згідно зі схемою розташування окремих джерел РР, щоб мінімізувати втрати електроенергії звичайно необхідно встановити конденсаторні батареї. Основна особливість ситуаціями в тому, що РГ може сприяти генерації активної та реактивної потужності ( $P$  та  $Q$ ), а з іншого боку, конденсаторні батареї сприяють тільки реактивній потужності потоку ( $Q$ ).

Оптимальне розташування РГ можна отримати за допомогою аналізу розподілу потоків електроенергії в навантаження, що може визначити придатне місце розміщення РГ в межах всієї виділеної системи електропостачання з метою зменшення втрат електроенергії. Наприклад, якщо лінії електроживлення мають високі втрати електроенергії, то, додавши кілька одиниць РГ невеликої потужності, ми отримаємо важливий позитивний ефект зменшення втрат електроенергії, що буде суттєвою перевагою для систем. З іншого боку, якщо значна кількість РГ вводиться в експлуатацію, то вони повинні бути встановлені з урахуванням пропускної спроможності ліній електропередачі. Наприклад, ємність лінії електроживлення може бути обмежена, оскільки повітряні лінії й кабелі мають теплові граничні характеристики, які не можна перевищувати.

Більшість джерел РГ належать споживачам електроенергії. Оператори мережі не можуть самостійно визначати місця розташування установок РГ. Звичайно передбачається, що втрати електроенергії зменшуються, коли джерела розосередженої генерації розташовуються ближче до сторони навантаження. Як вже було зазначено, локальне зростання потоку електроенергії в низьковольтних кабелях може мати небажані наслідки, пов'язані з тепловими характеристиками.

### **Вплив РГ на генерацію вищих гармонік**

Сигнали, що не відповідають синусоїдальному сигналу розглядається як гармонійно спотворені. Вищі гармоніки завжди присутні в енергосистемах, хоча їх рівень може бути значимим чи незначимим. Вони можуть бути викликані, наприклад: нелінійністю в обмотці збудження трансформатора або навантаженнях, таких як люмінесцентні лампи, випрямлячі, частотно-регульовані приводи, енергетичне обладнання з регулюванням режимів, печі та інше обладнання.

РГ може бути джерелом вищих гармонік в мережі. Гармоніки можуть бути згенеровані або самим генератором (наприклад, синхронним генератором) або обладнанням силової електроніки, таких як інвертори. У випадку використання напівпровідникових перетворювачів, їх внесок гармонік струмів, зокрема, у зв'язку з використанням керованих випрямлячів, буде значним. В даний час перетворювачі, розроблені за IGBT технологією, які використовують широтно-імпульсну модуляцію, можуть на виході мати синусоїдальний сигнал. Гармонічний спектр сигналів повинен задовольняти вимогам відповідних стандартів,



наприклад, стандарту IEEE 1547-2003.

Обертві генератори є ще одним джерелом гармонік, яке залежить від конструкції обмотки генератора (крок котушки), нелінійності осердя, заземлення та інших факторів, які можуть призвести до значного поширення гармонік.

При порівнянні різних кроків синхронних генераторів найкраща конфігурація що зустрічається, з кроком обмотки 2/3, так як вони виробляють мінімально третю гармоніку. Третя гармоніка є добавкою в нейтраль і часто є найбільш поширеною. З іншого боку, генератори з кроком обмотки 2/3 мають більш низький імпеданс і можуть призвести до того, що більш високі гармоніки струму будуть «перетікати» з інших джерел, підключених паралельно з ним. Таким чином, розташування заземлення генератора і трансформатора буде мати основний вплив на обмеження проникнення вищих гармонік. Схеми заземлення можуть бути обрані для усунення або зменшення інжекції третьої гармоніки до системи електроживлення. Це, як правило, дозволяє обмежувати їх тільки на стороні РГ.

Зазвичай, порівнюючи гармонійний внесок від РР з іншими наслідками, які може мати вплив РР на систему електроживлення, можна зробити висновок, що така генерація гармонік не настільки вже й велика проблема. Однак, в окремих ситуаціях можуть виникнути проблеми і рівні вищих гармонік можуть перевищити нормовані значення, наприклад, згідно стандарту IEEE-519 (ці рівні показані в табл. 3). Зазначені проблеми зазвичай викликані резонансом з конденсаторними батареями, або проблемами з обладнанням, яке чутливе до вищих гармонік. У гіршому випадку, обладнання РР можливо потребуватиме відключення через ускладнення режимів роботи, обумовлене вищими гармоніками.

Вимоги щодо генерації гармонік струму для розподілених генераторів згідно стандарту IEEE 519-1992

Порядок гармонік	Дозволені рівні по відношенню до фундаментальних (непарні гармоніки)
<11	4%
Від 11 до 17	2%
Від 17 до 23	1,5%
Від 23 до 35	0,6%
35 та вище	0,3%
Сумарні гармонійні спотворення	5%

При невиконанні вимог, наприклад, стандарту IEEE-519, конструкція установки РГ повинна бути переглянута, щоб визначити, які гармоніки будуть компенсуватися (подавлятися) обмежені в межах схеми розміщення РГ або ж вводяться в систему електропостачання. Крім того, установка повинна виконати вимоги, наприклад, стандарту IEEE-519. Отже, будь-який аналіз повинен враховувати вплив струмів РГ на загальний рівень спотворень напруги. Обмеження на спотворення напруги системи, зокрема, на рівні 5 % для сумарного гармонійного спотворення і 3 % для будь-якої окремої гармоніки.

Важливого значення набуває вирішення проблеми координації функціонування великої кількості розосереджених джерел енергії та двонаправлених мереж зв'язку. Все це потребує розробки :

– стандартів функціональної сумісності обладнання інтелектуальних мереж та розосереджених джерел енергії для їх більш глибокої інтеграції;

– основи засобів та стандартів, які полегшують реалізацію інтелектуальної мережі, зокрема, використання методології IntelliGridSM, призначеної для вибору апікацій, інфраструктури системи керування, а також комунікаційної та інформаційної інфраструктур, необхідних для інтеграції розосереджених джерел енергії.

### **Основні функції розосередженої генерації**

Складові малої енергосистеми, такі як поновлювані або генератори, що працюють на викопному паливі, розчіплювач загальної точки кількох під'єднань і його контроль, навантаження, системи накопичення енергії, і інші повинні відповідати кільком вимогам для забезпечення безперебійної роботи. Відповідні стандарти малих енергосистем будуть закладені, інші будуть переглянуті.

Функції малої енергосистеми, які слід враховувати у всіх дослідженнях, розробках, створенні прототипів і розробках стандартизації:

- **Незалежність:** Малі енергосистеми включають генерацію, накопичення і навантаження, і можуть працювати автономно у режимі підключеної енергосистеми та ізолюваному. У першому випадку, мала енергосистема може самостійно оптимізувати своє виробництво і споживання електроенергії за врахування системної економічної оцінки, такої як рішення купівлі чи продажу. В обох режимах, система може звести до мінімуму викиди CO<sub>2</sub> за рахунок максимізації споживання поновлюваної енергії та мінімізації генерації на основі викопного палива. У ізолюваному режимі система здатна до узгодження джерел і навантаження і може тримати напругу системи і частоту в певних межах з відповідним контролем.

- **Стабільність:** Незалежне місцеве керування джерелами, акумуляторами, і навантаженнями малих енергосистем засноване на статизмі і рівнях напруги у точці підключення кожного пристрою. Це означає, що мала енергосистема може працювати стабільним чином протягом номінальних умов експлуатації та під час подій з перехідним процесом, незалежно від того, чи більша енергомережа працює чи вийшла зі строю. (Додаткові дослідження необхідні, однак, щоб досягти високого рівня стабільності, наприклад, щоб усунути непотрібну передачу реактивної потужності між обертовими або генераторами на основі інвертора.)

- **Сумісність:** Малі енергосистеми повністю сумісні з існуючою місцевою енергомережею. Вони можуть розглядатися як функціональні одиниці, які підтримують розвиток існуючої системи у економічно і екологічно чистий спосіб.

- **Гнучкість:** Розширення і інтенсивність розширення малої енергосистеми не повинні дотримуватися будь-яких точних прогнозів. Підготовчо-налагоджувальний час відповідних компонентів ( працюючих на викопному паливі та поновлюваних генераторів, накопичувальних систем та ін.) є короткими, і мала енергосистема може зростати поступово. Малі енергосистеми також є технологічно нейтральними і в змозі впоратися з різноманітною сумішшю поновлюваних і генераторів, що працюють на викопному паливі.

- **Розширюваність:** Малі енергосистеми можуть просто зростати за рахунок встановлення додаткових генераторів, накопичувачів і навантажень. Таке розширення як правило, вимагає додаткового нового проектування малої енергосистеми і може бути виконане на паралельній і модульній основі з метою розширення до більших рівнів виробництва та споживання електроенергії.

- **Ефективність:** Централізована, а також структури контрольного контролера розподільчої малої енергосистеми може оптимізувати використання генераторів, керувати зарядкою і розрядкою накопичувачів енергії, а також керувати споживанням. Таким чином,

цілі управління енергоспоживанням можуть бути глибоко оптимізовані, наприклад, в економічних, а також екологічних аспектах.

- Економічна оцінка: За даними дослідження ринку, економічна оцінка рекуперації тепла і його застосування в системах ТЕЦ (когенерації) є дуже важливим для оцінки малих енергосистем. Крім того, використання поновлюваних джерел енергії дозволить знизити витрати на паливо і викиди CO<sub>2</sub>.

- Модель з'єднання рівноправних вузлів: Малі енергосистеми можуть підтримувати справжню модель з'єднання рівноправних вузлів функціонування, керування та торгівлі енергією. Крім того, узгоджені енергетичні операції з централізованою енергосистемою також можливі з цією моделлю. Пропонована концепція не диктує розмір, розширюваність і кількість вузлів і темпи зростання малої енергосистеми.

### **Висновок**

Системи Microgrid вже давно існують на військових базах і заводах. Сьогодні, такі системи є кульмінацією багатьох технологій розумної енергомережі. Безпека та надійність повинні залишатися пріоритетними для малої енергосистеми, як і енергомережі об'єднувати більше технологій розподіленої розумної енергомережі. Розробка таких як розумні вимірювачі, розподілені енергетичні ресурси, а також електричні транспортні засоби збільшує як можливі вигоди від Системи Microgrid, так і легкість, з якою вони можуть бути реалізовані і експлуатуватися.

Системи Microgrid обіцяють підвищену надійність і нові послуги (динамічне ціноутворення, керування розподілом енергетичних ресурсів) для споживача.

На додаток до цих обмежених вигод споживача, системи Microgrid приносять користь усій електроенергетичній системі, відкладаючи необхідність в традиційних центральних електростанціях і потужностям високовольтної передачі електроенергії і знижуючи втрати, які відбуваються сьогодні у зв'язку з великими відстанями між джерелами генерації і навантаженнями, які вони обслуговують. Системи Microgrid також мають великий потенціал для підвищення загальної надійності системи за рахунок здатності швидко реагувати і в локальній формі підтримати необхідний баланс потужностей під час малих і великих порушень нормального режиму роботи у енергосистемі.

### **Список використаних джерел**

1. Microgrids Research Assessment – Final Report, May 2006 – Navigant Consulting for US Department of Energy and Energy Commission of the State of California
2. Microgrids – Islanded Power Grids and Distributed Generation for Community, Commercial, and Institutional Applications, 4Q 2009 – Pike Research Report
3. The Smart Grid in 2010: Market Segments, Applications and Industry Players – David J. Leeds, GTM Research – July 2009
4. Integration of Distributed Energy Resources – The CERTS Micro Grid Concept, October 2003. Prepared by CERTS (Consortium for Electric Reliability Technology, USA) Solutions Program Office, Lawrence Berkeley National Laboratory
5. Control and Design of Microgrid Components – Power Systems Engineering Research Center (PSERC), 2006 / Final Project Report / R. H. Lasseter, P. Piagi / University of Wisconsin-Madison

6. A Review of Existing Microgrid Architectures , 2009/Lubna Mariam, Malabika Basu, Michael F. Conlon
7. Overview of DoE Microgrid Activities. P. Agrawal – Office of Electricity Delivery and Energy Reliability – Montreal 2006 Symposium on Microgrids
8. A Larger Role for Microgrids. G. Venkataramanan, C Marnay – IEEE Power & Energy magazine May/ June 2008
9. Policymaking for Microgrids. C. Marnay, H. Asano, S. Papathanassiou, G. Strbac – IEEE Power & Energy magazine May/June 2008
10. IEEE Standard 1547™, IEEE Standard for Distributed Resources Interconnected with Electric Power Systems and all other new and revised parts of this standard [IEEE 1547.1–1547.8]
11. Microgrids – An Overview of Ongoing Research, Development, and Demonstration Projects by Nikos Hatziargyriou, Hiroshi Asano, Reza Iravani, and Chris Marnay – IEEE Power & Energy magazine July/August 2007
12. MICROGRIDS – Part of the European Research Project Cluster “Integration of RES + DG” of the EU projects SUSTELNET, DGNET, INVESTIRE, DISPOWER, CRISP and DGFACTS. All related reports
13. EU – More Microgrids – Advanced Architectures and Control Concepts for More Microgrids – European Research Project

УДК 697.9

Єрмолаєнко Д.П., Суходуб І.О.  
керівник: Ковальчук А.М.

### АНАЛІЗ ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ВПРОВАДЖЕННЯ РЕКУПЕРАТИВНИХ СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦІЇ LOSSNAY

*В статті визначаються та аналізуються техніко-економічні показники роботи пластинчатих мембранних рекуператорів в системах вентиляції з використанням детальних метеорологічних даних для м. Києва.*

*Ключові слова: низько потенційне тепло, рекуперативний система вентиляції, повна, явна та прихована теплота, економія енергоресурсів, термін окупності.*

Єрмолаєнко Д.П., Суходуб І.О.  
руководитель: Ковальчук А.М.

### АНАЛИЗ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ВНЕДРЕНИЕ РЕКУПЕРАТИВНЫХ СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦИИ LOSSNAY

*В статье определяются и анализируются технико-экономические показатели работы пластинчатых мембранных рекуператоров в системах вентиляции с использованием детальными метеорологических данных для г. Киева.*

*Ключевые слова: низко потенциальное тепло, рекуперативный система вентиляции, полная, явная и скрытая теплота, экономия энергоресурсов, срок окупаемости.*

Iermolaienko D., Sukhodub I.  
Supervisor: Kovalchuk A.

### ANALYSIS OF TECHNICAL AND ECONOMIC PARAMETERS OF VENTILATION REGENERATIVE SYTSEM LOSSNAY

*The paper identifies and analyzes technical and economic performance of the plate membrane heat recovery units in ventilation systems operation using detailed meteorological data for Kyiv.*

*Key words: low-potential heat, heat recovery ventilation system, complete, clear and latent heat, energy savings, payback period.*

#### Вступ

Робота майже будь-якого підприємства супроводжується викидами низькопотенційного тепла, значну частку якого становлять вентиляційні викиди. Низькотемпературне повітря від місцевих систем вентиляції, загальнообмінної системи вентиляції містить значну кількість теплової енергії, яку в умовах енергетичної і екологічної кризи потрібно утилізувати. З огляду на те, що кожна місцева система має свій окремий повітропровід викиду, а сумарна кількість таких викидів може становити більше 50 % розрахункового повітрообміну, то використання традиційних припливно-витяжних агрегатів із вмонтованими рекуператорами не завжди доцільне. У сучасних літературних джерелах розглядають утилізацію низько потенційних джерел тепла вентиляційного повітря за допомогою роторних і пластинчастих рекуператорів. [1].

Після встановлення сучасних металопластикових вікон, які безперечно мають дуже хороші енергозберігаючі і звукоізоляційні властивості, багато хто з нас виявив їх негативну, але дуже важливу для здоров'я і хорошого самопочуття людей сторону – вони значно погіршують вентиляцію приміщень.

Спроби забезпечувати повітрообмін за допомогою систем витяжної вентиляції не привели до покращення умов в приміщенні, так як можуть спричинити незбалансованість витрат

припливного і витяжного повітря. Якщо ж регулювати повітрообмін за рахунок відкриття/закриття кватирок, то це приведе до переохолодження приміщення (збільшення навантаження на систему опалення).

Одним із шляхів зменшення енергоємності систем вентиляції, а відповідно і підвищення їх ефективності є використання повітря, яке видаляється з приміщення, для нагрівання припливного повітря за допомогою теплоутилізаторів.

В даній статті розглядаються рекуперативні пластинчасті теплообмінники, тому що вони представляють найбільш доступний спосіб впровадження енергозберігаючих технологій при встановленні нових та реконструкції існуючих систем вентиляції шляхом обміну теплоти між витяжним і припливним повітрям. До того ж, їх встановлення можливе без заміни основних вузлів системи вентиляції. Рекуперативні теплообмінники виконуються у вигляді пакетів пластин, які розташовані таким чином, що вони утворюють два суміжні канали. По одному з них рухається витяжне повітря, по іншому – припливне. Основними перевагами таких утилізаторів є: простота конструкції та відсутність рухомих частин; виключення потрапляння витяжного повітря у припливне; легкість технічного обслуговування; незначне додаткове споживання електричної енергії на приводи вентиляторів. Основними недоліками є: використання тільки при пересіканні припливного та витяжного повітропроводів; можливість обмерзання теплообмінника у зимових період. В залежності від конструктивного виконання ефективність пластинчастих теплообмінників може знаходитися у діапазоні 50-80% та мати втрату напору в припливному та витяжному каналах від 50 до 250 Па. Захист рекуперативних теплообмінників від утворення інею в каналі витяжного повітря забезпечується попереднім підігрівом припливного повітря, регулюванням витрат припливного чи витяжного повітря та періодичним розморожуванням теплообмінника. В якості матеріалу теплообмінника може використовуватися ультратонка полімерна мембрана або спеціально оброблений папір, основна перевага якого є утилізація явного і прихованого тепла витяжного повітря [2].

### **Способи оцінки ефективності теплоутилізаторів**

Існують декілька способів оцінки ефективності утилізаторів теплоти [3]. В даній роботі робимо оцінку за допомогою коефіцієнтів ефективності теплообмінників, таких як: повній, явній та прихованій теплоті. Також є спосіб на основі ексергетичного ккд, що враховує ексергію потоку повітря та затраченої електричної енергії [4]. Ефективність утилізаційної установки також можливо оцінити за техніко-економічними показниками, наприклад, очікуваним терміном окупності додаткових капітальних затрат для різних типів теплоутилізаторів, значень їх ефективності, вартості і аеродинамічного опору. В даній статті розглядається оцінка ефективності теплоутилізатора на основі техніко-економічних показників.

Досліджувані установки це модельний ряд напівпромислових рекуперативних установок компанії Mitsubishi Electric [5] : LGH-15RX5-E, LGH-25RX5-E, LGH-35RX5-E, LGH-50RX5-E, LGH-65RX5-E, LGH-80RX5-E, LGH-100RX5-E, LGH-150RX5-E, LGH-200RX5-E, які представляють собою каналну вентиляційну установку, яка складається з перехресно-струминного теплообмінника, припливного і витяжного вентиляторів, системи автоматики, байпасного пристрою та фільтрів, призначену для котеджів, квартир та досить великих офісів.

### **Опис роботи теплоутилізатора при різних температурах**

Згідно характеристик установки розглядаються такі температурні режими роботи:

- при температурах зовнішнього повітря в діапазоні  $t_{OA} = (-10 \dots -15) ^\circ\text{C}$  через кожні 60 хвилин роботи припливний вентилятор вимикається на 10 хвилин та теплообмінник

продувається теплим витяжним повітрям (для запобігання загрози замерзання теплообмінника);

- при температурах  $t_{OA} < -15$  °C передбачається наявність попереднього нагріву (по датчику температури зовнішнього повітря). Для розрахунку потужності нагрівача та утилізованого теплового потоку було прийнято, що температура перед теплообмінником  $t_{OA} = -9,9$  °C, і теплоту підігріву у розрахунок не вносимо.

### Показники енергетичної ефективності установки

Розрахунок утилізованої теплової енергії був проведений для усіх температур нижче 16 °C, тобто виходячи за рамки опалювального сезону. З огляду на режим роботи теплоутилізатора за добу в приміщенні громадської будівлі: 24 години, і 9 годин (з 8 до 17 години).

Величина економії теплової енергії на опалення з урахуванням ентальпійного коефіцієнту ефективності визначалася [6]:

$$W_{total} = \sum_{i=k}^l \sum_{j=m}^n \left[ G_{ij} (h_{ij,RA} - h_{ij,OA}) \varepsilon_h \cdot K_{ij,1} \right] \cdot \tau, \quad (1)$$

де  $i$  – календарна доба року;

$j$  – календарна година доби року; розглядається 2 варіанти: 9-ма ( $m=8, n=17$ ), і 24-ох годинний ( $m=1, n=24$ ) режими роботи установки;

$G_{ij}$  – мінімальне з двох значень масової витрати витяжного або припливного повітря для кожної години, кг/с;

$h_{ij,RA}$  і  $h_{ij,OA}$  – півгодинні значення ентальпії повітря всередині приміщення і ззовні, кДж /кг;

$\varepsilon_h$  – ентальпійний коефіцієнт ефективності по повній теплоті [6]:

$$\varepsilon_h = \frac{h_{SA} - h_{OA}}{h_{RA} - h_{OA}}, \quad (2)$$

де  $h_{SA}$  – півгодинне значення ентальпії припливного повітря, кДж/кг·год;

$K_{ij,1}$  – коефіцієнт, який враховує відключення установки для попередження утворення інею:

- при  $t_{OA} < -15$  °C і  $t_{OA} > -10$  °C  $K_{ij,1} = 1$ ; при  $-15$  °C  $\leq t_{OA} \leq -10$  °C  $K_{ij,1} = \frac{60}{70}$ ;

$\tau$  – крок розрахунку, 1 год.

Величина явної утилізованої теплової енергії з урахуванням температурного коефіцієнту ефективності визначалася [6]:

$$W_{sensible} = \sum_{i=k}^l \sum_{j=m}^n \left[ G_{ij} \cdot c_p (t_{ij,RA} - t_{ij,OA}) \varepsilon_t \cdot K_{ij,1} \right] \cdot \tau, \quad (3)$$

де  $t_{ij,RA}$  і  $t_{ij,OA}$  – півгодинні значення температури повітря всередині приміщення і зовні, °C;

$c_p$  – значення середньої ізобарної теплоємності повітря, кДж/кг·°C;

$\varepsilon_t$  – температурний коефіцієнт ефективності по явній теплоті [6]:

$$\varepsilon_t = \frac{t_{SA} - t_{OA}}{t_{RA} - t_{OA}}, \quad (4)$$

де  $t_{SA}$  – температура припливного повітря, °C.

Величина прихованої утилізованої теплової енергії з урахуванням коефіцієнту ефективності по вологовмісту визначалася [6]:

$$W_{latent} = \sum_{i=k}^l \sum_{j=m}^n \left[ G_{ij} \cdot r (d_{ij,RA} - d_{ij,OA}) \varepsilon_d \cdot K_{ij,1} \right] \cdot \tau, \quad (5)$$

де  $d_{ij,RA}$  і  $d_{ij,OA}$  - півгодинні значення вологовмісту повітря всередині приміщення і зовні, кг/кг;

$r$  - теплота пароутворення, кДж/кг;

$\varepsilon_d$  - коефіцієнт ефективності по вологовмісту [6]:

$$d_t = \frac{d_{SA} - d_{OA}}{d_{RA} - d_{OA}}, \quad (6)$$

де  $d_{SA}$  – вологовміст припливного повітря, кг/кг.

### Вихідні дані і параметри для проведення оцінки ефективності

Для розрахунку систем вентиляції необхідні наступні вихідні дані: параметри навколишнього повітря (які є різними, в залежності від пори року) та параметри повітря всередині приміщення. Параметри всередині приміщення за умови ефективної роботи системи опалення будуть відповідати встановленим нормам [7], параметри зовнішнього повітря постійно змінюються.

Для розрахунку величини утилізованої теплоти були взяті погодинні метеорологічні дані за 2012 рік у м. Києві [8] (температура, відносна вологість, барометричний тиск). Дослідження техніко-економічних показників роботи установки проведено з використанням календарних півгодинних значень температури та вологості зовнішнього повітря.

При визначенні техніко-економічних показників враховані затрати електроенергії на електроприводи припливного та витяжного вентиляторів.

### Параметри повітря в приміщенні

Для проведення розрахунку прийнято параметри, які занесені до табл. 1. (наводиться установка LGH-15RX5-E).

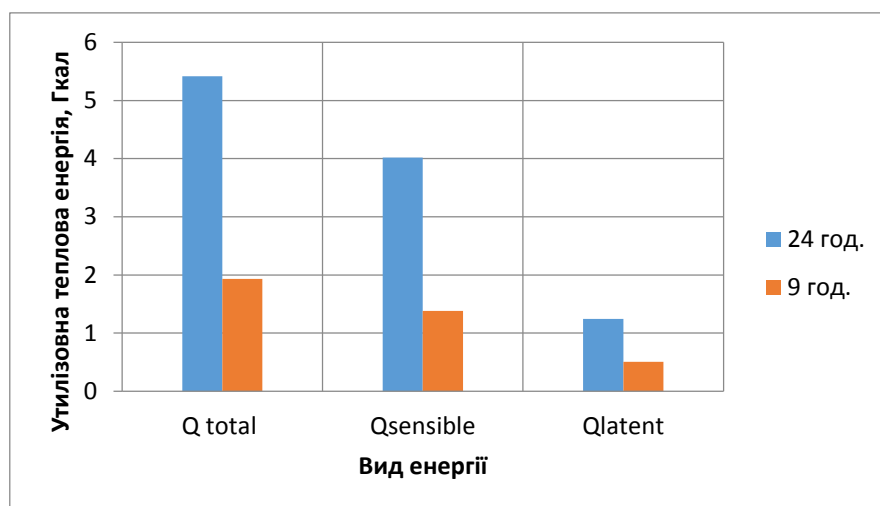
Таблиця 1 – Вихідні дані

Назва параметру	Одиниці вимірювання	Значення
Температура в приміщенні в холодний період року	°C	22
Відносна вологість повітря в приміщенні	%	50
Витрата повітря	м <sup>3</sup> /год	150
$\varepsilon_h$	-	0,75
$\varepsilon_t$	-	0,82

### Результати розрахунку

На рис.1 зображена повна, явна та прихована утилізована енергія в приміщенні в залежності від тривалості роботи теплоутилізаційної установки LGH-15RX5-E, виражена у Гкал. Величини утилізованої енергії та затрати на приводи вентиляторів представлені в табл. 2, та будуть використані для розрахунку економії грошових коштів і терміну окупності впровадження даної установки.





**Рисунок 1 – Повна, явна та прихована утилізована теплова енергія за 2012 рік в залежності від режиму роботи теплоутилізатора**

**Таблиця 2 – Усереднена утилізована теплова енергія за 2012 рік та електроенергія на приводи вентиляторів**

Режим роботи теплоутилізатора	$W_{TOTAL}$ , Гкал/ кВт·год	$W_{SENSIBLE}$ , Гкал/ кВт·год	$W_{LATENT}$ , Гкал/ кВт·год	$W_{FAN}$ , кВт·год
24 години	5,42 / 6300	4,02 / 4675	1,25 / 1450	522
9 годин	1,93 / 2246	1,38 / 1605	0,51 / 588	184

Наведені в діаграмах і таблицях результати обчислень показують, що більша величина утилізованої енергії буде при 24-годинному режимі роботи теплоутилізатора. Так як, за рахунок того, що протягом року спостерігається незначна повторюваність температур  $t_{OA} \leq -15$  °С, то затрати енергії на попередній нагрів складають незначну частину від утилізованої енергії (близько 1%).

### Економія грошових коштів і терміни окупності

При розрахунку економії грошових коштів розглядається два варіанти:

- економія теплової енергії від мережі тепlopостачання;
- економія електроенергії при заміщенні електричного опалення.

Величина економії грошових коштів визначається за наступним виразом [9]:

$$E = W_{TOTAL} \cdot T_{HEAT/EL} - W_{FAN} \cdot T_{EL}, \quad (7)$$

де  $W_{TOTAL}$  - утилізована енергія, Гкал або кВт·год;

$T_{HEAT/EL}$  - тариф, відповідно, на теплову або електричну енергію, грн./Гкал або грн./кВт·год;

$W_{FAN}$  - споживана електроенергія приводами вентиляторів.

Тарифи на електричну та теплову енергію були взяті на сайті ПАТ «Київенерго» для юридичних споживачів [10], а вартість припливно-витяжної установки - у офіційних дилерів-виробників [11].

Розрахунки економії грошових коштів і терміни окупності установки LGH-15RX5-E наведені в табл. 3.

**Таблиця 3 – Економія грошових коштів**

Режим роботи теплоутилізатора	$E_{тепл}$ , грн./ $T_{ок}$ , роки	$E_{ел.ен}$ , грн./ $T_{ок}$ , роки

24 години	4680 / 2,65	6934 / 1,77
9 годин	1670 / 7,42	2473 / 4,97

Результати розрахунків термінів окупності для інших моделей Lossnay, з урахуванням режимів роботи та типу енергії, наведені на рис. 2

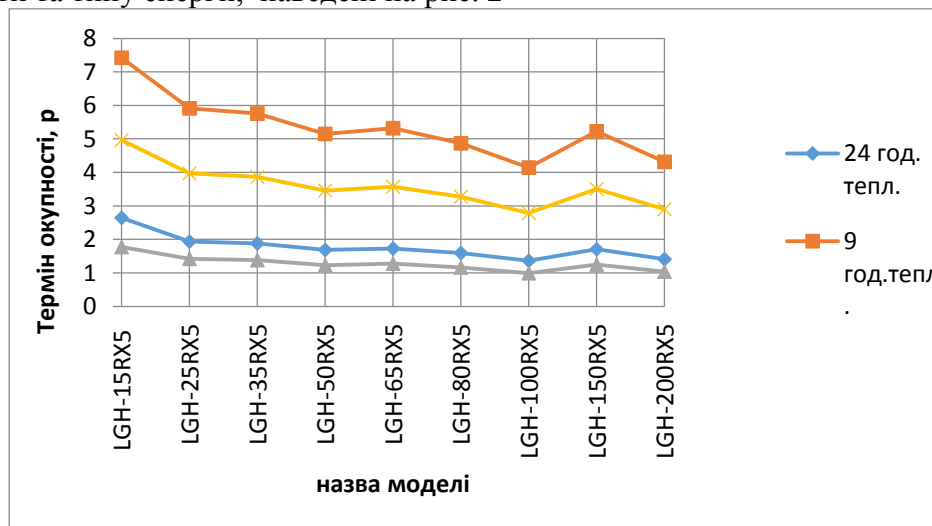


Рисунок 2 – Терміни окупності установок Lossnay

### Висновки

В результаті проведення техніко-економічного розрахунку буди визначені наступні енергетичні і економічні показники:

- Величина повної, явної та прихованої утилізованої теплової енергії з урахуванням ентальпійного, температурного та коефіцієнту ефективності по вологовмісту;
- Економія теплової енергії від мережі при умові застосування регуляторів на опалювальних приладах і приладів обліку та терміни окупності;
- Економія електроенергії при зменшенні потужності електрообігрівачів та терміни окупності.

При розгляданні варіанту заміщення електричної і теплової енергії, а також проведення розрахунків простих термінів окупності можна зробити висновок про те, що найшвидше установки даного типу окупиться при їх 24-годинному режимі роботи.

### Список використаних джерел

1. Справочник по теплообменникам: В2 т. Т. 1 / Пер. с англ. под ред. Б.С. Петухова, В.К. Шикова. М.: Энергоатомиздат, 1987. – 560 с.: ил.
2. R. Besant, C. Simonson, Air-to-Air Exchangers ASHRAE Journal April 2003 pp. 42-50
3. Липа А.И. Кондиционирование воздуха. Основы теории. Современные технологии обработки воздуха. Изд. Второе, перераб., доп., Одесса: ОГАХ, Издательство: «Издательство ВМВ», 2010. – 607 с., ил.
4. Рекуперация тепловой энергии в системах вентиляции и кондиционирования воздуха [Электронный ресурс], Е.П. Вишневский, электронный Энергосервисной компании «Экологические системы» №4, апрель 2008, [http://www.esco.co.ua/journal/2008\\_4/index.htm](http://www.esco.co.ua/journal/2008_4/index.htm)
5. <http://www.mitsubishi-aircon.ru>
6. Дешко В.І., Суходуб І.О., Нагорна С.О. Ефективність утилізації теплоти в рекуперативних теплообмінниках систем вентиляції. – Енергетика та електрифікація, 2010, №12, с.37-43.

7. СНіП 2.04.05-91\*. Отопление, вентиляция и кондиционирование. К. 1996, - 89 с.
8. [www.meteocenter.net](http://www.meteocenter.net)
9. Иванов О.П., Рымкевич А.А. Методика комплексной оценки эффективности использования утилизации тепла и холода в системах кондиционирования воздуха. – Холодильная техника, 1980, №3, с.34-38.
10. Офіційний сайт ПАТ «Київенерго» - <http://kyivenergo.ua/>
11. Kievclimate.com

УДК 621.311.1

**Федосенко М. М., Астахов Д. Г., Бойко І. Ю.**  
**ВИКОРИСТАННЯ ПАКЕТУ ПРОГРАМ POWERFACTORY 14.1 У ВИРІШЕННІ**  
**ЗАДАЧ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНОЇ**  
**СИСТЕМИ**

*У роботі розглянуто програмний комплекс PowerFactory 14.1, його основні функції, області застосування, проаналізовано можливість використання для моделювання процесів електроенергетичних систем та їх математичного аналізу.*

*Ключові слова: PowerFactory; пакет програм; HOMER; Hybrid2; моделювання.*

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПАКЕТА ПРОГРАММ POWERFACTORY 14.1 ПРИ РЕШЕНИИ**  
**ЗАДАЧ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ**  
**СИСТЕМЫ**

*В работе рассмотрен программный комплекс PowerFactory 14.1, его основные функции, области применения, проанализирована возможность использования для моделирования процессов электроэнергетических систем и их математического анализа.*

*Ключевые слова: PowerFactory; пакет программ; HOMER; Hybrid2; моделирование.*

**USING THE SOFTWARE PACKAGE POWERFACTORY 14.1 IN SOLVING PROBLEMS**  
**OF MATHEMATICAL MODELING OF ELECTRIC POWER SYSTEM**

*The article examines a software complex PowerFactory 14.1, its basic functions, field of application, is analyzed opportunity of use for modeling the electrical power systems processes and their mathematical analysis.*

*Key words: PowerFactory; software package; HOMER; Hybrid2; modeling.*

**Вступ**

Проектування електронних систем потребує здійснення комп'ютерного моделювання перед подальшою фізичною реалізацією, і на цьому етапі виникають питання аналізу електромагнітних, енергетичних та інших процесів для різних режимів роботи перетворювачів електроенергії (ПЕЕ).

При проектуванні ПЕЕ часто проводять обчислювальні експерименти, а саме вирішують пряму задачу аналізу (розраховуючи миттєві значення струмів та напруги елементів схеми, інтегральні характеристики) та обернену задачу (розраховуючи керуючі впливи та джерела напруги та струму, необхідні для отримання заданих сигналів на навантаженні). Також вирішують задачу синтезу, коли за заданими вхідними та вихідними впливами обирається структура схеми та параметри її елементів. Функціональні можливості сучасних програм дають змогу моделювати процеси з великим ступенем адекватності результатів, у тому числі і у випадках, коли необхідно обробити велику кількість змінних. Наприклад, оцінити роботу схеми на інтервалах малої тривалості при комутації напівпровідникових ключів, під час аварійних процесів тощо. Це особливо важливо, коли є потреба у відстежуванні процесів у режимі реального часу.

Програмних комплексів нині існує велика кількість, найбільш поширеними у світовій практиці є Pspice і його модифікації та Matlab. Разом з тим існує чимало інших програм, що на відміну від названих є орієнтованими на більш конкретні завдання. Це такі об'єктно-орієнтовані програми як HOMER і Hybrid2. Далі про них розповімо детальніше.

За допомогою стандартних блок-схем програмних модулів створюються моделі систем з можливістю інтерактивного отримання діаграм напруги, струму та потужності у обраних

точках. Після компілювання отримана схема може бути приєднана до інтернет- сайту у вигляді html-файлу. Близьким за типом вирішуваних задач є пакет програм від компанії International Rectifire – IR Ballast Designer. Особливість програми полягає в тому, що на основі бази компонентів компанії International Rectifire будуються графіки навантажень та роботи системи, яка складається з системи керування, генератора та навантаження. Будь-який з названих вище компонентів може варіюватися. Після обрахунку робочої схеми надається список з усіх необхідних компонентів.

HOMER Energy було розроблено для надання допомоги в розробці систем розосередженої генерації і для полегшення порівняння технологій виробництва електроенергії у широкому діапазоні використання. Дана розробка була здійснена Національною лабораторією відновлюваної енергії США (NREL) була розроблена комп'ютерна оптимізаційна модель електроенергетичної системи, яка отримала назву HOMER Energy. [<http://www.homerenergy.com/>]

Для уникнення можливих складнощів в роботі, а також щоб зробити оптимізаційні обчислення і аналіз чутливості більш швидкими, модель програми менш докладна, ніж у програми Hybrid2. З іншого боку, HOMER Energy більш докладний, ніж статистичні моделі, які не виконують моделювання часових рядів. З поміж них HOMER Energy є найбільш гнучким з точки зору різноманітності систем, які він може моделювати.

HOMER Energy дозволяє моделювати багато різних варіантів структур системи для порівняння, моделюється як фізичні так і економічні характеристики системи, що допомагає в розумінні і кількісній оцінці ефекту при змінних вихідних даних (Sensitivity analysis).

HOMER Energy може моделювати широкий спектр конфігурацій систем розосередженої генерації, що включають будь яку комбінацію з масиву фотоелементів, однієї або декількох вітрових турбін, гідротурбін, дизель генераторів, акумуляторних батарей, AC-DC перетворювачів, електролізера і баку для зберігання водню. Система може бути підключеною до централізованої мережі або бути автономною і може покривати навантаження постійного і змінного струму, а також теплове навантаження.

Аналіз і проектування систем розподіленої генерації ускладнюється через велику кількість складових, з використання альтернативних джерел енергії що суттєво ускладнює побудову системи, через недостатню вихідну потужність або її непостійність, сезонність, відсутність диспетчеризації. Все це разом з високою ціною ставить під сумнів використання відновлюваних джерел енергії. HOMER Energy був розроблений для подолання цих проблем.

HOMER Energy виконує три основні задачі:

- моделювання;
- оптимізація;
- аналіз чутливості.

Під задачею моделювання мається на увазі що програмою моделюється виконання заданої системи, можливість її функціонування, з метою перевірки її технічної валідності та вартості життєвого циклу.

В процесі оптимізації здійснюється моделювання велика кількість системних конфігурацій побудованих на різних варіантах застосування елементів заданих на першому етапі. Під час виконання даного етапу здійснюється пошук такої конфігурації системи, яка б за своїми техніко-економічними показниками, і своїм життєвим циклом була найбільш вигідною.

Під час аналізу чутливості HOMER Energy виконує багаторазову оптимізацію, в діапазоні який був заданий при введенні початкових даних. Дана процедура дозволяє оцінити цінність змінних, наявних на початковому етапі, що присутні по кожному елементу даних.

Також аналіз чутливості допомагає оцінити ефекти непостійності або варіативності змінних, на які ми не можемо впливати, наприклад швидкість вітру, ціна на пальне.

Аналогом HOMER Energy є програма Hybrid2. Hybrid2 – це ймовірнісна комп'ютерна модель, що використовує такі вихідні дані: навантаження, швидкість вітру, сонячна інсоляція, температура і потужність системи, обраної користувачем, щоб спрогнозувати продуктивність гібридної енергетичної системи. Зміни швидкості вітру та навантаження у кожен момент часу враховуються при прогнозуванні продуктивності.

Опрацьовуючи великі обсяги інформації про нетрадиційні відновлювальні джерела енергії програма дозволяє знайти оптимальний варіант побудови системи електропостачання з точки зору технічних та економічних аспектів.

Головними недоліками Hybrid2 є відсутність інтеграції з базами NASA, складний інтерфейс, відсутність розрахункових інструментів та більш складний алгоритм роботи (робота з програмою потребує апаратне забезпечення високого рівня).

Програмний комплекс PowerFactory, розроблений компанією DIgSILENT, найкраще підходить для моделювання процесів у електроенергетичних системах, оскільки є гнучким інструментом для аналізу передавальних, розподільних та промислових електричних систем. Він був розроблений як вдосконала інтегрована та інтерактивна система програмного забезпечення, призначена для електричних систем і аналізу систем керування для досягнення основних цілей планування та оптимізації режимів.

Назва DIgSILENT означає "Цифрова програма моделювання і розрахунку електричних мереж, DIgSILENT версії 7 був першою в світі інформаційною системою аналізу з інтегрованим графічним однолінійним інтерфейсом. Ця інтерактивна однолінійна схема включала функції малювання, редагування і всі пов'язані з нею статичні та динамічні розрахункові функції. Точність та достовірність результатів, отриманих за допомогою цього програмного забезпечення, було підтверджено багатьма впровадженнями, котрі виконали організації, які займаються плануванням та експлуатацією електроенергетичних систем.

Для задоволення сучасних вимог аналізу електричних систем, програмний комплекс PowerFactory розроблено як інтегрований інженерний інструмент, котрий забезпечує простий доступ до всіх доступних функцій, замість набору різних програмних модулів.

### **Функції PowerFactory**

PowerFactory включає постійно зростаючий перелік підтримуваних функцій для вирішення прикладних завдань:

1. Розрахунок симетричних та несиметричних сталих режимів, струмів короткого замикання для одно-, дво- та трифазних мереж змінного струму та мереж постійного струму.
2. Моделювання станційних, групових та первинних регуляторів, автоматичного регулювання частоти, активної потужності, зокрема, для завдання розподілу небалансу активної потужності між електростанціями та аналізу післяаварійних усталених режимів при розрахунку навантаження для блоків.
3. Аналіз режимів напруг та планування резервів реактивної потужності за допомогою методів PU- та QU-кривих, UQ - чутливості та модального аналізу Якобіана.
4. Оптимізація (лінійна та нелінійна) режимів електроенергетичних систем з низкою обмежень, включаючи перетікання по перетинах, межі регулювання реактивної потужності станційними регуляторами, активної - регуляторами АРЧМ тощо.
5. Аналіз низьковольтних та оптимізація розподільчих мереж.

6. Моделювання електромагнітних та електромеханічних перехідних процесів, розрахунки статичної та динамічної стійкості.
7. Створення моделей регуляторів для конкретних груп споживачів, наприклад, АРВ та ідентифікація їх параметрів за даними натуральних випробувань.
8. Розрахунок, моделювання та координація систем РЗА, пристроїв силової електроніки, FACTS.
9. Моделювання та аналіз обважнених та аварійних режимів, N-1, Nm.
10. Застосування та використання різних інтерфейсів, інтеграції з системами WAMS, SCADA, ГИС, БД.
11. Розрахунок та аналіз надійності, гармонійний аналіз.
12. Сумісність з іншими програмними продуктами, наприклад: NEPS, PSS / E, PSS / U, Adept, NEPLAN і DVG.
13. Одночасна on-line робота багатьох користувачів.

### **Концепції**

Концепції, закладені при створенні програмного забезпечення, роблять його найбільш гнучким та надійним інструментом комп'ютерного моделювання та аналізу електричних систем та мереж.

Функціонально інтегрований програмний комплекс, являє собою єдиний модуль, повністю сумісний з операційними системами Windows 95/98/2000/XP/7. Такий підхід дозволяє PowerFactory уникнути рутинних процедур перенесення даних між різними програмами, які виконують різнотипні розрахунки, наприклад, розрахунок поточкорозподілу потужності, струмів короткого замикання тощо.

PowerFactory є вертикально інтегрованим програмним комплексом, що дозволяє використовувати єдиний програмний "двигун" та інтерфейс PowerFactory для різних додатків і сегментів ринку: генерація, передача, розподіл електроенергії та споживання.

Інтегрована база даних позбавляє користувача від вирішення питань з організації та підтримки структур файлів і каталогів. Використання концепції єдиної інтегрованої бази даних означає, що всі дані програми (графіка, параметри, результати, умови виконання, опції розрахунків, повідомлення тощо) зберігаються в одній базі даних. Додатково передбачено механізми перевірки цілісності бази, резервного копіювання та відновлення, а також режими одночасного для багатьох користувачів доступу до даних, котрі зберігаються на сервері.

Концепція керування проектами дозволяє користувачеві легко переходити від аналізу одного варіанта розробки системи до іншого, порівнювати варіанти, що в підсумку підвищує продуктивність роботи та допомагає уникнути помилок, пов'язаних з дублюванням інформації.

### **Різні режими роботи**

Програмний комплекс працює в повністю графічному віконному середовищі, реалізуючи найбільш сучасний та інтуїтивно зрозумілий графічний інтерфейс користувача. Передбачені окремі вікна для відображення результатів розрахунку, однолінійних схем мережі, детальних схем з'єднання підстанцій, таблиць вихідних даних тощо.

В інтерактивному режимі користувач може працювати з системою, за допомогою командного рядка. Цей режим дозволяє також створювати відповідні послідовності команд, процедури та зберігати їх у спеціальних файлах. Таким чином, за допомогою простої вбудованої мови програмування (DPL) реалізується пакетний режим роботи системи. Останнє особливо є необхідним при вирішенні складних завдань, що вимагають розрахунків багатьох режимів та їх автоматизованого аналізу.

Фоновий режим роботи дозволяє програмі працювати в багатозадачному середовищі. Цей режим необхідний при спільній роботі PowerFactory з іншими системами.

Потужний графічний редактор підтримує велику кількість графічних функцій, таких як багатшаровість, автоматична генерація типових схем підстанцій, умовно залежне забарвлення елементів, масштабування, візуальна ідентифікація тощо.

Система документування проектів автоматично формує звіти, заповнюючи готові шаблони результатами розрахунків. Існує можливість побудови власних шаблонів звітів. Всі дані можуть бути імпортовані або експортовані в інші формати зберігання. Табличні дані можуть бути конвертовані в формат MS Excel або Access, а обмін графічними даними з іншими додатками може здійснюватися через BMP або WMF формати.

### Інтерфейс користувача

У головному вікні програми можна виділити графічне вікно, в якому креслиться схема електричної мережі, та вікно результатів, де виводяться результати розрахунків та службові повідомлення.

На рис 1 зображено вигляд головного вікна програми.

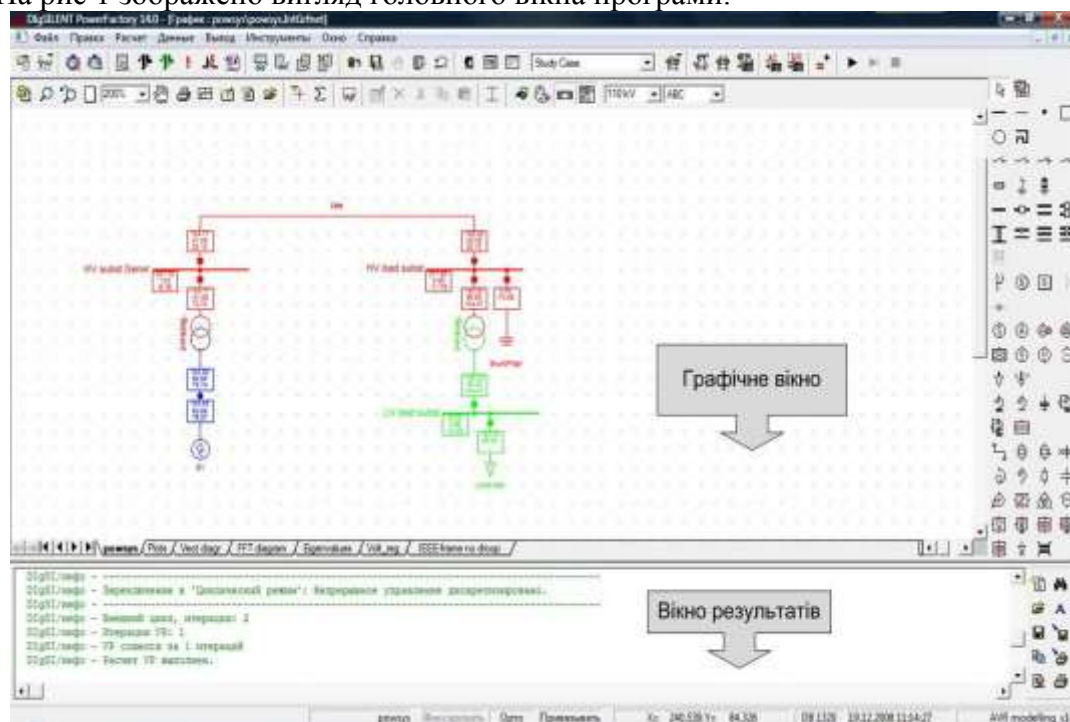


Рис.1. Головне вікно програми

Всі дані об'єктів (генератор, трансформатор, лінія електропередач тощо) мають ієрархічну структуру та впорядковані в папках з метою покращення навігації. Для перегляду даних та їх організації використовується менеджер даних (рис 2).



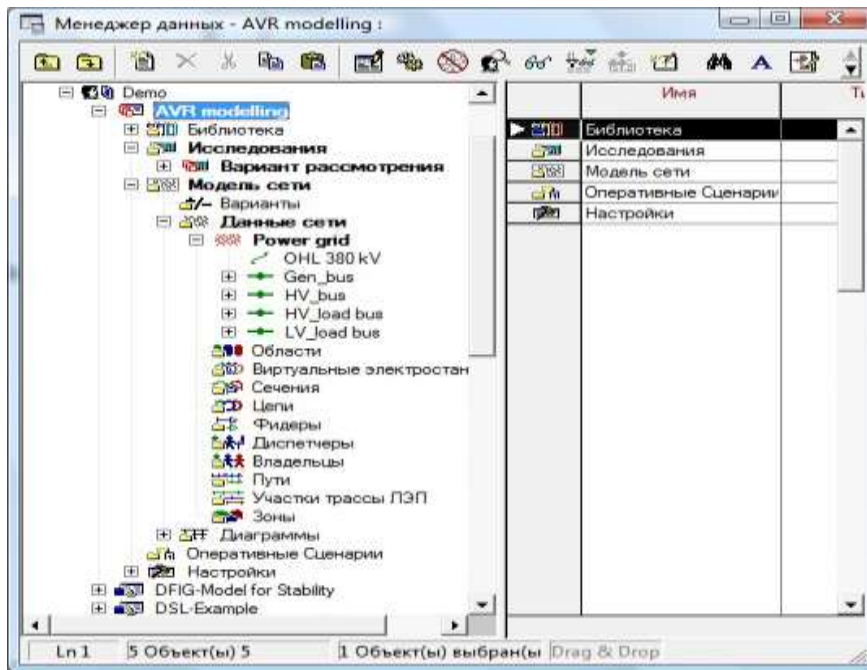


Рис. 2. Менеджер даних

Таким чином, доступ до даних об'єкту може бути здійснено в діалоговому вікні, яке можна відкрити подвійним натисканням мишки на відповідному зображенні об'єкта, дані якого необхідно редагувати, або в Менеджері даних.

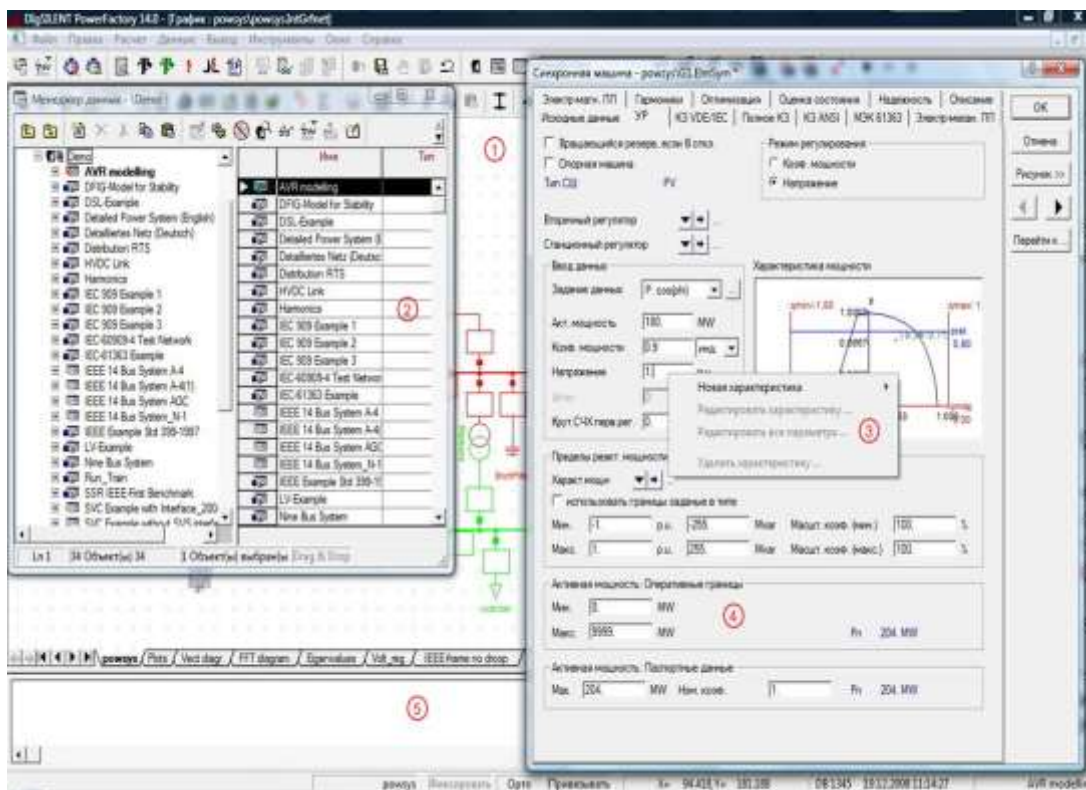


Рис. 3. Робочий простір PowerFactory

Робочий простір PowerFactory показано на рис 3, де умовно можна виділити наступні елементи:

1. Вікно графічного редактора, в якому зображуються однолінійні схеми, блок-схеми та графічні залежності для поточного проекту. У вікні графічного редактора можна коригувати параметри електроенергетичної і, що досліджується, шляхом розміщення її елементів у вікні графічного редактора та з'єднання їх між собою;
2. Менеджер даних є інтерфейсом з базою даних. На лівій панелі, зображеній на рис 3 показано символічне ієрархічне зображення бази даних. На правій панелі знаходиться браузер даних, в якому відображається зміст обраної папки.
3. При натисканні на об'єкті правою кнопкою мишки з'являється контекстно-залежне меню.
4. При подвійному натисканні на об'єкті з'являється діалогове вікно, в якому визначаються параметри об'єкта.
5. Внизу вікна PowerFactory знаходиться вікно результатів з власною панеллю інструментів.

### Програмування

Типові програмні функції:

1. Розрахунок втрат електроенергії.
2. Аналіз пропускної здатності.
3. Автоматична координація захистів.
4. Моделювання.
5. Протиаварійна автоматика.
6. Програмований імпорт-експорт даних.

### Ліцензія та рівні доступу

DIgSILENT PowerFactory з самого початку був розроблений як завершений програмний продукт для досвідченого користувача. Таким чином, не існує яких-небудь "полегшених" версій, ніяких обрізків від "повних" версій. Однак це не означає, що PowerFactory поставить недосвідченого користувача в глухий кут. Програма є інтуїтивно зрозумілою навіть для новачків. Користувачі, які вивчають електричні системи, спроможні легко та швидко виконувати розрахунки сталих режимів і коротких замикань без необхідності освоювати нагромадження математичних розрахунків. PowerFactory дозволяє користувачеві вивчати в першу чергу електричні системи, а не тонкощі персональних комп'ютерів: все що необхідно для впевненої роботи – це знання таких додатків Windows як Word і Excel.

Не кожна ліцензія PowerFactory включає повну функціональність, описану вище, а містить лише ті функції, які дійсно необхідні, за допомогою цього зменшуючи складність на початковому етапі. У міру необхідності в ліцензію можуть додаватися інші функції. Таким чином, користувач не повинен вивчати новий інтерфейс для нових функцій, а просто використовує нові команди в уже знайомому середовищі. В доповнення до цього, вихідна інформація про мережі буде використовуватися й надалі, а внести потрібно тільки додаткову інформацію, необхідну для використання нових функцій.

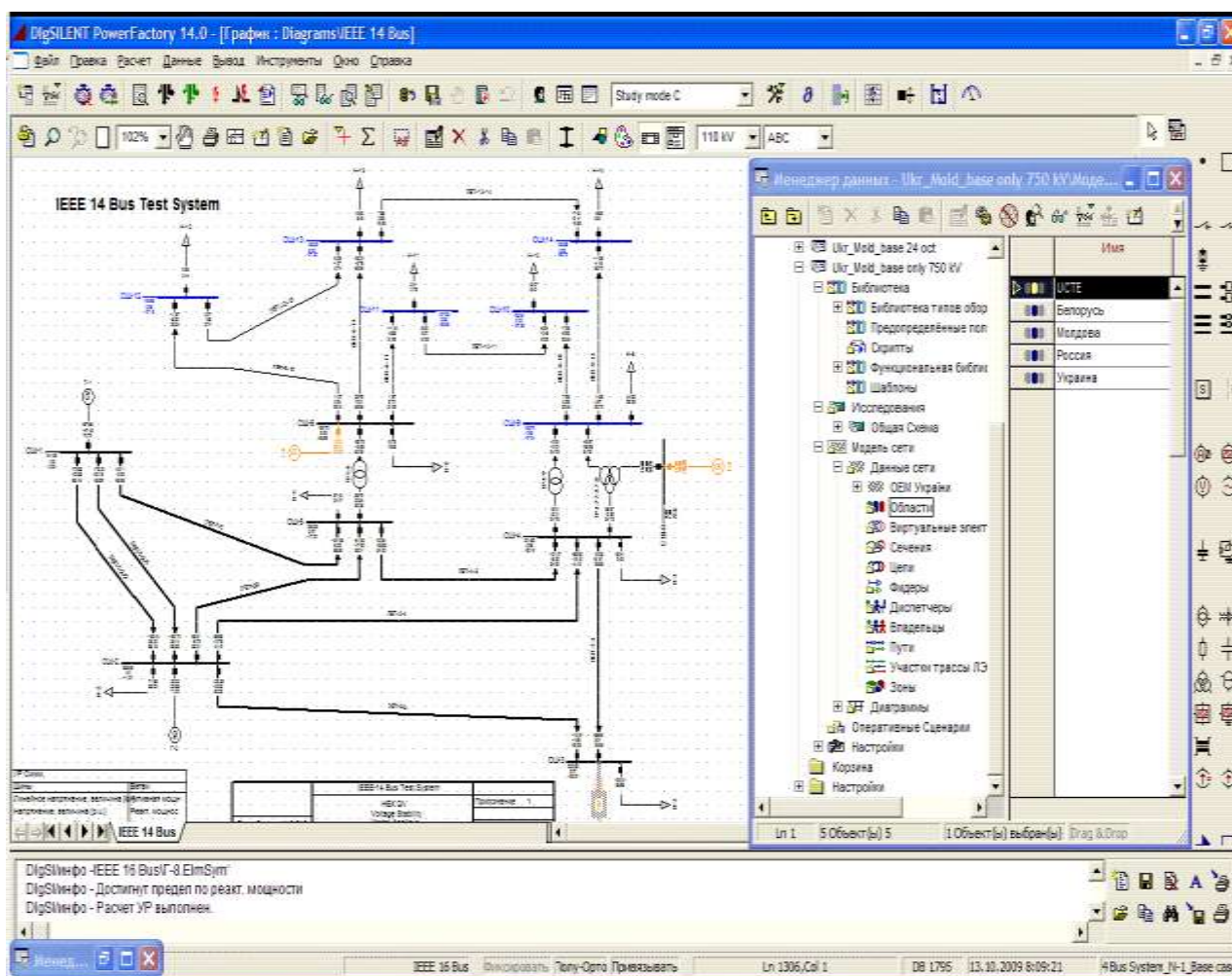


Рис. 4. Приклад аналізу тестової електроенергетичної системи IEEE 14-bus system у середовищі PowerFactory 14

### Досвід використання

Програмний комплекс PowerFactory вже понад 30 років використовується енергетиками більше ніж в 110 країнах світу, для вирішення всього спектру завдань планування та керування режимами електричних мереж і систем.

Оператори національних електроенергетичних систем – National Grid (Велика Британія), Terna (Італія), Tennet (Нідерланди), Western Power (Австралія), EnBW (Німеччина) та багато інших використовують PowerFactory для моделювання динаміки, оцінювання пропускної спроможності перетинів, аналізу надійності та можливих аварій в електроенергетичних системах.

У 2008 році НЕК «Укренерго» придбало даний програмний комплекс. Створено статичну та динамічну моделі електроенергетичної системи України 220-750 кВ. Було реалізовано можливість подання мереж 110 кВ як з використанням еквівалентних ланцюгів (традиційний підхід), так і з використанням детальної схеми мережі обленерго. Традиційний підхід необхідний для аналізу режимів в основній мережі 220-750 кВ, коли мережа 110 кВ виконує лише додаткову функцію.

У 2011 році 25 ліцензій програмного забезпечення придбано Інститутом Енергозбереження та Енергоменеджменту НТУУ «КПІ». На даний момент йде процес інтеграції програмного забезпечення в навчальний процес.

Таким чином:

1. Сфера застосування програмного комплексу PowerFactory:
  - розрахунок симетричних та несиметричних сталих режимів;
  - розрахунок струмів короткого замикання для 1,2,3-фазних мереж змінного та постійного струмів;
  - моделювання регуляторів станційних, групових та первинних;
  - автоматичне регулювання частоти, активної потужності;
  - аналіз низьковольтних та оптимізація розподільних мереж;
  - моделювання електромагнітних і електромеханічних перехідних процесів;
  - розрахунки статичної та динамічної стійкості.
2. У навчальному процесі PowerFactory може замінити собою велику кількість різних вузько орієнтованих програм, що підвищить ефективність роботи.
3. Програма може стати помічником у вирішенні значного спектру завдань планування та керування режимами електричних мереж, а також для навчання молодих спеціалістів в електроенергетичній галузі.

#### Список використаних джерел

1. Методичні вказівки з дисципліни Системи силової електроніки в електроенергетиці “Програмне забезпечення Powerfactory. Базовий курс”. – Київ: НТУУ «КПІ», 2013. – 70 с.
2. DIgSILENT PowerFactory. Версія 14.0. Руководство пользователя. - GmbH Gomaringen, Germany, 2011 – 98 с.
3. Сайт DIgSILENT [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.digsilent.de>.
4. Сайт DMCC [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://dmcc.com.ua>.

УДК

**Т.М. Базюк, аспірант, Д.Ю. Ільєнко, студент.  
І.П. Радиш, к.т.н., доцент.**

### **ПОРІВНЯННЯ СТАНДАРТІВ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ**

*В даній статті проведено порівняння існуючих міжнародних стандартів якості електроенергії. Розглянуто причини зміни ГОСТ 13109-97 та прийняття нового ГОСТ Р 54149-2010 в Росії, який є гармонізованим із європейським стандартом EN50160:2010. Проаналізовано відмінності та особливості нового російського стандарту ГОСТ Р 54149-2010 у порівнянні з ГОСТ 13109-97 та виділено складнощі, які виникли з його прийняттям. Показано необхідність розробки та прийняття в Україні нового стандарту якості електроенергії, гармонізованого з EN50160:2010. Представлено рекомендації щодо розробки нового стандарту в Україні.*

*Ключові слова: стандарт, якість електроенергії, електромагнітна сумісність, електромагнітні перешкоди.*

**Т.М. Базюк, аспирант, Д.Ю. Ильенко, студент  
И.П.Радиш, к.т.н., доцент.**

### **СРАВНЕНИЕ СТАНДАРТОВ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ**

*В данной статье проведено сравнение украинского, российского и европейского стандартов качества электроэнергии. Рассмотрены причины изменения ГОСТ 13109-97 и принятия нового ГОСТ Р 54149-2010 в России, который является гармонизированным с европейским стандартом EN50160:2010. Проанализированы преимущества нового российского стандарта ГОСТ Р 54149-2010 по сравнению с ГОСТ 13109-97 и выделены трудности, возникшие с его принятием. Показана необходимость разработки и принятия в Украине нового стандарта качества электроэнергии, гармонизированного с EN50160:2010. Представлены рекомендации по разработке нового стандарта в Украине.*

*Ключевые слова: стандарт, качество электроэнергии, электромагнитная совместимость, электромагнитные преграды.*

**T. M. Baziuk, graduate student, D.Y. ILYenko, student  
I.P. Radish, Cand.Tech.Sci., associate professor.**

### **COMPARISON OF ELECTRIC POWER QUALITY STANDARDS**

*In this article comparison of the Ukrainian, Russian and European quality standards of the electric power is carried out. The reasons of change of GOST 13109-97 and acceptance of new GOST Р 54149-2010 in Russia which is harmonized with the European EN50160:2010 standard are considered. Advantages of the new Russian state standard specification Р 54149-2010 standard in comparison with GOST 13109-97 are analysed and the difficulties which have arisen with its acceptance are marked out. Need of development and acceptance for Ukraine of the new quality standard of the electric power harmonized with EN50160:2010 is shown. Recommendations about development of the new standard in Ukraine are submitted.*

*Key words: standard, quality of the electric power, electromagnetic compatibility, electromagnetic barriers.*

### **Вступ**

За останнє десятиліття в енергетиці відбулися значні зміни, пройшов перехід до ринкових відносин. В умовах цього переходу та ліберизації енергетичного ринку України в

процес аналізу і прийняття рішень по його розвитку виявляються залученими багато учасників, що так чи інакше призводить до виникнення конфлікту їх інтересів [1]. Також за даних умов існує імовірність виникнення так званих, фізичних або технологічних ризиків, пов'язаних з імовірністю відмов і перебоїв у роботі основного обладнання енергопідприємств, та появи якісно нових фінансових ризиків, зумовлених, перш за все, формуванням різних груп суб'єктів відносин у процесі функціонування і розвитку енергосистем [1].

Досвід лібералізації світових енергетичних ринків показує, що важливого значення набуває питання забезпечення надійності енергетичної системи країни, підтвердженням чого є великі системні аварії в електроенергетиці, які останнім часом почастишали, а також питання забезпечення показників якості електроенергії, що передається до споживачів. Як наслідок, з'являються нові вимоги щодо параметрів якості електричної енергії [1].

Як і для будь-якого продукту, якість для електроенергії має велике значення. Особливо в теперішній час, беручи до уваги світову тенденцію якісної зміни навантаження.

Контроль якості електроенергії ґрунтується на наступних стандартах:

- стандарти щодо методів вимірювання показників якості електроенергії (ПЯЕ) (ІЕС 61000-4-30, ГОСТ 51317.4.30-2008);
- стандарт щодо якості електроенергії (EN50160, ГОСТ 13109-97, ГОСТ Р 54149-2010);
- стандарт щодо організації і проведення контролю якості електроенергії, та вимоги щодо оформлення звітів (ГОСТ Р 53333-2008).

В Україні основним нормативним документом, що встановлює номенклатуру показників якості електроенергії, а також норми якості електричної енергії, основні вимоги до контролю та методів і засобів вимірювання показників якості електроенергії, є міжнародний стандарт ГОСТ 13109–97 «Електрична енергія. Електромагнітна сумісність технічних засобів. Норми якості електричної енергії в системах електропостачання загального призначення.» [1].

Якщо розглядати електроенергію як товар, згідно закону «Про електроенергетику», то вона повинна відповідати певним вимогам щодо якості та потребам ринку, і відрізняється від інших видів енергії особливими властивостями: співпадінням в часі виробництва, транспортування та споживання; залежністю характеристик якості електроенергії від процесів її споживання; неможливістю зберігання і повернення неякісної електроенергії.

Якщо електроенергію розглядати як фізичне явище, то це здатність електромагнітного поля виконувати роботу під дією прикладеної напруги в технологічному процесі її виробництва, транспортування, розподілу та споживання.

Товарні відносини регулюються законами ринку та юридичними нормами, вимоги яких відображають рівень соціального і економічного розвитку суспільства. Технологічний процес, в свою чергу, регулюється законами електротехніки. Юридичні норми і вимоги визначають права, обов'язки і рівень відповідальності учасників ринку електроенергії, в тому числі й стосовно забезпечення якості електроенергії.

Найбільш ефективним способом координації дій суб'єктів ринку щодо забезпечення якості електроенергії в умовах експлуатації систем електроспоживання є створення системи керування якістю в організаціях учасниках ринку.

Такі суб'єкти оптового ринку як генеруючі компанії, мережеві компанії, споживачі та енергозбутові компанії і системний оператор слід розглядати як учасників технологічного процесу виробництва, передачі, розподілу і споживання електроенергії.

Підвищення рівня електромагнітних завад в системі електропостачання, або ж погіршення ПЯЕ, зумовлені її функціонуванням, тобто технологічним процесом виробництва, передачі, розподілу та споживання електроенергії. Електроенергія є найбільш універсальним видом енергії, оскільки її можна перетворити в будь-який інший вид енергії. Процес

перетворення та споживання електроенергії завжди супроводжується технологічними втратами, до яких також відноситься зниження якості електроенергії.

Відомо, що відхилення від стандартних показників якості електроенергії приводить до зростання втрат. Зазначимо, що якість електроенергії є складовою електромагнітної сумісності (ЕМС), що характеризує електромагнітне середовище. Електромагнітною сумісністю є здатність електрообладнання, електричних машин та апаратів функціонувати в електромагнітному середовищі, не створюючи електромагнітних завад для іншого обладнання, що працює в тому ж середовищі.

У міжнародній практиці використовують тристоронній підхід до вирішення проблем ЕМС електромережі і технічних засобів, під'єднаних до неї. Цей підхід полягає у визначенні та встановленні допустимих рівнів електромагнітних завад, створених технічними засобами, допустимих рівнів стійкості цих засобів до електромагнітних завад, які надходять від системи електропостачання, і від допустимих рівнів цих перешкод в системах електропостачання – норм якості електроенергії.

Метою керування якістю електроенергії є попередження завдання шкоди людині та майну фізичних чи юридичних осіб, навколишньому середовищу в результаті порушення функціонування технічних засобів від дії електромагнітних перешкод.

У забезпеченні ідеальних параметрів якості електроенергії немає потреби, крім того – це досить дорогі заходи. Достатньо знизити електромагнітні завади до необхідного мінімуму та дотримуватися їх в , при якому їхній вплив на електрообладнання системи електропостачання буде мінімальним, та не порушуватиме умов нормального функціонування цього обладнання. Рівень допустимих завад, протягом останніх сорока років, нормалізується міжнародним стандартом ГОСТ 13109 ( в редакціях 1967, 1987 та 1997 рр.), який, як відомо, об'єднує вимоги щодо якості електроенергії та вимоги щодо методів та засобів вимірювання цих показників.

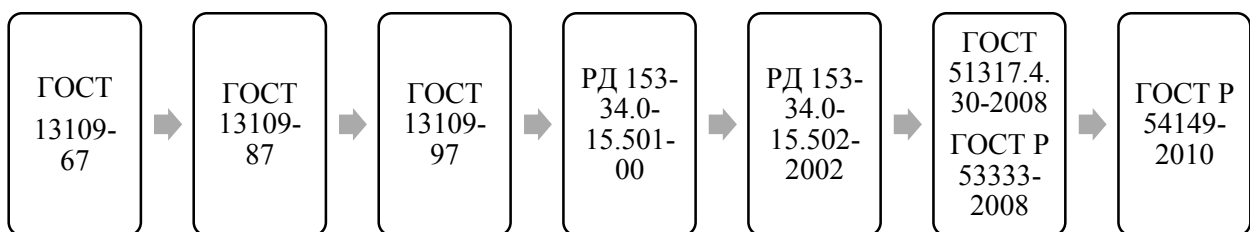


Рис 1. – Етапи створення системи контролю якості електроенергії в Росії.

### Причини прийняття нового ГОСТу, його характеристики

У зв'язку з новими тенденціями розвитку енергетики і появою нового обладнання, яке створює електромагнітні завади в електричній мережі, з'являються нові вимоги щодо якості електричної енергії. Міжнародною електротехнічною комісією (МЕК) розроблені та опубліковані нові стандарти, які визначають положення, що відносяться до номенклатури показників якості електроенергії, методів та засобів вимірювання цих показників: МЕК 61000-4-30:2008, МЕК 61000-4-7:2002 із змінами 1:2008 [2,3]. У зв'язку з цим в країнах СНД здійснюється робота із розробки нових стандартів. В Росії були введені нові стандарти щодо методів вимірювання і вимог до засобів вимірювання якості електроенергії ГОСТ Р 51317.4.30-2008 та 51317.4.7-2008 [4,5], які суттєво відрізняються від ГОСТ 13109-97. У вересні 2010 року було затверджено європейський стандарт, який визначає нові норми якості

електричної енергії в країнах Європейського Союзу – EN 50160: 2010 [6]. Відповідно до міжнародної практики, взявши за основу новий європейський стандарт, в Росії був розроблений, гармонізований з міжнародними стандартами, ГОСТ Р 54149-2010 «Електрична енергія». Електромагнітна сумісність технічних засобів. Норми якості електроенергії в системах електропостачання загального призначення», який вступив у дію з 01.01.2013, частково замінюючи стандарт ГОСТ 13109-97.

Основні відмінності ГОСТ Р 54149-2010 від досі діючого в Україні стандарту ГОСТ 13109-97 стосуються:

- області застосування стандарту;
- структури і змісту стандарту;
- термінів і їх визначень;
- визначення і нормування ПЯЕ;
- відповідальності мережевих організацій і споживачів за якість електроенергії;
- вимог до контролю та вимірювання ПЯЕ.

У стандарті ГОСТ Р 54149-2010 відсутні розділи про методи розрахунків та вимірювання показників якості, про вимоги до відповідних засобів вимірювання, методів контролю якості електроенергії в системах електропостачання, які були в попередньому стандарті. Відповідно до міжнародної практики вони виділені в окремі стандарти ГОСТ Р 51317.4.30-2008 та ГОСТ Р 51317.4.7-2008.

### Порівняння методів визначення показників якості електроенергії в ГОСТ 13109-97 та ГОСТ Р 54149-2010

Проведемо порівняння методів визначення ПЯЕ в ГОСТ 13109-97 та ГОСТ Р 54149-2010.

ПЯЕ, які відносяться до відхилень напруги, визначені як значення додатного та від'ємного відхилення напруги електроживлення від номінального/узгодженого діючого значення напруги, включаючи гармоніки, інтергармоніки, інформаційні сигнали в електричних мережах і т.д, що відповідає міжнародним стандартам і ГОСТ Р 51317.4.30-2008:

$$\delta U_{(-)} = \frac{U_0 - U_{m(-)}}{U_0} \cdot 100;$$

$$\delta U_{(+)} = \frac{U_{m(+)} - U_0}{U_0} \cdot 100;$$

$$\delta U = \frac{U_{(1)} - U_{\text{nom}}}{U_{\text{nom}}}.$$

де  $U_{m(-)}$ ,  $U_{m(+)}$  – значення напруги електроживлення, менші  $U_0$  і більші  $U_0$  відповідно, які є усередненими в інтервалі часу 10 хв у відповідності з вимогами ГОСТ Р 51317.4.30-2008;  $U_0$  – напруга, рівна стандартній номінальній напрузі  $U_{\text{nom}}$  або узгодженій напрузі  $U_c$ .

В ГОСТ 13109-97 встановлене відхилення напруги розраховується з урахуванням тільки першої гармоніки напруги  $U_{(1)}$ :

$$\delta U = \frac{U_{(1)} - U_{\text{nom}}}{U_{\text{nom}}},$$



і характеризується нормально допустимими і гранично допустимими значеннями на виводах електроприймачів, рівними відповідно  $\pm 5$  та  $\pm 10\%$ .

Показник якості електроенергії, що належить до частоти, є відхилення значення основної частоти напруги електроживлення від номінального значення  $\delta f$ :

$$\Delta f = \frac{f - f_{\text{ном}}}{f_{\text{ном}}} \cdot 100,$$

де  $f_m$  – значення основної частоти напруги електроживлення Гц, виміряне в інтервалі часу 10 с;  $f_{\text{ном}}$  – номінальне значення частоти напруги електроживлення Гц.

Номінальне значення частоти напруги електроживлення в електричній мережі дорівнює 50 Гц.

Норми (числові значення) для допустимих відхилень частоти в синхронізованих системах електропостачання ті ж самі, що і в ГОСТ 13109-97:  $\pm 0,2$  Гц протягом 95% часу інтервалу в один тиждень та  $\pm 0,4$  Гц протягом 100% часу інтервалу в один тиждень.

Норми для допустимих відхилень частоти в ізольованих системах електропостачання з автономними генераторними установками, які не підключені до синхронізованих систем передачі електроенергії, менш жорсткіші:  $\pm 1$  Гц протягом 95% часу інтервалу в один тиждень та  $\pm 5$  Гц протягом 100% часу інтервалу в один тиждень.

Методика розрахунків несиметрії в ГОСТ 13109-97 та ГОСТ Р 54149-2010 аналогічна.

Коефіцієнт несиметрії напруг за оберненої послідовності рівний:

$$K_{2U} = \frac{U_{2(1)}}{U_{1(1)}} \cdot 100,$$

де  $U_{2(1)}$  – діюче значення напруги оберненої послідовності основної частоти трьохфазної системи напруг, В;  $U_{1(1)}$  – діюче значення напруги прямої послідовності основної частоти, В.

Допускається  $K_{2U}$  обчислювати за виразом, % :

$$K_{2U} = \frac{U_{2(1)}}{U_{\text{ном. мф}}} \cdot 100,$$

де  $U_{\text{ном. мф}}$  – номінальне значення міжфазної напруги мережі.

Коефіцієнт несиметрії напруг за нульовою послідовністю рівний :

$$K_{0U} = \frac{\sqrt{3}U_{0(1)}}{U_{1(1)}} \cdot 100,$$

де  $U_{0(1)}$  – діюче значення напруги нульової послідовності основної частоти трьохфазної системи напруг, В.

Допускається  $K_{0U}$  обчислювати за формулою:

$$K_{0U} = \frac{U_{0(1)}}{U_{\text{ном. ф}}} \cdot 100,$$

де  $U_{\text{ном. ф}}$  – номінальне значення фазної напруги.

Вимірювання коефіцієнта несиметрії напруг за нульовою послідовністю проводять в чотирихпровідній мережі.

Нижче в табл. 1, наведено основні відмінності між існуючими стандартами якості електроенергії:

Таблиця 1 – Відмінності між існуючими стандартами якості електроенергії.

Показник якості	ГОСТ 13109-97	Європейський стандарт EN50160:2010	ГОСТ Р 54149-2010
Відхилення напруги	Основної частоти; нормально $\pm 5\%$ , гранично $\pm 10\%$ ; усереднення за 1 хв; діапазон $\pm 20\% U_n$ ; похибка $\pm 0,5\%$	Рівень напруги в електричних мережах повинен відповідати значенню 230 В з допуском $+6\%-10\%$	Діючого значення; тільки $\pm 10\%$ ; об'єднане значення величини на інтервалі 10 хв. з поміткою часу ( $\pm 20$ мс) і маркуванням; діапазон $(10 \dots 150)\% U_c$ ; похибка $\pm 0,1\%$
Відхилення частоти	Усреднення за 20 с; діапазон 45-55 Гц; похибка $\pm 0,03$ Гц	Усреднення за 10 с; діапазон 56,4-62,4 Гц	Усреднення за 10 с; діапазон 42,5-57,5 Гц; похибка $\pm 0,01$ Гц
Спотворення синусоїдальності	Коефіцієнт n-ої гармонічної складової; усереднення за 3 с	–	Коефіцієнт n-ої гармонічної складової підгрупи; об'єднане значення величини на інтервалі 10 хв. з поміткою часу ( $\pm 20$ мс) і маркуванням
Несиметрія	Усреднення за 3 с похибка $\pm 0,3\%$	Коефіцієнт несиметрії напруг по нульовій послідовності не врахований	Об'єднане значення величини на інтервалі 10 хв. з поміткою часу ( $\pm 20$ мс) і маркуванням; похибка $\pm 0,15\%$
Період спостережень для оцінки	За кожну добу окремо (всього 7 діб)	–	В цілому за 7 діб(безперервно)
Особливості структури	Розділи про методи розрахунків і вимірювань показників якості електроенергії, вимоги до відповідних засобів вимірювань, методи обстеження якості електроенергії в системах електропостачання знаходяться в одному стандарті.	Вимоги до якості електроенергії – в одних стандартах, методи вимірювання і вимоги до засобів вимірювання, що відповідають цим методам, - в інших стандартах.	Вимоги до якості електроенергії – в одних стандартах, методи вимірювання і вимоги до засобів вимірювання, що відповідають цим методам, - в інших стандартах.

Сфера застосування	Встановлення показників та норм якості електроенергії в точках загального приєднання.	Встановлення показників та норм якості електроенергії в точках передачі електроенергії всім користувачам електричних мереж.	Встановлення показників та норм якості електроенергії в точках передачі електроенергії всім користувачам електричних мереж.
Відмінності норм для показників якості електроенергії	Не встановлені	–	Встановлені як для електричних мереж систем електропостачання загального призначення, так і для ізольованих систем електропостачання загального призначення.

Крім того, в новому стандарті ГОСТ Р 54149-2010 введені нові терміни та уточнені деякі визначення з врахуванням відносин учасників ринку електроенергії.

### Висновок

Перехід на новий стандарт якості електроенергії ГОСТ Р 54149-2010 призвів до необхідності використання нових приладів вимірювання параметрів якості електроенергії, що потребує значних фінансових затрат та багато часу, що є необхідним кроком для створення сучасної системи контролю та якості електроенергії.

Внаслідок змін в електроенергетиці, та впровадженням нових стандартів якості електроенергії стає можливим впровадження та розвиток нових систем електропостачання за рахунок введення декількох нових термінів та понять. Слід зазначити, що хоч і ГОСТ Р 54149-2010 є досить наближеним до європейського стандарту, він не є повністю йому еквівалентним. Варто також зазначити, що новий російський стандарт є жорсткішим у порівнянні з європейським.

Що стосується зараз діючого в Україні ГОСТ 13109-97, то він на даний момент є застарілим, і потребує перегляду, або заміни на новий, більш наближений до ГОСТ Р 54149-2010 та EN 50160:2010, враховуючи особливості проектування та роботи української енергосистеми, одночасно передбачаючи можливість об'єднання з енергосистемами Європи та Росії. За прикладом Європейського Союзу де ще з 2010 року діє новий стандарт, в якому визначені нові показники та вимоги до якості електроенергії, введення якого посприяло поштовхом до підвищення надійності електропостачання, підвищення якості електроенергії, що постачається споживачам; інтелектуалізації електромереж; більш інтенсивному впровадженню розосередженої генерації та відновлювальних джерел електроенергії в мережу.

### Список використаних джерел

1. Никифоров В. В., Новый стандарт по качеству электрической энергии ГОСТ Р 54149–2010. Связь с действующим ГОСТ 13109–97 и европейским стандартом EN 50160:2010

и основные отличия. // Материалы конференции «Энергия белых ночей 2011». 17–19 мая 2011г. Санкт-Петербург. с. 15-22.

2. МЭК 61000-4-30: 2008 Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-30: Testing and measurement techniques – Power quality measurement methods, 2009 – 54 с.

3. МЭК 61000-4-7: 2002 Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-7: Testing and measurement techniques – General guide on harmonics and interharmonics measurement and instrumentation, for power supply systems and equipment connected thereto, 2008 – 13 с.

4. ГОСТ Р 51317.4.30–2008 (МЭК 61000-4-30:2008). Совместимость технических средств электромагнитная. Методы измерений показателей качества электрической энергии, 2009 – 54 с.

5. ГОСТ Р 51317.4.7–2008 (МЭК 61000-4-30:2008). Совместимость технических средств электромагнитная. Общее руководство по средствам измерений и измерениям гармоник и интергармоник для систем электроснабжения и подключаемых к ним технических средств, 2008 – 13 с.

6. EN 50160:2010 Voltage characteristics of electricity supplied by public electricity networks, 2010 – 13 с.

УДК 621.31

Д.Г. Дерев'янюк аспірант, М.Ю. Попик студент

**АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ ПІДКЛЮЧЕННЯ РОЗОСЕРЕДЖЕНОЇ ГЕНЕРАЦІЇ ПРИ ПОБУДОВІ СИСТЕМ MICROGRID**

*Майбутні електричні мережі повинні бути гнучкими, доступними, надійними і економічно відповідними до світових Smart Grid ініціатив. У зв'язку зі сприянням цим цілям і зменшенням емісії парникових газів дослідження різних варіантів систем Microgrid досягло високого рівня важливості особливо з високим поширенням відновлюваних джерел енергії. Ця стаття висвітлює особливості Microgrid-системи.*

*Ключові слова: енергетика, розосереджена генерація, Microgrid, лінії розподілу, система накопичення, якість енергії.*

**АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ ПОДКЛЮЧЕНИЯ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ГЕНЕРАЦИИ ПРИ ПОСТРОЕНИИ СИСТЕМ MICROGRID**

*Будущие электрические сети должны быть гибкими, доступными, надежными и экономически соответствующими мировым стандартам Smart Grid инициатив. В связи с содействием этим целям и уменьшением эмиссии парниковых газов исследования различных вариантов систем Microgrid достигло высокого уровня важности особенно с высоким распространением возобновляемых источников энергии. Эта статья освещает особенности Microgrid-системы.*

*Ключевые слова: энергетика, распределенная генерация, Microgrid, линии распределения, система накопления, качество энергии.*

**THE FEATURES OF THE CONNECTION ANALYSIS OF DISTRIBUTED GENERATION IN DESIGNING THE MICROGRID SYSTEMS**

*Future electricity networks need to be flexible, accessible, reliable and cost related to global Smart Grid initiatives. With the assistance of these goals and the reduction of greenhouse gas emissions study different variants of the Microgrid reached a high level of importance especially with the high proliferation of renewable energy. This paper highlights the features of Microgrid-system.*

*Keywords: energy, distributed generation, Microgrid, distribution lines, accumulation system, the quality of energy.*

Викопні види палива задовольняють більшість енергетичних потреб держави, але мають обмежений ресурс. З ростом цін на викопні види палива і можливості наближення "піку нафти", керівництво України намагається забезпечити країну енергоресурсами і зміцнити свою енергетичну незалежність за рахунок збільшення використання поновлюваних джерел енергії в системі енергопостачання. "Енергетична безпека" для країни означає наявність достатньої кількості енергетичних ресурсів для задоволення поточних і майбутніх потреб громадян і промисловості. Впровадження технології Smart Grid є важливим чинником, що сприяє енергетичній безпеці і низько-вуглецевому економічному зростанню, які є ключовими національними і політичними цілями для України. Існує багато визначень поняття «Smart Grid», серед яких можна виділити наступні, що найбільш точно відображають її функціональні можливості:

– модернізована електрична мережа, що постачає електроенергію від виробників до споживачів, використовуючи двонаправлені цифрові зв'язки, і контролююча роботу пристроїв з метою енергозбереження, скорочення вартості споживання енергії та підвищення надійності та прозорості енергосистеми;

- самобалансуюча, самоконтролююча мережа, що працює з усіма видами генерації (газ, вугілля, сонце, вітер) і постачає кінцевим споживачам всі види енергії (тепло, світло, гаряча вода) при мінімальній участі людини;
- інтелектуальна мережа, що розширює за допомогою цифрових технологій розподільну мережу для оптимізації поточних операцій і відкриття нових напрямків роботи для альтернативної енергетики.

Впровадження концепції Smart Grid дає можливість стимулювати економічне зростання, допомагаючи задовольняти потреби споживачів в електроенергії. Для деяких країн, за допомогою впровадження цієї концепції можна керувати зростанням попиту на електроенергію. Smart Grid також сама по собі є перспективним напрямком в представленні уряду і дає можливість інвестувати і підтримувати ініціативи, які сприяють (а) інноваціям і (б) розвитку економіки на основі розвитку технологій і зростання кількості робочих місць, вирішуючи потреби в енергетичній безпеці держави. З цих причин в умовах глобальної скрути після світової економічної кризи впровадження концепції Smart Grid здається особливо вигідним інвестиційним вибором для держави.

Smart Grid включає в себе широкий спектр обладнання різного рівня потужності. Тому у випадках необхідності створення локальних систем використовується термін «система Microgrid», що є підсистемою Smart Grid.

Термін Microgrid відноситься до концепту єдиної підсистеми електричної енергії в комплексі з обмеженою кількістю розосереджених джерел енергії (РДЕ), які є відновлюваними або/і традиційними джерелами разом з підключеними навантаженнями [1,2]. Застосування розосереджених джерел енергії як генераторів обмеженої потужності може спричинити ряд проблем таких як зростання напруги, потенційне підвищення температурних границь ліній і трансформаторів, а також скласти значні капіталовкладення в створення даної енергосистеми[3]. Microgrid дає можливість вирішити ці питання шляхом збалансування системи. В системах Microgrid РДЕ повинні оснащуватись відповідним пристроєм силової електроніки (ПСЕ) і контролерами забезпечення стійкості роботи системи, як єдиної приєднаної системи підтримання якості електричної енергії [4]. З точки зору мережі, головне завдання Microgrid полягає в тому, що вона розроблена для керування роботою підсистем. З точки зору споживачів, Microgrid-системи мають великі переваги, через те що вони відповідають місцевим електричним і тепловим вимогам, безперебійно постачати енергію, підвищувати її якість, зменшувати втрати в фідерах і забезпечити підтримку необхідного рівня напруги. Крім цього Microgrid, шляхом використання низько-вуглецевих технологій, дає можливість зменшити вплив на навколишнє середовище і знизити, як наслідок, темпи глобального потепління [4].

Однією з головних цілей створення систем Microgrid є комбінування переваг нетрадиційних/відновлюваних низьковуглецевих технологій генерації і високоефективних комбінованих теплових і електричних систем (КТЕ). Комбіновані теплові і електросистеми (КТЕ) діють як цілісна система коли тепло використовується з електроенергією. Різні види генераторів використовуються в КТЕ такі як мікротурбіни (в основному на природному газі, водні та біогазі), двигуни Стірлінга і двигуни внутрішнього згорання. Системи КТЕ забезпечують оптимальне використання енергії шляхом захоплення надлишкового тепла, таким чином підвищуючи ефективність до 80% і більше, на відміну від близько 35% для традиційних електростанцій[12].

Для реалізації більшості можливостей впровадження систем розосередженої генерації потрібен системний підхід, який розглядає генератори та пов'язані з ними навантаження як складові елементи системи Microgrid. Під час порушень роботи системи, генератори і

відповідні навантаження можуть бути відокремлені від системи розподілу навантаження, щоб ізолювати систему Microgrid від порушень в енергопостачанні без порушення цілісності розподільчої мережі.

Система Microgrid може бути підключена до загальної електричної мережі в будь-якій точці. Існуюча практика створення систем Microgrid поширює розміщення генераторів поряд з тепловим навантаженням, таким чином дозволяючи більш ефективно використовувати відпрацьоване тепло без складного процесу розподілу тепла в системі.

Базова структура Microgrid-системи зображена на рисунку 1, який показує, що Microgrid-система в основному складається з розосереджених джерел генерації (РДГ), поєднаних лініями постійного та змінного струму, системи акумуляування, розподільчої системи та систем контролю і зв'язку.

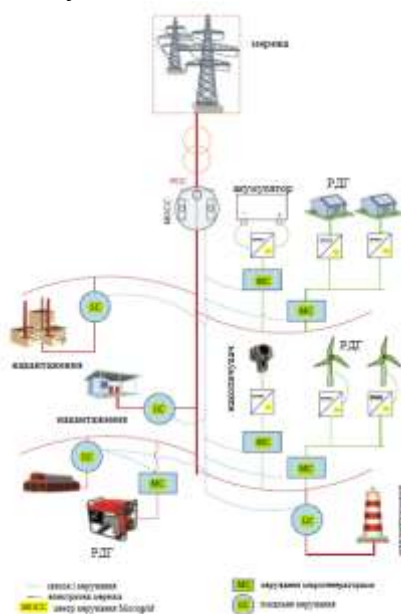


Рисунок 1 – Базова структура Microgrid-системи

Технології розосередженої генерації, застосовані в Microgrid-системах можуть містити вітрогенератори, фотоелектростанції (ФЕС), малі ГЕС, дизельгенератори і технології такі як однофазні і трифазні асинхронні генератори та синхронні генератори приведені в рух двигунами внутрішнього згорання [9]. Вибір типу розосереджених генераторів в основному залежить від клімату і географічних характеристик регіону. Створення і розташування Microgrid-систем залежить від енергетичного сценарію, стратегії і політики країни та регіону. В таблиці 1 описано деякі характеристики РДГ у тому числі і КТЕ [5].

ФЕС, як складові Microgrid-систем, дозволяють генерувати електрику від сонячної енергії. У зв'язку з величезним прогресом в винайдених технологіях – ФЕС як РДЕ віддається більша перевага в світі. Головні переваги ФЕС полягають в сталості існування сонячної енергії, позитивному впливі на навколишнє середовище, довгому періоді роботи і безшумності.

Також елементи ФЕС можуть ефективно використовуватись як РДЕ в Microgrid-системі. Існують деякі недоліки ФЕС, такі як висока собівартість, низька енергоефективність, обмеженість зон ефективного розташування і залежність від погодних умов.

Таблиця 1 – Типові характеристики РДГ.

Характеристика	Сонце	Вітер	Малі-ГЕС	Дизель	КТЕ
Наявність	Залежно від географічного положення	Залежно від географічного положення	Залежно від географічного положення	Завжди	Залежно від джерела
Вихідна величина	Постійний струм	Змінний струм	Змінний струм	Змінний струм	Змінний струм
Рівень парникових газів	Нема	Нема	Нема	Високий	Залежно від джерела
Керування	Некерований	Некерований	Некерований	Керований	Залежно від джерела
Перетворювач	Перетворювач силової електроніки (DC-DC-AC)	Перетворювач силової електроніки (AC-DC-AC)	Синхронний або асинхронний генератор	Нема	Синхронний або асинхронний генератор
Контроль потужності	Керування максимальної силової точки відстеження і ділянки напруги постійного струму ( $\pm P, \pm Q$ )	Керування максимальної силової точки відстеження, поля і крутного моменту ( $\pm P, \pm Q$ )	Керований ( $\pm P, \pm Q$ )	Керований ( $\pm P, \pm Q$ )	Мікро-контролер ( $\pm P, \pm Q$ )

Зважаючи на те, що ФЕС виробляє постійний струм, необхідно використовувати відповідний тип перетворювача енергії з постійного струму в змінний. Прикладами застосування ФЕС є електропостачання віддалених місцевостей, куди важко прокласти електричну мережу, підсвітка дорожніх знаків і доріг загалом, встановлення ФЕС на дахах для освітлення і опалення будинків.

Вітротурбіни (ВТ) перетворюють енергію вітру в електроенергію, використовуючи спеціальну систему перетворення енергії вітру (СПЕВ). Зазвичай в СПЕВ використовуються асинхронні генератори. Найпоширеніша середня дотужність ВТ до 1990х була 300кВт, але останнім часом було розроблено і встановлено великі агрегати потужністю близько 5МВт і більше.

Малі ГЕС використовують енергію протікаючої води і виробляють механічну або електричну енергію. Ці енергосистеми залежать від топографії місцевості і річної кількості опадів. Система зазнає пошкоджень і нестабільності роботи від перепадів між повеннями і посухою, що відображається на нерівномірності генерації. Проточна система часто використовується в малих ГЕС, які не потребують великих резервуарів води. Річкова вода направляється через передаточний канал для обертання турбіни чи водяного колеса, яке повертає вал. Рух валу може бути використаний для механічних дій, наприклад помпування води, чи генерування електричної енергії.

Одним з основних критеріїв ефективної роботи Microgrid-системи є наявність системи накопичення енергії, яка збалансовує короткостроковий попит на потужність і енергію, з генерацією. Загалом Microgrid системи енергії мають накопичувачі приєднані до генераторів.



Коли під'єднується нове навантаження, воно може призвести до невеликої зміни частоти системи залежно від самого навантаження[13]. Система з кількома джерелами обмеженої потужності і створена для роботи в відокремленому режимі має проводити накопичувальні дії для забезпечення енергетичного балансу. У випадку деяких джерел малої потужності, таких як паливні елементи і мікротурбіни, з великими постійними часу від 10 до 200 секунд накопичуючі пристрої стають дуже важливими для збалансування потужності системи при поточних порушеннях і/або значних змінах навантаження[13]. У разі раптової зміни стану системи, ці пристрої можуть діяти як джерело змінної напруги. В силу своїх фізичних обмежень, вони мають обмежений запас енергії. Резервні накопичувачі енергії мають бути включені до системи Microgrid для забезпечення безперебійного електропостачання. Відповідні пристрої накопичення для системи Microgrid включають батареї, маховики і супер конденсатори. У таблиці 2 наведені деякі основні риси цих трьох видів пристроїв накопичення.

Таблиця 2 – Базові особливості відповідних накопичувачів в Microgrid-системах.

Базові особливості	Батарея	Маховик	Супер конденсатор
Номінальна потужність (Вт/кг)	50-100	200-500	500-2000
Звичайний час резервування	5-30min	10-30sec	10-30sec
Втрати на очікування	Дуже низькі	Змінні	Високі
Вплив на навколишнє середовище	Середньо низький	Низький	Низький
Обслуговування	1 рік	1-5 років	Нема
Зарядна ефективність (%)	75-95	90	85-95
Поточна ціна енергії (\$/кВт·год)	150-800	3000-4000	4000-5000
Термін служби (рік)	5	20	>10

Іншим варіантом накопичення енергії може бути паливний елемент, який перетворює хімічну енергію палива в електричну енергію. Паливні елементи можуть бути описані як батареї, які ніколи не розряджаються до тих пір, поки водень і кисень безперервно провідні. Потужність такого генератора становить 1 кВт-10 МВт. Електричний ККД становить 30-60%, а загальна ефективність складає 80-85%. Крім того, вони можуть використовувати різні види палива, такі як природний газ, пропан, газ з органічних відходів, анаеробні гази реактора, бензин, нафту, метанол і водень.

На ряду з системою накопичення електроенергії розподільна мережа має важливу роль, як складова частина Microgrid. Розподільні мережі можуть класифікуватись за трьома типами:

- 1) лінії постійного струму;
- 2) лінії змінного струму промислової частоти;
- 3) високочастотні лінії змінного струму ( High Frequency AC – HFAC).

Оскільки більшість РДЕ генерують постійний струм і системи його розподілу не мають проблем з якістю енергії, то розробка систем Microgrid на постійному струмі набирає більшого поширення в світі. Але більшість навантажень потребує змінного струму, тому розподільчі мережі постійного струму ще не досить поширені.

У випадку лінії змінного струму промислової частоти РДЕ приєднуються до головної шини в Microgrid системі. Постійний струм від РДЕ перетворюється в змінний промислової частоти 50Гц за допомогою відповідного інвертора і потім передається на навантаження.

Існує багато шляхів підключення РДЕ в Microgrid системі. Одним з них є HFAC для передачі електроенергії в Microgrid, що є новим концептуальним рішенням, яке досі знаходиться на стадії розробки. В HFAC Microgrid РДЕ приєднуються до головної шини. Генерована РДЕ електроенергія за допомогою інверторів перетворюється в змінний струм з частотою 500Гц. А потім струм передається на сторону навантаження, де за допомогою ПСЕ перетворюється в змінний струм промислової частоти.

Навантаження підключається до розподільної мережі, яка може гарантувати ефективну взаємодію Microgrid і розподільної мережі. При більш високій частоті гармоніки більш високого порядку відфільтровуються, що обмежує проблеми якості енергії. Але недоліком є те, що HFAC підвищує реактивний опір лінії і збільшує втрати потужності.

У будь-якій системі, не залежно від її структури, можуть виникати проблеми з якістю електричної енергії, яка постачається до навантаження. Порушення забезпечення рівня якості електроенергії в системі Microgrid ставить ряд важливих питань, таких як приєднання систем РДГ так і підключений до мережі Microgrid нових елементів. Сонячна та вітроенергетика, малі-ГЕС, і дизельгенератори є найбільш провідними джерелами РДГ і тому проблеми якості енергії пов'язані з цими РДГ представлені в таблиці 3. В таблиці видно, що найбільш часто використовувані відновлювані джерела енергії (ВДЕ), такі як сонячні фотоелектричні системи та енергія вітру можуть мати майже всі проблеми порушення якості енергії, такі як провали/стрибки напруги, відхилення напруги, гармоніки напруги і струму, флікер. Внаслідок різної природи вітру і сонця, різких змін вітру (швидкості, напрямку, турбулентності і т.д.), і сонячного випромінювання (через хмарність), електрична напруга на виході може безпосередньо впливати на якість електроенергії, якщо відсутнє спеціальне підключення системи через пристрої інтеграції належним чином. У порівнянні з цим, малі-ГЕС мають менше проблем з порушенням якості енергії. Основною перевагою цих РДГ є екологічна чистота. Звичайний дизельний генератор має менше проблем з порушенням якості електроенергії, таких як провали і стрибки напруги, коливання напруги і флікер. Основним недоліком цього джерела є те, що воно є джерелом викидів CO<sub>2</sub>, які забруднюють навколишнє середовище. Тому необхідні додаткові дослідження для вирішення проблем якості електроенергії при інтеграції РДГ.

Вплив дії гармонік струму і напруги можна простежити на прикладі системи паралельної роботи двох генераторів(Г1 та Г2) на спільне навантаження. На рисунку 2 представлена структурна схема даної системи. Генератори представлено у вигляді джерел напруги нескінченної потужності з власним активним опором, що паралельно підключені на спільне активно-індуктивне навантаження. В джерелах крім перших гармонік напруги, генеруються вищі гармоніки, які в даному випадку представлені 3-ю гармонікою.

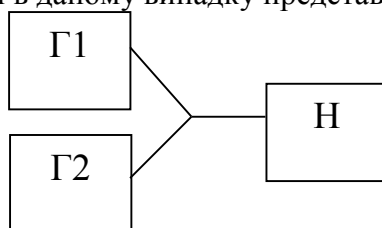


Рисунок 2 – Схема системи

Таблиця 3 – Проблеми ЯЕ поширені в РДГ системах

Проблема	вітроенергетика	Сонячна енергетика	Малі-ГЕС	Дизельні генератори
----------	-----------------	--------------------	----------	---------------------

Провал/ стрибок напруги	+		+	+
Відхилення напруги	+			+
Коливання напруги		+		
Перекиди напруги	+			
Гармоніки напруги	+	+	+	
Флікер	+	+		+
Гармоніки струму	+	+	+	

Форми напруги на генераторах будуть мати наступний вигляд:

$$\begin{cases} e_1 = U_{1(1)} \sin \omega t + U_{1(3)} \sin(3\omega t + \psi_{1(3)}) \\ e_2 = U_{2(1)} \sin(\omega t + \psi_{2(1)}) + U_{2(3)} \sin(3\omega t + \psi_{2(3)}) \end{cases} \quad (1)$$

де  $e_i$  – ЕРС  $i$ -го джерела,  $U_{i(j)}$  – амплітуда напруги  $j$ -ї гармоніки  $i$ -го джерела,  $\psi_{i(j)}$  – початкова фаза напруги  $j$ -ї гармоніки  $i$ -го джерела.

Для аналізу впливу гармонічних складових напруги на діюче значення струму в навантаженні в результаті розрахунків було отримано залежність діючого значення струму в навантаженні від початкової фази напруги в Г2:

$$I_{n(1+3)} = \frac{(R_2 U_{1(1)} + R_1 U_{2(1)} \cos \psi_{2(1)})^2 + (R_1 U_{2(1)} \sin \psi_{2(1)})^2}{2(R_1 R_2 + \sqrt{R_n^2 + (\omega L_n)^2} (R_1 + R_2))^2} + \frac{(R_2 U_{1(3)} \cos \psi_{1(3)} + R_1 U_{2(3)} \cos \psi_{2(3)})^2 + (R_2 U_{1(3)} \sin \psi_{1(3)} + R_1 U_{2(3)} \sin \psi_{2(3)})^2}{2(R_1 R_2 + \sqrt{R_n^2 + (3\omega L_n)^2} (R_1 + R_2))^2} \quad (2)$$

де  $I_{n(j)}$  -- діюче значення струму в навантаженні при дії  $j$ -ї гармоніки,  $R_i$  – активний опір  $i$ -го джерела,  $R_n, L_n$  – активний і індуктивний опори навантаження.

З даної залежності видно, що діюче значення струму в навантаженні залежить від активних опорів генераторів, амплітуди напруг генераторів системи і їх початкових фаз. На діюче значення струму в навантаженні також значною мірою впливають величини опорів самого навантаження.

На рисунку 3 зображено залежність діючого значення струму в навантаженні при одночасній дії 1 і 3 гармонік, від зміни різниці початкових фаз напруги 3ї гармоніки в Г1 і Г2, позначимо їх  $\delta = \psi_{2(3)} - \psi_{1(3)}$  при різних коефіцієнтах небалансу напруги, де  $K_n = U_2/U_1$ . Дана залежність дозволяє оцінити вплив різниці зсуву фаз генераторів 3-ї гармоніки на струм навантаження і як результат на якість електричної енергії. На рисунку 3 зображено характеристики  $I_{n1}$  і  $I_{n2}$ , які являють собою діюче значення струму навантаження при умовах: діє 1 і 3 гармоніка,  $K_p=0,5$  і  $K_n=0,9$  та 1,1 відповідно.

На рисунку 4 зображено залежність діючого значення струму в навантаженні при одночасній дії 1 і 3 гармонік від зміни початкової фази напруги в джерелі №2 при різних коефіцієнтах небалансу напруги ( $K_n=0,9, 1, 1,1$ ). На рисунку 4 зображено характеристики  $I_{n1}, I_{n2}$  і  $I_{n3}$ , які являють собою діюче значення струму навантаження при умовах: діє 1 і 3 гармоніка,  $K_p=0,5$  і  $K_n=0,9, 1$  та 1,1 відповідно.

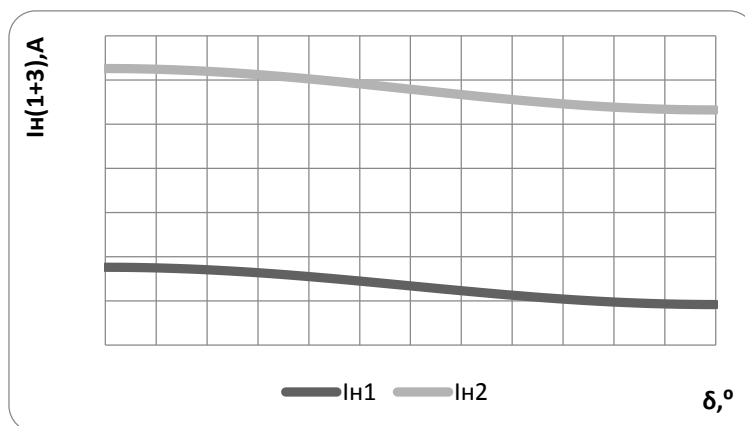


Рисунок 3 – Залежність струму навантаження від різниці початкових фаз напруги 3-ї гармоніки

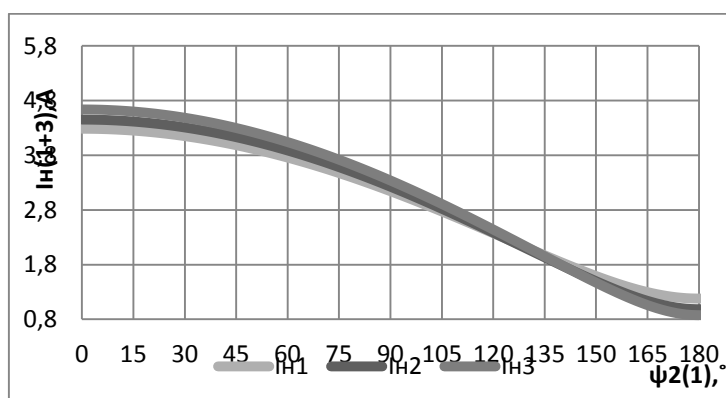


Рисунок 4 – Залежності струмів навантаження в від початкової фази напруги 1-ї гармоніки Г2

З рисунку 3 видно, що чим менше фазовий зсув 3-ї гармоніки між генераторами системи тим більше діюче значення струму навантаження і відповідно навпаки. Також важливе вплив має коефіцієнт небалансу між Г1 і Г2, адже навіть невелика зміна даного коефіцієнту призводить до значної зміни амплітуди діючого значення струмів. З рисунку 4 очевидно, що залежність має схожий характер до зображеної на рисунку 3. Але суттєвою відмінністю є те що при більшому коефіцієнті небалансу спостерігається більш різка зміна характеристики, ніж при малому.

Це дослідження показує незаперечний вплив гармонічних складових напруги на діюче значення струму в навантаженні при паралельній роботі двох джерел на спільне активно-індуктивне навантаження, а одже і на якість електричної енергії.

#### **Висновок**

Останнім часом набуло широкого поширення впровадження технології Smart Grid в світі. Також все більше розповсюдження мають системи Microgrid з застосуванням розосередженої генерації. Переваги Microgrid технологій – зниження втрат енергії, зростання ефективності та доступності надійного енергопостачання. Поширення Microgrid великою мірою залежить від якості електричної енергії, яку постачає дана система.

В даній статті описано вплив небалансу на швидкість зміни залежності діючого значення струму від початкової фази генератора, приєднаного паралельно з іншим до спільного навантаження. Дослідження показує незаперечний вплив гармонічних складових напруги на діюче значення струму, а одже і на якість електричної енергії.

*Література*

- [1] R. H. Lasseter and P. Paigi, "Microgrid: a conceptual solution," in Proceedings of the IEEE 35th Annual Power Electronics Specialists Conference (PESC 04), pp.4285–4290, June 2004.
- [2] R. H. Lasseter, "Microgrids," in Proceedings of the IEEE Power Engineering Society Winter Meeting, vol.1, pp.305–308, 2002.
- [3] D. Infield and F. Li, "Integrating micro-generation into distribution systems—a review of recent research," in Proceedings of the IEEE Power and Energy Society General Meeting (PES '08), pp. 1–4, July 2008.
- [4] S. Chowdhury, S. P. Chowdhury, and P. Crossley, Microgrids and Active Distribution, Networks, London, UK, 2009.
- [5] F. Katiraei, R. Iravani, N. Hatziargyriou, and A. Dimeas, "Microgrids management," IEEE Power and Energy Magazine, vol.6, no. 3, pp. 54–65, 2008.
- [6] DTI, "Micro-generation strategy and low carbon buildings programme-consultation," 2005, <http://www.dti.gov.uk/files/file13989.pdf>.
- [7] R. Teodorescu, "Industrial PhD course on Microgrids "Microgrid Overview"," Alborg University, <http://www.et.aau.dk/>.
- [8] S. K. Khadem, M. Basu, and M. Conlon, "UPQC for power quality improvement in DG integrated smart grid network—a review," International Journal of Emerging Electric Power Systems, vol.13, no.1, 2012.
- [9] N. W. A. Lidula and A. D. Rajapakse, "Microgrids research: a review of experimental microgrids and test systems," Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol.15, no.1, pp.186–202, 2011.
- [10] C. Bossi, T. Degner, and S. Tselepis, "Distributed generation with high penetration of renewable energy sources," Dispover, Final Public Report, Laboratory Tests Case Studies and Field Experience, Kessel, Germany, 2006.
- [11] Cesi Ricerca DER Test Facility (DER-TF), Italy, <http://www.microgrids.eu/>.
- [12] S. Karki, M. Kulkarni, D. Michael, Mann, and S. Hossein, "Efficiency improvement through combined heat and power for on-site distributed generation technologies," Cogeneration and Distributed Generation Journal, vol.22, no.3, pp.19–34, 2007.
- [13] H. Jiayi, J. Chuanwen, and X. Rong, "A review on distributed energy resources and MicroGrid," Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol.12, no.9, pp.2465–2476, 2008.
- [14] Power systems for the future: the case for energy storage, distributed generation, and Microgrids, Sponsored by IEEE Smart Grid, with analysis by Zpryme.
- [15] Ковалко М.П., Денисюк С.П. Енергозбереження – пріоритетний напрямок державної політики України. – К.: Українські енциклопедичні знання, 1998. – 512 с.
- [16] Стогній Б.С., Кириленко О.В., Праховник А.В., Денисюк С.П., Буцьо З.Ю. Національні пріоритети енергоефективності 2010. – К.: Текст, 2010. – 580с..
- [17] Шидловський А.К., Стогній Б.С., Кулик М.М., Півняк Г.Г., Кириленко О.В., Денисюк С.П., Вороновський Г.К. Паливно-енергетичний комплекс України в контексті глобальних енергетичних перетворень. – К.: Українські енциклопедичні знання, 2004. – 468 с.

УДК 621.31

**Базюк Т.М.,** аспірант, **Чернуха Ю.М.,** магістр**РАНЖУВАННЯ ПОКАЗНИКІВ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ДЛЯ ПОБУДОВИ ІНТЕГРОВАНІХ СИСТЕМ ЕНЕРГОПОСТАЧАННЯ**

*В статті розглянуто та проаналізовано застосування показників енергоефективності для вибору та побудови ефективних інтегрованих систем енергопостачання. Подано алгоритм оцінки впливу інтегрованих джерел енергії на систему енергопостачання. Також з*

допомогою показників енергоефективності можна обрати більш ефективне джерело енергії для інтеграції в енергосистему.

*Ключові слова:* показники енергоефективності, розосереджена генерація (РГ), нетрадиційні та відновлювальні джерела енергії (НВДЕ), інтегровані системи.

*В статье рассмотрены и проанализированы применения показателей энергоэффективности для выбора и построения эффективных интегрированных систем энергоснабжения. Подано алгоритм оценки влияния интегрированных источников энергии на систему энергоснабжения. Также с помощью показателей энергоэффективности можно выбрать более эффективный источник энергии для интеграции в энергосистему.*

*Ключевые слова:* показатели энергоэффективности, розосереджена генерація (РГ), нетрадиційні та відновлювальні джерела енергії (НВДЕ), інтегровані системи.

*The paper consider sandanalyzes the application of energy efficiency indicators to select and build effective integrated energy systems. Posted algorithm for integrated assessment of energy sources in the energy supply system. Also with energy efficiency indicators can choose more efficient energy source for integration into the grid.*

*Keywords:* indicators of energy efficiency, dispersed generation (WG), alternative and renewable energy sources (Rs), integrated system.

## **Вступ**

Безумовно найближче майбутнє належить інтегрованим системам енергопостачання споживачів, оскільки протягом значного періоду часу будуть «співіснувати» як централізовані, так і децентралізовані системи із поступовим розширенням останніх. На сучасному етапі винятково важливою задачею є забезпечення такого «співіснування». Звичайно ми повинні прагнути, щоб воно було безконфліктним, гармонійним і максимально ефективним [1].

Для оцінки впливу на роботу системи енергопостачання інтеграції розосередженої генерації (РГ) інтрадиційних та відновлювальних джерел енергії (НВДЕ) звернемося до показників ефективності використання паливно-енергетичних ресурсів.

Згідно наказу НАЕР № 35 від 13.03.08 «Про запровадження системи показників ефективного використання паливно-енергетичних ресурсів» [2] до переліку показників ефективного використання паливно-енергетичних ресурсів включено нижченаведені показники.

Основні показники:

- енергоемність валового внутрішнього продукту (ВВП) (кг у.п./грн., кг н.е./дол. США за ПКС);
- питомі витрати енергоносіїв на одиницю основних видів виробленої продукції (наданих послуг) за видами економічної діяльності та за регіонами;
- втрати основних видів енергоресурсів та води за видами економічної діяльності та регіонами.

Допоміжні показники:

- загальний обсяг споживання паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР) по Україні в одиницях умовного палива та за окремими їх видами;
- обсяг споживання енергоресурсів за видами економічної діяльності та регіонами;

- обсяг основних видів продукції (послуг) у натуральних одиницях за видами економічної діяльності та регіонами;
- обсяг основних видів продукції (послуг) у натуральних одиницях за видами економічної діяльності та регіонам;
- енергоємність ВВП за видами ПЕР;
- енергоємність валової доданої вартості (ВДВ) за видами економічної діяльності та регіонами;
- енергоємність ВДВ продукції (послуг), які виробляються (надаються) користувачами ПЕР;
- обсяг економії основних видів енергоресурсів у регіонах за рахунок підвищення енергоефективності та впровадження енергозберігаючих заходів у натуральних та умовних одиницях;
- обсяг коштів, залучених на фінансування заходів з енергоефективності в розрізі регіонів (у тому числі окремо: власні кошти підприємств, з державного, місцевого бюджетів, інвестиції тощо);
- кількість встановлених приладів обліку споживання енергоресурсів та води (у натуральних показниках і відсотках до кількості об'єктів споживання ресурсів).

Оскільки основні та допоміжні показники актуальні тільки на рівні регіону, а РГ та НВДЕ можуть бути інтегровані на різних рівнях, то з метою більш детальної оцінки пропонуємо скористатися переліком показників енергоефективності за якими розраховуються основні і допоміжні показники, що наведені в таблиці 1. Також вони допоможуть нам обрати більш ефективне джерело енергії для інтеграції в енергосистему.

Таблиця 1 – перелік показників енергоефективності за якими розраховуються основні і допоміжні показники.

№ з/п	Показник	Одиниці вимірювання	Визначення
1	$\eta_{\text{екс}}$	%	<u>Ексергетичний коефіцієнт корисної дії</u> – величина, що характеризує термодинамічну ефективність процесів виробництва продукції, робіт, послуг і дорівнює відношенню корисно витраченої ексергії до підведеної.
2	$\eta$	%	<u>Коефіцієнт корисної дії</u> – відношення всієї кількості корисно використаної енергії об'єктом до кількості підведеної енергії.

*Продовження таблиці 1*

3	$\eta_{\text{ккв}}$	%	<u>Коефіцієнт корисного використання енергії (к. к. в.) для будь-яких процесів, установок, об'єктів</u> – це відношення корисно використаної енергії до енергії зовнішнього джерела, підведеної до об'єкту.
4	$\eta_{\text{кквп}}$	%	<u>Коефіцієнт корисного використання палива (в умовному обчисленні)</u> – це відношення корисно використаного в т.у.п. до кількості палива підведеного до об'єкту в т.у.п..

5	$K_{п.ер}$	%	<u>Коефіцієнт перетворення енергетичних ресурсів</u> – відношення всієї кількості енергії, одержаної в процесі перетворення енергетичного ресурсу, до кількості підведеної енергії.
6	$b$	Дж/одиноцю продукції, послуг	<u>Питомі витрати енергетичного ресурсу</u> – це відношення сумарних витрат ПЕР на виробництво даного виду продукції (послуг) до обсягу виробленої продукції (послуг).
7	$b_{ум}$	т.у.п./одиноцю продукції, послуг	<u>Питомі витрати палива (в умовному обчисленні)</u> – це відношення сумарних витрат ПЕР (в т.у.п.) на виробництво даного виду продукції (послуг) до обсягу виробленої продукції (послуг).
8	$w$	кВт.год./одиноцю продукції, послуг	<u>Питомі витрати електроенергії (в натуральному обчисленні)</u> – це відношення сумарної витрати електроенергії на виробництво даного виду продукції (послуг) до обсягу виробленої продукції (послуг).
9	$q$	Гкал/одиноцю продукції, послуг	<u>Питомі витрати теплоенергії (в натуральному обчисленні)</u> – це відношення сумарної витрати теплової енергії на виробництво даного виду продукції (послуг) до обсягу виробленої продукції (послуг).
10	$\Delta^П$	кг, м <sup>3</sup>	<u>Втрати енергоносіїв на виготовлення та експлуатацію (використання) речовини, матеріалів, продукції, виробів (у натуральних одиницях).</u>
11	$\Delta^E$	кг, м <sup>3</sup>	<u>Втрати палива та енергії під час видобутку, виробництва, перетворення, споживання, переробки, транспортування, зберігання та розподілу (у натуральному обчисленні).</u>
12	$K_{увер}$	%	<u>Коефіцієнт утилізації ВЕР</u> – відношення фактичної економії палива внаслідок використання ВЕР до можливої економії палива внаслідок використання ВЕР.
13	$K_{ввер}$	%	<u>Коефіцієнт виробітку за рахунок ВЕР</u> – відношення фактичного виробітку енергії за рахунок ВЕР до можливого виробітку енергії за рахунок ВЕР.
14	$K_{вевер}$	%	<u>Коефіцієнт використання виробітку енергії за рахунок ВЕР</u> – відношення фактичного використання енергії, одержаної за рахунок ВЕР, до фактичного виробітку енергії за рахунок ВЕР

Продовження таблиці 1

15	$K_{зРГ}$	%	<u>Коефіцієнт залучення РГ</u> – це відношення обсягів спожитої енергії, що вироблена за рахунок РГ, до всієї спожитої енергії.
16	$W_E$	Дж/одиноцю продукції, послуг	<u>Енергоємність продукції</u> – відношення всієї спожитої за рік енергії (в натуральному обчисленні) до річних обсягів продукції (в натуральному, умовному чи вартісному обчисленні).



17	$W_s$	кВт.год./одиницю продукції, послуг	<u>Електроємність продукції</u> – відношення всієї спожитої за рік електроенергії (в натуральному обчисленні) до річних обсягів продукції (в натуральному, умовному чи вартісному обчисленні).
18	$W_Q$	Дж(Гкал)/одиницю продукції, послуг	<u>Теплоємність продукції</u> – відношення всієї спожитої за рік теплової енергії (в натуральному обчисленні) до річних обсягів продукції (в натуральному, умовному чи вартісному обчисленні).
19	$W_{E,овф}$	Дж/грн	<u>Енергоємність основних виробничих фондів</u> – відношення всіх спожитих видів енергії до вартості виробничих фондів.
20	$W_{S,овф}$	кВт.год./грн.	<u>Електроємність основних виробничих фондів</u> – це відношення спожитої електричної енергії до вартості виробничих фондів.
21	$K_B$	%	<u>Коефіцієнт використання обладнання (завантаження за потужністю)</u> – це відношення фактично споживаної потужності до суми номінальних потужностей встановленого обладнання.
22	$K_{еп}$	кВт.год./т.у.п.	<u>Електропаливний коефіцієнт</u> – відношення обсягів спожитої за рік електричної енергії до річних обсягів спожитої енергії в паливі (без урахування витрат на виробництво електричної енергії).
23	$K_{ел}/E_{кор}$	%	<u>Коефіцієнт електрифікації</u> (відношення кількості спожитої електричної енергії до всієї спожитої енергії за рік) <u>у відношенні до корисної енергії</u> (корисна енергія = підведена енергія – втрати енергії).
24	$K_{ел}/E_{пер}$	%	<u>Коефіцієнт електрифікації</u> (відношення кількості спожитої електричної енергії до всієї спожитої енергії за рік) <u>у відношенні до первинної енергії</u> (енергія, зосереджена у природних ресурсах (наприклад, вугілля, сира нафта, сонячне світло, уран), яку не піддавали ніяким штучним змінам чи перетворенням)
25	$K_{тел}$	Дж/Вт (Гкал/кВт. год.)	<u>Теплоелектричний коефіцієнт</u> – відношення обсягів спожитої за рік теплової енергії (у вигляді пари та гарячої води) до річних обсягів використаної електричної енергії.
26	$W_{пр}$	Дж/год (т.у.п./год.)	<u>Енергоозброєність праці</u> – показник, що визначається загальною установчою потужністю двигунів, установок, механізмів в кВт, що припадає на 1 робітника.
27	$E_{пр,р}$	кВт/людину	<u>Електроозброєність праці за потужністю</u> – відношення встановленої потужності електроспоживачів до середньоспискової чисельності промислово-виробничого персоналу найбільш завантаженої зміни, взятих за певний період.

Продовження таблиці 1

28	$E_{пр,в}$	кВт.год/ людину	<u>Електроозброєність праці за енергією</u> – відношення всієї спожитої за рік на електричної енергії, враховуючи втрати в мережах, до середньоспискової чисельності промислово-виробничого персоналу чи до відпрацьованих людино-годин за той самий час.
----	------------	-----------------	---

29	$Q_n$	МВт (Гкал/год.)	<u>Номинальна теплопродуктивність</u> – найбільша теплопродуктивність, яку повинен забезпечити опалювальний водогрійний котел під час тривалої роботи при номінальних значеннях параметрів води з урахуванням допустимих відхилень.
30	$H_n$	т/год	<u>Номинальна паропроодуктивність</u> – відношення маси виробленого пару до часу роботи установки.
31	$Q_v^p$	Дж/кг, Дж/куб.м, Дж/моль	<u>Вища теплота згорання палива</u> – теплота, що виділяється при повному окисленні горючих складових палива, і теплота, що виділяється при конденсації водяної пари, що міститься в продуктах згорання палива.
32	$Q_n^p$	Дж/кг, Дж/куб.м, Дж/моль	<u>Нижча теплота згорання палива</u> – теплота, що виділяється при повному окисленні всіх горючих складових палива.
33	$P$	Вт	<u>Номинальна потужність</u> – це те навантаження, яке може нести прилад протягом тривалого проміжку часу і передбачена при його конструюванні (вказана в паспорті приладу).
34	$U$	В	<u>Номинальна напруга</u> – це така величина напруги, яка передбачена для роботи приладу при його конструюванні (вказана в паспорті приладу).
35	$I$	А	<u>Номинальний струм</u> – це така величина струму, яка передбачена для роботи приладу при його конструюванні (розраховується).
36	$f$	Гц	<u>Частота</u> – фізична величина, характеристика будь-яких процесів, які регулярно повторюються; кількість подій за одиницю часу.
37	$\cos\phi$	%	<u>Коефіцієнт потужності</u> — безрозмірна фізична величина, що характеризує споживача змінного електричного струму з точки зору наявності в навантаженні реактивної складової. Коефіцієнт потужності показує, наскільки зсувається по фазі змінний струм, що протікає через навантаження, щодо прикладеного до нього напруги.
38	$p$	Па	<u>Тиск повітря для спалювання (палива) перед пальником</u> – буде відрізнятись в залежності від палива і пальника.
39	$P_{xx}$	кВт	<u>Втрати потужності холостого ходу трансформатора</u> – наближено рівні втратам в сталі сердечника.
40	$P_{кз}$	кВт	<u>Втрати потужності короткого замикання трансформатора</u> – наближено рівні втратам в міді обмоток.
41	$Q_{ef}$	%	<u>Ефективність теплообміну</u> – це відношення отриманої кількості теплоти тілом приймачем до відданої кількості теплоти тілом передавачем або нагрівачем.

Для спрощення аналізу впливу на систему енергопостачання РГ та НВДЕв промисловості виконаємо розподіл показників енергоефективності за п'ятьма рівнями:

- регіон;
- промисловий вузол;
- підприємство;
- технологія;

- обладнання.

Також виконаємо розподіл даних показників за рівнями, який буде стосуватися житлового та комерційного секторів:

- регіон;
- громада;
- організація;
- дільниця;
- пристрій.

Такий розподіл показників за масштабом розгляду системи дозволить виключити ті, які на відповідному рівні не доцільно розглядати. Враховуючи те, що РГ та НВДЕ можуть бути інтегровані на різних рівнях (як на рівні пристрою так і на рівні регіону), таке ранжування дозволить нам оцінювати саме ті показники, які актуальні на потрібному нам рівні. Для того, щоб можна було зробити експрес-оцінку зміни показників відмітимо напрям бажаного збільшення ефективності по кожному з цих показників. Розподіл показників за рівнями для промислового та житлового сектору зведено в табл. 2.

Таблиця 2 – Ранжування показників за якими розраховуються основні і допоміжні показники за п'ятьма рівнями

№ з/п	Показник	Напря збільшен ня ефективн ості	Рівень				
			Регіон	Промисл овий вузол / громада	Підприс мство / організа ція	Технологія/ дільниця	Обладнан ня / пристрій
1	Ексергетичний коефіцієнт корисної дії	–	-	-	-	+	+
2	Коефіцієнт корисної дії	↑	-	-	-	+	+
3	Коефіцієнт корисного використання енергії	↑	+	+	+	+	+
4	Коефіцієнт корисного використання палива	↑	+	+	+	+	+
5	Коефіцієнт перетворення енергетичних ресурсів	↑	+	+	+	+	+
6	Питомі витрати енергетичного ресурсу	↓	+	+	+	+	+
7	Питомі витрати палива	↓	-	-	+	+	+
8	Питомі витрати електроенергії	↓	-	-	+	+	+
9	Питомі витрати теплоенергії	↓	-	-	+	+	+
10	Втрати енергоносіїв на виготовлення та експлуатацію (використання) речовини, матеріалів, продукції, виробів	↓	+	+	+	+	+
11	Втрати палива та енергії під час видобутку, виробництва, перетворення, споживання, переробки, транспортування, зберігання та розподілу	↓	+	+	+	+	+

Продовження таблиці 2

№ з/п	Показник	Напря збільшен	Рівень				
-------	----------	----------------	--------	--	--	--	--

		ня ефективності	Регіон	Промисловий вузол / громада	Підприємство / організація	Технологія/ дільниця	Обладнання / пристрій
12	Коефіцієнт утилізації ВЕР	↑	+	+	+	+	+
13	Коефіцієнт виробітку за рахунок ВЕР	↑	+	+	+	+	+
14	Коефіцієнт використання виробітку енергії за рахунок ВЕР	↑	+	+	+	+	+
15	Коефіцієнт залучення РГ	↑	+	+	+	+	+
16	Енергоємність продукції	↓	-	-	+	+	+
17	Електроємність продукції	↓	-	-	+	+	+
18	Теплоємність продукції	↓	-	-	+	+	+
19	Енергоємність основних виробничих фондів	↓	+	+	+	+	-
20	Електроємність основних виробничих фондів	↓	+	+	+	+	-
21	Коефіцієнт використання обладнання	↑	+	+	+	+	+
22	Електропаливний коефіцієнт	↑	+	+	+	+	-
23	Коефіцієнт електрифікації у відношенні до корисної енергії	↓	+	+	+	+	-
24	Коефіцієнт електрифікації у відношенні до первинної енергії	↓	+	+	+	+	-
25	Теплоелектричний коефіцієнт	↓	+	+	+	+	-
26	Енергоозброєність праці	↓	+	+	+	+	-
27	Електроозброєність праці за потужністю	↓	+	+	+	+	-
28	Електроозброєність праці за енергією	↓	+	+	+	+	-
29	Номінальна теплопродуктивність	-	-	-	-	-	+
30	Номінальна паропроодуктивність	-	-	-	-	-	+
31	Вища теплота згорання палива	-	-	-	-	-	+
32	Нижча теплота згорання палива	-	-	-	-	-	+
33	Номінальна потужність	-	-	-	-	-	+
34	Номінальна напруга	-	-	-	-	-	+
35	Номінальний струм	-	-	-	-	-	+
36	Частота	-	-	-	-	-	+
37	Коефіцієнт потужності	-	-	-	-	-	+
38	Тиск повітря для спалювання (палива) перед пальником	-	-	-	-	-	+
39	Втрати потужності холостого ходу трансформатора	↓	-	-	-	-	+
40	Втрати потужності короткого замикання трансформатора	↓	-	-	-	-	+
41	Ефективність теплообміну	↑	-	-	-	-	+

Вище наведені показники енергоефективності відображають вплив на систему енергопостачання інтеграції РГ та НВДЕ. Оцінку такого впливу пропонуємо проводити за наступним алгоритмом:

1. Обираємо рівень, на якому ми будемо аналізувати показники енергоефективності;
2. З відповідного переліку показників обираємо ті, на які має вплив інтеграція в енергосистему РГ та НВДЕ (табл. 3);

3. Обчислюємо значення показників до і після змін в енергосистемі;
4. Порівнюючи відповідні показники за допомогою напряму бажаного збільшення ефективності визначаємо в позитивну чи негативну сторону пройшли зміни. Також розраховуємо величину, зміни показників в ту чи іншу сторону.

Для вибору найбільш ефективного джерела енергії доцільно виконати такі дії:

1. Обираємо декілька варіантів систем електропостачання (на основі різних джерел енергії);
2. Обираємо рівень, на якому слід проаналізувати показники енергоефективності;
3. З відповідного переліку показників обираємо ті, які відображають вплив джерел РГ та НВДЕ на енергосистему (табл. 3);
4. Обчислюємо відібрані показники для вибраних джерел енергії.
5. Порівнявши показники за напрямом бажаного збільшення визначаємо найбільш ефективне джерело енергії для вибраного.

Таблиця 3 – Перелік показників енергоефективності за якими розраховуються основні і допоміжні показники, на які впливають РГ і НВДЕ.

Показник	Напря м збільшен ня ефективн ості	Рівень				
		Регіон	Промисл овий вузол / грумада	Підприсм ство / організац ія	Технологія/д ільниця	Обладнан ня / пристрій
Питомі витрати енергетичного ресурсу	↓	+	+	+	+	+
Питомі витрати палива	↓	-	-	+	+	+
Коефіцієнт залучення РГ	↑	+	+	+	+	+
Електропаливний коефіцієнт	↑	+	+	+	+	-
Коефіцієнт електрифікації у відношенні до корисної енергії	↓	+	+	+	+	-
Коефіцієнт електрифікації у відношенні до первинної енергії	↓	+	+	+	+	-

Оскільки інтеграція в систему енергопостачання РГ та НВДЕ має вплив на показники, що наведені в табл. 3, то зазнають змін і деякі з основних та допоміжних показників ефективності використання паливно-енергетичних ресурсів.

Перелік основних та допоміжних показників ефективності використання паливно-енергетичних ресурсів, на які впливають РГ і НВДЕ наведено нижче.

Основні:

- питомі витрати енергоносіїв на одиницю основних видів виробленої продукції (наданих послуг) за видами економічної діяльності та за регіонами;
- втрати основних видів енергоресурсів та води за видами економічної діяльності та регіонами.

Допоміжні:

- загальний обсяг споживання паливно-енергетичних ресурсів по Україні в одиницях умовного палива та за окремими їх видами;
- обсяг споживання енергоресурсів за видами економічної діяльності та регіонами;
- енергоємність ВВП за видами паливно-енергетичних ресурсів;
- обсяг економії основних видів енергоресурсів у регіонах за рахунок підвищення енергоефективності та впровадження енергозберігаючих заходів у натуральних та умовних одиницях;
- обсяг коштів, залучених на фінансування заходів з енергоефективності в розрізі регіонів (у тому числі окремо: власні кошти підприємств, з державного, місцевого бюджетів, інвестиції тощо).

### **Висновок**

Україні поступово потрібно модернізувати енергетичну систему відповідно до світових тенденцій розвитку енергетики (інтелектуальна енергетика, SmartGrid, РГ та НВДЕ). Оскільки, цей процес є довготривалим, та потребує багато інвестицій, то на даному етапі потрібно максимально ефективно використовувати існуючі генеруючі потужності та мережі, поступово інтегруючи в систему електропостачання РГ та НВДЕ, з допомогою яких на початковому етапі зменшувати навантаження на мережу (проводити керування навантаженням/споживанням), а в подальшому, на їх основі створювати локальні мікромережі, з централізованим диспетчерським керуванням.

В статті проведено оцінку впливу інтеграції РГ та НВДЕ на систему енергопостачання та сформовано алгоритм для вибору найбільш ефективного джерела енергії. Для спрощення аналізу досліджуваних систем виконано розподіл показників енергоефективності за п'ятьма рівнями: регіон, промисловий вузол/група, підприємство/організація, дільниця/технологія, обладнання/пристрій. Такий розподіл показників за масштабом розгляду системи дозволив виключити ті, які на відповідному рівні не доцільно розглядати.

### **Список літератури**

1. Праховник А. В. Від управління електроспоживанням до енергетики сталого розвитку // Збірник праць представлених на науково-технічній конференції "Енергетика: економіка, технології, екологія" м. Київ, 14-15 січня 2010 р. – К.: НТУУ „КПІ”, 2010. – С.7-17.
2. Наказ НАЕР № 35 від 13.03.08 «Про запровадження системи показників ефективного використання паливно-енергетичних ресурсів».
3. Відновлювана енергетика України – стан і перспективи розвитку // Новини енергетики. – 2003. – №9. – С.35-37.
4. Державне регулювання використання нетрадиційних видів палива і джерел енергії та енергозбереження в Україні/ Ю.О.Шульжик // Нетрадиц. і понов. джерела енергії як альтернативні первинним джерелам енергії в регіоні: Матер. Другої міжнар. наук.-практ. конф., Львів, 19-20 червня 2003 р. – Л., 2003. – С.31-35.
5. Енергетика XXI століття. Шляхи розвитку та перспективи/ О.Б.Гуменюк, Н.В.Семенюк // Вісн. Технол. ун-ту Поділля. Ч. 2. Техн. науки. – 2003. – №4. – С.152-156.
6. Енергозабезпечення України. Погляд у 2050 рік/ Г.Гелетуша, Т.Железна, М.Жовмір та ін. // Зелена енергетика. – 2003. - №4. – С.4-6.

7. Закон України. Про альтернативні джерела енергії: від 20 лютого 2003 р., №555-IV // Офіц. вісн. України. – 2003. - №12. – С.73-78.
8. Нетрадиційні і поновлювані джерела енергії/ А.В.Мартинов, О.Б.Неженцев, М.О.Шевченко// Основи енергозбереження: Навч. посіб. – Луганськ, 2003. – Розд. 7.4. – С.91-129.

УДК 621.31

**Т.М. Базюк аспірант, І.В.Золотоверха студентка,  
ВИКОРИСТАННЯ АКТИВНОГО СПОЖИВАЧА З ТОЧКИ ЗОРУ ОПТИМІЗАЦІЇ  
ГРАФІКІВ НАВАНТАЖЕННЯ**

*Однією з головних проблем об'єднаної енергосистеми України є нерівномірний попит споживачів на електричну потужність та енергію, що призводить до значних коливань графіків навантаження. Ефективним заходом, який дозволяє частково вирішувати проблеми дефіциту електричної потужності, фізичного зносу обладнання електростанцій, надмірної енерговитратності, великих втрат в об'єднаній енергосистемі (ОЕС), екологічних факторів та зростання ціни на електроенергію є оптимізація графіків навантаження за допомогою участі активного споживача. Ця стаття висвітлює особливості впровадження активного споживача в сучасну енергетичну систему.*

*Ключові слова: активний споживач, генерація, оптимізація, керування попитом, графіки навантаження, енерговикористання, диференційований тариф.*

**Т.Н. Базюк, І.В. Золотоверхая  
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АКТИВНОГО ПОТРЕБИТЕЛЯ С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ  
ОПТИМИЗАЦИИ ГРАФИКОВ НАГРУЗКИ.**

*Одной из главных проблем объединенной энергосистемы Украины является неравномерное спрос потребителей на электрическую мощность и энергию, что приводит к значительным колебаниям графиков нагрузки. Эффективным мероприятием, позволяющим частично решать проблемы дефицита электрической мощности, физического износа оборудования электростанций, чрезмерной энергозатратности, больших потерь в объединенной энергосистеме (ОЭС), экологических факторов и роста цены на электроэнергию является оптимизация графиков нагрузки посредством участия активного потребителя. Эта статья освещает особенности внедрения активного потребителя в современную энергетическую систему.*

*Ключевые слова: активный потребитель, генерация, оптимизация, управление спросом, графики нагрузки, энергопотребления, дифференцированный тариф.*

**T.N. Baziuk, I.V. Zolotoverkhaya  
THE USE OF ACTIVE CONSUMER IN TERMS OF OPTIMIZING PRODUCTION  
SCHEDULES.**

*One of the main problems of the united energy system of Ukraine is the uneven consumer demand for electric power and energy, which leads to significant fluctuations of load. Effective measure that allows to partly solve the problem of shortage of electric power, power plant equipment wear and tear, excessive energy consumption, giving big losses in the integrated power system (IPS), environmental factors and the increase in the price of electricity is the optimization of load through the active participation of the consumer. This article highlights the features of the introduction of an active consumer in the modern energy system.*

*Keywords: active consumer, the generation, optimization, demand management, load schedules, energy, differentiated tariff.*

Попит споживачів на електричну потужність в об'єднаній енергосистемі України має нерівномірний характер. Це проявляється в добових, тижневих та сезонних коливаннях навантаження. Однак, виробництво електроенергії найбільш ефективно та найбільш вигідне тільки в тому випадку, коли такі коливання при повному навантаженні системи залишаються якомога меншими.



Добовий графік навантаження в об'єднаній енергосистемі України характеризується різким зростанням навантаження у години вечірнього піку і значним зниженням у години нічного провалу. Вирівнювання добового графіку споживання є досить ефективним заходом як з економічної так і з технічної точки зору, який дозволяє частково вирішувати проблеми дефіциту електричної потужності, фізичного зносу обладнання електростанцій, надмірної енерговитратності, великих втрат в об'єднаній енергосистемі (ОЕС), екологічних факторів та зростання ціни на електроенергію. [1]

Єдиним способом вирівнювання графіка навантаження є активна участь споживачів у цьому процесі, а для цього їх потрібно зацікавити. Одним із найдієвіших методів є економічне зацікавлення споживачів.

Стимулом для споживачів зменшувати власне споживання електроенергії є існуючі тарифи. На сьогодні в Україні існують три основні види тарифів сплати за використану електричну енергію в побуті: одноставковий і диференційований - двохзонний та трьохзонний. Що стосується одноставкового тарифу, то єдине чого можна добитися від споживача - це є зменшення об'ємів споживання, за рахунок оптимізації режимів роботи обладнання і зменшення втрат, з метою економії коштів при розрахунках за спожиту електроенергію. При використанні цього тарифу споживач платить за використану електроенергію, обраховану лічильником за встановленим єдиним тарифом для всієї ОЕС України. Однак відсутність диференціації вартості електроенергії за часом не стимулює споживачів знижувати навантаження в години максимуму та підвищувати в години нічних провалів, тобто не сприяє вирівнюванню графіка навантаження ОЕС.

Диференціація вартості електроенергії стимулює споживачів знижувати навантаження в години максимуму та підвищувати його в години нічних провалів, в наслідок чого графік споживання електричної енергії вирівнюється. Умовою переходу споживача на оплату за електроенергію по диференційованому тарифу, є наявність сучасних систем обліку, з багатотарифними електронними електролічильниками. [2]

В Україні діє трьохтарифна система розрахунків з промисловими і непромисловими споживачами, при якій у години пік вартість споживання електроенергії набагато вище, ніж в години нічного провалу. Ставки тарифів різні по регіонах України і враховують як специфіку місцевого складу генеруючих потужностей, так і особливості місцевих споживачів. За наявності диференційованого обліку споживання електроенергії за періодами часу приймаються наступні тарифні коефіцієнти. Для двозонних тарифів: 0,7 тарифу в години нічного мінімального навантаження енергосистеми (з 23-ї до 7-ї години); повний тариф у інші години доби. Для тризонних тарифів: 1,5 тарифу в години максимального навантаження енергосистеми (8<sup>00</sup> до 11<sup>00</sup> і з 20<sup>00</sup> до 22<sup>00</sup>); 0,4 тарифу в години нічного мінімального навантаження енергосистеми (з 23<sup>00</sup> до 7<sup>00</sup>); повний тариф у інші години доби (напівпіковий період). [3,5]

На практиці у розрахунках електропостачальників із споживачами електроенергії слід поновити використання двоставкового тарифу і розширити сферу його застосування для інших груп споживачів. Адже більшість споживачів працюють в одну чи дві зміни і беруть участь у максимумі ОЕС України своїм найбільшим навантаженням. З метою заповнення графіка навантаження ОЕС України необхідно передбачити диференціацію ставки за спожиту електроенергію. Двоставковий тариф повинен передбачати понижену ставку за енергію, яка споживається у години мінімального навантаження ОЕС.

Важливо відзначити, що вартість електроенергії вночі більш ніж в 6 разів нижче вартості пікової енергії, а напівпікова дешевше пікової майже в 2 рази [1]. Практика використання цих тарифів доводить їх ефективність у вирішенні проблеми

управління попитом споживачів – вирівнювання графіка електричного навантаження для надійного та сталого функціонування енергосистеми України.

Проведений аналіз результатів використання диференційованих тарифів [4] показав, що за період з 1995 по 2009 рік кількість споживачів, що застосовували диференційовані тарифи, поступово зростала, в результаті чого відбулося помітне вирівнювання добових графіків електричного навантаження енергосистеми, і як наслідок, відбулося вирівнювання ранкового піку (рис. 1).

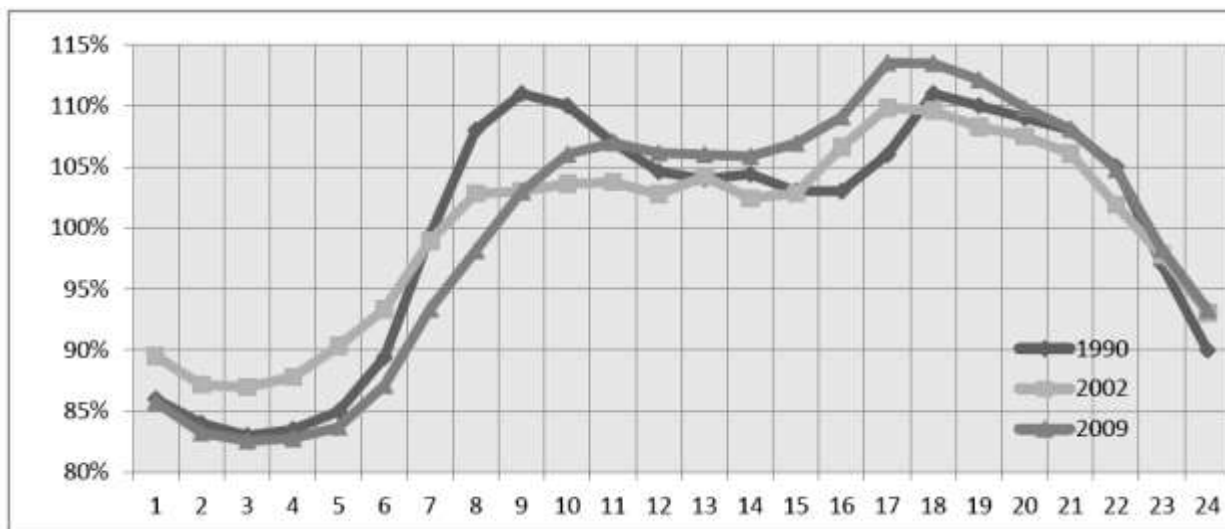


Рисунок 1 –Добові графіки електричного навантаження об'єднаної енергосистеми України для зимового режимного дня 1990, 2002 та 2009 років (приведені до середньодобового навантаження) [4].

Таким чином, одним з найдієвіших рішень проблеми вирівнювання графіка електричного навантаження є система тарифів, диференційованих за періодами часу. Тобто управління попитом споживачів може зробити досить вагомий вклад в регулюванні графіка електричного навантаження, забезпечивши можливість, як більш раціонального використання існуючого генеруючого обладнання, так і звільнення коштів від будівництва високовартісних пікових потужностей.

Показником, що визначає нерівномірний характер навантаження, є відношення середньої енергії до пікової енергії, поставленої до споживача за певний час. Таке відношення називається *коефіцієнтом навантаження*. Більшість електричних систем було спроектовано з урахуванням деяких добових, тижневих і сезонних коливань навантаження, щоб можливо було обслуговувати енергоустановки споживачів відповідно до графіків попиту. Однак, виробництво електроенергії найбільш ефективно в тому випадку, коли такі коливання при повному навантаженні системи залишаються якомога меншими, а коефіцієнти навантаження зберігаються високими. Тому в останні десятиліття енергопостачальні компанії намагаються більш ефективно використовувати існуючі енергоустановки, а не будувати нові.[6]

Споживач в першу чергу зацікавлений в енергонезалежності, енергозбереженні, у захисті навколишнього середовища, у зниженні залежності від імпорту палива.

З технічної точки зору, керування навантаженням є розділом управління енерговикористанням, що охоплює дії, ініційовані енергопостачальною компанією або її споживачами для пікового обмеження навантаження, для заповнення її провалів або зсуву на інший час доби.

Аналіз добового функціонування електричної підсистеми свідчить про те, що потреби в електричній потужності суттєво змінюються протягом доби, тижня, сезону. Це є однією з основних складових проблем негативного впливу динаміки навантаження на енергоефективність сучасної електроенергетики світу.

Ці проблеми особливо характерні для енергосистем України, що мають великі нерегульовані енергоблоки, тому що їхні енергопостачальні компанії можуть лише незначно впливати на попит на електроенергію і, отже, стикаються з труднощами при збалансуванні попиту й енергопостачання їхніх виробничих систем. У таких умовах особливо важливо впливати на споживачів, що використовують електроенергію в різних цілях. При цьому повинні враховуватися час доби, ціни на електроенергію, зміни погоди, економічні умови. Це відкриває споживачам широкі можливості щодо ефективного використання електричної енергії для різноманітних потреб, отримуючи при цьому максимальну економію під час розрахунків за електроенергію за умови адаптивного керування власними режимами електроспоживання та активної участі в оптимізації електричного навантаження (ЕН) енергосистеми. Йдеться про принципово новий підхід до споживача, як до активного учасника енергоринку. Новизна такого підходу полягає в тому, що з'являються всі підстави і, що найголовніше, всі можливості розглядати споживача не тільки як користувача, а й як повноправного постачальника продуктів електроенергетичного виробництва та системних послуг на ринку електричної потужності (електроенергії). Варто лише створити привабливі умови та прийняти відповідні заохочувальні заходи, які б дозволили системному оператору залучати споживачів до участі в оптимізації ЕН енергосистеми на ринкових засадах через механізми погодженого керування ними власними режимами електроспоживання.[7]

Проблема керування енерговикористанням зумовлена:

- необхідністю переходу господарського механізму від командно-адміністративної до ринкової системи керування;
- залежністю від імпорту основних енергоносіїв (нафта, газ, ядерне паливо);
- високим рівнем енергоємності продукції;
- низькою ефективністю енерговикористання;
- негативним впливом динаміки навантаження на природу генеруючої системи сучасної електроенергетики;
- неспроможністю проведення ефективної стратегії і тактики активного енергозбереження структурою генеруючих потужностей.

Дії по управлінню навантаженням виконуються для зміни форми кривої навантаження або збільшення генерації електроенергії поза енергопостачальною компанією. Вони можуть виконуватися з метою скорочення капітальних вкладень, поліпшення умов обмеження потужності, забезпечення економічно більш ефективного розподілу енергії, зниження вартості послуг, поліпшення коефіцієнтів навантаження, підвищення ефективності і надійності системи. Вказані заходи можуть включати як стимулюючі, так і примусові процедури.

Стимулюючі процедури це:

- непрямі дії або керування (наприклад, ініціативи по енергозбереженню і/або стимулювання застосування систем керування, установлених споживачем);
- децентралізація генерації (маються на увазі джерела постачань від не енергопостачальних компаній);
- пряме керування устаткуванням споживача (обмежники попиту і системи керування, встановлені енергопостачальною компанією);
- інформування споживачів (популяризація програм УЕВ серед споживачів);

- уведення стимулюючих тарифів (ціни на енергію в залежності від часу споживання), ставки на пікову потужність, ставки (знижки) за переривання (відключення) навантажень;
- акумуляція енергії.

Примусові процедури: обмеження потужності (погоджене або обов'язкові) і регулювання напруги.[6]

Отже, згладжуючи добові графіки навантаження можна домогтися наступних позитивних моментів:

- зниження рівня втрат електроенергії в мережах;
- зниження максимуму активної потужності енергосистеми;
- зменшення пікових навантажень;
- зниження потреби в дорогих пікових електростанціях.

Розглянемо інші можливості впливу споживача на форму графіка навантаження.

В сучасних системах ми переходимо від ієрархічного керування процесами енергопостачання та енерговикористання до клієнтоорієнтованого підходу. Важливим елементом оптимізації енергопроцесів в сучасних системах є зростання ролі активного споживача, який стає самостійним гравцем на ринку, тому актуальним є розробка нормативно-методичного та алгоритмічного забезпечення ефективно сумісної роботи генераторів електричної енергії (як централізованої, так і розосереджених джерел) та споживача, який має власні генеруючі потужності.

Під активним споживачем розуміється учасник споживчого ринку електроенергії, який має можливість виходячи зі своїх потреб оптимізувати графік завантаження своїх потужностей як з метою мінімізації витрат на електроенергію, так і з метою отримання доходу від продажу електроенергії та потужності.



Рисунок 2 – Можливості активного споживача (просюмера)

«Активний споживач» має можливість:

- регулювати режим свого електроспоживання у відповідності з необхідністю виконання своїх виробничих планів по випуску продукції або забезпечення енергією домогосподарства, оптимізуючи свої витрати на покупку електроенергії з зовнішніх ринків;
- визначати ступінь своєї участі в наданні додаткових послуг, що полягають у наданні керованих активних і реактивних навантажень (потужностей) для керування з боку системного оператора;
- вибирати умови завантаження власної потужності (при її наявності), для формування заявки на участь у купівлі / продажу електроенергії на оптовому і роздрібному ринках.[7]

Визначальний чинник досягнення цих характеристик – це керування, як альтернатива екстенсивному нарощуванню потужностей, що вимагає істотного підвищення керованості всіх елементів мережі та енергосистеми в цілому.

Як показує досвід провідних зарубіжних країн основними механізмами, «що включають» активного споживача у функціонування ІЕС є керування попитом та методи економічного стимулювання, у першу чергу, тарифи на електричну енергію. [8] Зупинимося на них більш детально.

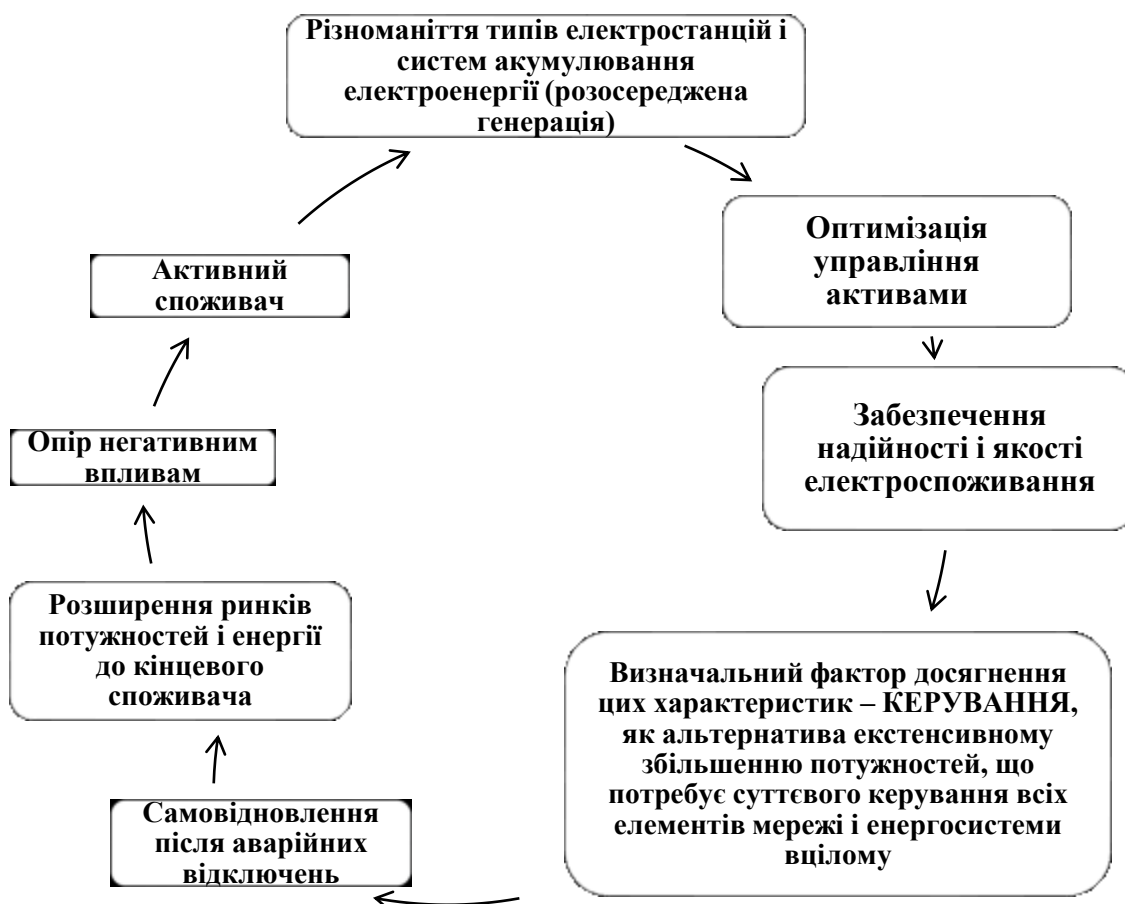


Рисунок 2 – Функціональні характеристики електроенергетики для досягнення ключових потреб (цінностей).

Рациональний спосіб взаємодії для кожного типу споживача є результатом економічного розрахунку. Однак цей розрахунок повинен враховувати цілеспрямовану самостійність поведінки споживача - здатність раціонально коригувати свою поведінку зі зміною зовнішніх умов.

Для цього необхідно проаналізувати можливості поведінки учасників енергосистеми. Спочатку споживач вибирає обсяг споживання електроенергії з мережі і обсяги власної генерації. При цьому обсяги генерації в мережу можуть бути обмежені енергетичною компанією як з точки зору обсягів, так і з точки зору періодів поставки. Крім того, вибір

споживача може бути обмежений умовами договорів як в частині споживання (наприклад, відключення некритичних навантажень у пікові години), так і в частині генерації (гарантована поставка в мережу певного обсягу електроенергії в певні години).

Під час оперативного прийняття рішень споживачем базовий порядок функціонування системи наступний:

1) Регулюючі органи вибирають тарифну політику - принципи і формули формування тарифів, методику диференціації споживачів для цілей тарифікації, верхні та нижні межі тарифів (у випадку обмеженого тарифного регулювання), регламенти ринкового ціноутворення (у разі регульованого ринку).

2) Енергетична компанія визначає умови договорів з конкретним споживачем або тарифи для окремих груп споживачів відповідно до встановленої облікової політикою і регламентами. Основні тарифи для активного споживача - це тариф на споживану електроенергію і тариф на передану в мережу електроенергію у випадку володіння генеруючими потужностями.

3) У випадках, коли це передбачено умовами договору, активний споживач повідомляє енергетичної компанії прогнозний профіль споживання на плановий період і погоджує свої зобов'язання з передачі електроенергії в мережу. Потім реалізуються ті чи інші зовнішні умови (погодні, економічні тощо), що впливають на потреби і можливості споживача. У випадках, коли це передбачено умовами договору, активний споживач коригує раніше повідомлений прогнозний профіль споживання на плановий період і уточнює свої зобов'язання з передачі електроенергії в мережу.

4) Споживач вибирає профіль споживання на період планування та обсяги власного вироблення енергії, як для покриття власних потреб, так і для передачі в місцеві енергетичні мережі відповідно до умов договорів і поточними потребами і можливостями.

5) У міру настання розрахункової дати споживач оплачує спожиту ним електроенергію і отримує плату за передану в мережу електроенергію відповідно до зафіксованими в контракті умовами та тарифами.[9]

Прямі витрати на виробництво електроенергії включають в себе в першу чергу паливні витрати. Економія від перерозподілу навантаження може бути оцінена безпосередньо.

Витрати побутового споживача спричинені перенесенням навантаження обчислити складніше, але в даному випадку наслідки від такого перенесення можна розділити на три категорії:

- незначні – перенесення споживання на непікові (нічні) години практично без наслідків;

- відмова від некритичних навантажень в пікові години;

- переноси навантаження і відмова від навантажень, пов'язані з істотними

незручностями.

Для цілей управління попитом доцільно розглядати перші дві категорії дій.

Розглянемо побутового споживача, що не володіє генеруючими потужностями. Його поведінка визначається прагненням до мінімізації функції витрат.

При перенесеннях навантаження споживач не змінює сумарний обсяг споживання, а може тільки перерозподіляти навантаження в часі. Якщо енергетична компанія не зацікавлена у впливі на профіль споживання, то для отримання запланованого прибутку їй досить використовувати єдиний тариф.

Ідеальним з точки зору мінімізації собівартості генерації електроенергії є рівномірне споживання електроенергії протягом доби. Таким чином, перенесення споживання здійснюється з денних годин на нічні, коли електричні мережі найменш завантажені.

Технологічні можливості побутових споживачів з перенесення навантаження на нічні години дуже обмежені. Доцільно поділити побутових споживачів з точки зору управління попитом на наступні категорії:

- багатоквартирні будинки;
- індивідуальні будинки з високим рівнем енергоозброєності (нові котеджі);
- індивідуальні будинки з низьким рівнем енергоозброєності;
- офісні приміщення.

Третя категорія споживачів володіє дуже малими можливостями по перенесенню навантаження, що матиме несуттєвий вплив.

Для інших категорій, існує досить обмежене коло побутових приладів, роботу яких можна перенести на ніч без впливу на комфорт споживачів. До них відносяться: пральна і посудомийна машини, кондиціонер, холодильник та електричний бойлер. Перенесення часу роботи інших електроприладів на непікові години є недоцільним, оскільки може суттєво вплинути на комфорт споживачів, та викликати багато незручностей.

Для стимулювання перенесення навантаження на нічні години використовується двозонний тариф в залежності від часу доби. Споживачі обладнуються багато режимним лічильником і платять за електроенергію за двозонному тарифом. Ставка нічного тарифу повинна бути досить малою, щоб повністю компенсувати втрати споживача, в тому числі - викликані незручностями від перенесення споживання.

Підвищення ефективності тарифної політики можливе за допомогою інформаційних заходів, спрямованих на популяризацію і рекламу вигод від перенесення споживання на нічні години, але це пов'язано з додатковими витратами.

Однак навіть з урахуванням цих заходів еластичність зусиль з перенесення навантаження вкрай мала і потенціал її майже вичерпаний у рамках вже діючої тарифної політики, що передбачає двозонний тариф «день / ніч». Існуючий тариф не створює стимулів до перенесення навантажень з пікових періодів на напівпікові години в рамках існуючої зони «день».

Чим нижче ціни в зоні «ніч», тим більший стимул для споживачів з перенесення навантаження на нічні години. Однак це зниження породжує і зміна сумарного обсягу споживання. Якщо зміною попиту в денні години при переході від єдиного тарифу до двозонного можна знехтувати у зв'язку з вкрай невеликою зміною тарифу, то істотне зниження нічних тарифів відносно денних, необхідне для забезпечення економічної мотивації споживання електроенергії вночі.

Аналіз моделі поведінки активного споживача показує, що можливості перерозподілу навантаження за допомогою диференційованих тарифів майже вичерпані. Подальша робота щодо зниження навантажень (і пікових в тому числі) на електричну мережу може вестися в рамках програм керування попитом, які передбачають зниження навантажень в пікові години за рахунок:

- прямого управління навантаженням (ПУН);
- подальшої диференціації тарифів за часом доби (погодинно) і тарифікації в режимі реального часу;
- переривання електропостачання для забезпечення системної надійності;
- інших програм зниження навантаження.[10]

#### Список використаних джерел

[1] Гуртовцев А. Л. Об опыте Украины по выравниванию графика электрической нагрузки энергосистем / А. Л. Гуртовцев // Электрические станции. – 2007. – №10. – С. 51-55.

[2] Кузнецов А. В. Структура и тарифное стимулирование управления режимами потребления электрической энергии / А. В. Кузнецов, Л. Т. Магазинник, В. П. Шингаров. – Ульяновск: УлГТУ. – 2003. – 104 с.

[3] Лозинський Д.Й., Тимченко М.П. Існуючий стан і перспективи законодавчого регулювання електрообігріву в Україні// Енергетика та електрифікація. - 2007.-№10.-С.31-41.

[4] .Находов В. Ф. Тарифи на електричну енергію в системі управління режимами енерговикористання / В. Ф. Находов, А. І. Замулко // Наукові вісті НТУУ «КПІ». — 1999. — № 1. — С. 38—43.

[5] Ціни та тарифи [Електронний ресурс] / НКРЕ. — К., 1995. — [www.nerc.gov.ua](http://www.nerc.gov.ua). — 23.12.12.

[6] .Енергоринок та тарифна політика України у сфері електроенергетики / Управління енерговикористанням : зб. доп. / Під заг. ред. д.т.н., проф. А. В. Праховника. — К. : Альянс за збереження енергії, 2001. — С. 242—357.

[7] Шувалова Д. Г., Сальникова Е. А., Волкова И. О. Активный потребитель в интеллектуальной энергетике // Академия энергетики. 2010. № 2. С. 50-57.

[8] Bremdal, V.A. (2011) “Prosumer Oriented Business in the Energy Market”, Energy and Finance Conference in Rotterdam, The Erasmus School of Economics, October 5-6, 2011.

[9] Бурков В. Н., Губко М. В., Новиков Д. А. Организационные механизмы управления в электроэнергетике / Управление развитием крупномасштабных систем [под ред. А.Д. Цвиркуна]. - М.: Издательство физико-математической литературы, 2012. С. 261-278.

[10] Шувалова Д. Г., Сальникова Е. А., Волкова И. О. Активный потребитель в интеллектуальной энергетике // Академия энергетики. 2010. № 2. С. 50-57.



УДК 621.311.003.13

**Находов В. Ф., Іванько Д. О., Бедерак Я. С., Богданова Ю. О.**  
**ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ УМОВ ДЛЯ ПОБУДОВИ СИСТЕМ  
ОПЕРАТИВНОГО КОНТРОЛЮ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ**

*Розглянуто питання визначення оптимального періоду та об'єкту контролю в системах оперативного контролю ефективності використання палива та енергії. Запропоновано підхід до вирішення зазначених питань, який базується на використанні теорії надійності роботи обладнання. З метою визначення об'єкту контролю на будь-якому підприємстві досліджена можливість побудови схем функціональної цілісності (СФЦ).*

*Ключові слова: системи оперативного контролю енергоефективності, оптимальний період контролю, об'єкт контролю, теорія надійності, схема функціональної цілісності, втрати виробничих ресурсів.*

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ УСЛОВИЙ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМ  
ОПЕРАТИВНОГО КОНТРОЛЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ**

*Рассмотрены вопросы определения оптимального периода и объекта контроля в системах оперативного контроля эффективности использования топлива и энергии. Предложен подход к решению указанных вопросов, основанный на использовании теории надежности работы оборудования. С целью определения объекта контроля на любом предприятии исследована возможность построения схем функциональной целостности (СФЦ).*

*Ключевые слова: системы оперативного контроля энергоэффективности, оптимальный период контроля, объект контроля, теория надежности, схема функциональной целостности, потери производственных ресурсов.*

**DETERMINATION OF OPTIMUM CONDITIONS FOR CONSTRUCTION OF  
OPERATIONAL CONTROL OF ENERGY EFFICIENCY**

*The problem of determining the optimal period and facility control systems of operational control fuel efficiency and power. An approach to solve these issues, based on the use of the theory of reliability of the equipment. To determine the control object to any enterprise investigated the possibility of building schemes of functional integrity (SFI).*

*Keywords: system of operational control efficiency, the optimal time control, object control, reliability theory, the circuit functional integrity, loss of productive resources.*

**Вступ**

На сьогодні питання реалізації політики енергозбереження та підвищення енергоефективності в Україні набули особливої актуальності. Як відомо, рівень споживання паливно-енергетичних ресурсів має значний вплив на конкурентоспроможність продукції кожного підприємства. Досягнення високого рівня енергозбереження не можливе без управління. Першочерговою функцією управління енергозбереженням є контроль ефективності використання паливно-енергетичних ресурсів.

Для вирішення питання контролю ефективності енерговикористання в зарубіжній практиці використовують так звані системи контролю і планування енергоспоживання (системи КіП). Проте, практичне використання таких систем на вітчизняних теренах лише починає набувати популярності.

Незважаючи на досить великий досвід застосування систем оперативного контролю за кордоном, ці системи мають низку недоліків, які потребують усунення [1]:

1. У традиційних системах контролю і планування енергоспоживання “стандарти” встановлюються у вигляді деякої константи, або рівняння однофакторної лінійної регресії, хоча на рівень енергоспоживання, як правило, впливають багато факторів, причому нелінійно.
2. Відсутність методики визначення об’єктів для створення систем КіП, тобто визначення окремих технологічних агрегатів чи їх груп для яких необхідно та економічно доцільно створювати такі системи.
3. Відсутність економічного стимулювання за підтримку та підвищення рівня ефективності енерговикористання.
4. „Індивідуальність” даних систем, тобто відсутність можливості порівняння між собою рівнів енергоефективності подібних об’єктів.

### Постановка задачі

Аналізуючи попередні роботи з розробки алгоритмів побудови оперативних систем контролю на підприємствах автори звернули увагу на наступні проблеми [2]:

1. Визначення об’єктів для створення систем оперативного контролю ефективності енергоспоживання.
2. Визначення оптимального періоду контролю.

Оптимальним періодом контролю енергоефективності  $T_{opt}$  називається найдоцільніший з технологічної та економічної точки зору інтервал часу між двома найближчими перевірками. Тобто,  $T_{opt}$  - це максимально можливий проміжок часу між двома процедурами визначення показників виробничого процесу, періодичність здійснення якого дозволяє виконувати дієвий контроль споживання енергії на виробництві і дозволяє максимально економити кошти на його проведення [3].

### Результати дослідження

Авторами роботи було запропоновано визначати оптимальний період контролю енергоефективності, як точку перетину кривої вартості ймовірних втрат та витрат на контроль енергоефективності на об’єкті управління (рис. 1).

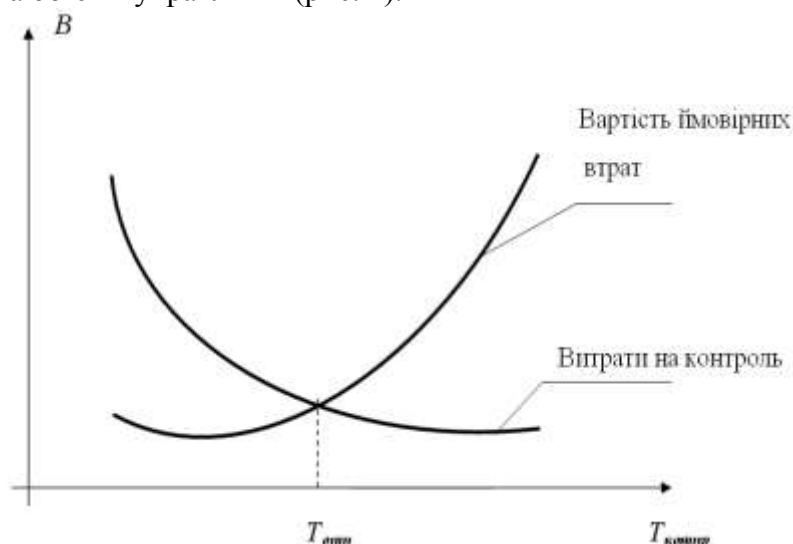


Рисунок 1 — Визначення оптимального періоду контролю.

Для правильного розрахунку показників енергоефективності, необхідно збирати дані від декількох систем контролю або приладів обліку. До них можна віднести: АСКОЕ – дозволяє отримати дані про фактичне споживання електроенергії, корпоративні інформаційні системи

– дані про обсяги продукції, що випускається, про проведення технологічних процесів, АСУТП – дані про параметри та режими роботи технологічного устаткування. Дані, які використовуються при розрахунках  $T_{opt}$ , визначаються для конкретного періоду та конкретного об'єкту (установка, технологічна лінія, виробничий процес, тощо). Тому важливо розуміти, що знаходження оптимального періоду контролю тісно пов'язане із визначенням об'єкту для проведення оперативного контролю ефективності енергоспоживання.

Головним питанням для вибору об'єкта контролю на сьогодні залишається визначення ймовірних втрат виробничих ресурсів при відсутності оперативного контролю. Для вирішення зазначених питань пропонується використовувати теорію надійності роботи обладнання. У процесі функціонування об'єкта виникають певні події, об'єкт приймає різні стани, які суттєво впливають на його подальше функціонування. Такими подіями є перш за все стан працездатні і непрацездатні, відмови і відновлення роботи обладнання. Чисельно надійність характеризують декількома показниками: імовірністю безвідмовної роботи, потоком відказів, напрацювання до відмови, середнім терміном служби тощо [4].

Для знаходження вартості ймовірних втрат виробничих ресурсів може бути використаний підхід, що застосовується, наприклад, для аналізу ризиків прийняття управлінських рішень.

Цей підхід базується на оцінці ефективності споживання електричної енергії на об'єкті, що спостерігалися під час певного періоду контролю енергоефективності (економія, перевитрата енергії або підтримання заданого рівня ефективності електроспоживання), а також на визначенні ймовірності або частоти появи кожного з можливих результатів.

Таким чином, задачу оцінки ризику системи можна розбити на наступні етапи:

1. Опис структури ресурсів системи;
2. Опис множини небезпечних станів ресурсів системи;
3. Оцінка імовірностей реалізації небезпечних станів;
4. Оцінка вартості збитків від реалізації небезпечних станів.

Далі, на основі розрахунків вартості можливих збитків від реалізації небезпечних станів та витрат на впровадження систем оперативного контролю, можна визначити оптимальний період контролю для будь-якого об'єкту.

Для визначення об'єкту контролю пропонується використовувати схеми функціональної цілісності (СФЦ).

Схема функціональної цілісності (СФЦ) - це логічно універсальне графічний засіб структурного представлення досліджуваних властивостей системних об'єктів. СФЦ утворюють на основні графічних символів, які включають в себе: два види вершин (функціональна і фіктивна), два види спрямованих ребер (кон'юнктивна дуга і диз'юнктивна дуга) і два види виходів дуг з вершин (прямий і інверсний). Тобто для формування СФЦ використовуються операції диз'юнкції (*OR*) та кон'юнкції (*AND*) над ініціюючими умовами й подіями [7].

Розробка СФЦ при проведенні структурного аналізу системи означає, перш за все, графічне представлення логічних умов реалізації власних функцій елементами і підсистемами. Таким чином, СФЦ аналітично еквівалентна системі логічних рівнянь, складеної за прямим і інверсним виходів всіх функціональних, фіктивних та розмножених вершин.

Другою важливою стороною побудови і подальшого використання СФЦ є вказівка конкретної мети моделювання — логічних умов реалізації досліджуваного системного властивості, наприклад, безвідмовності або відмови системи, безпеки або виникнення аварії і т.п [8].

Методологія вирішення питань визначення об'єкту та оптимального періоду контролю може бути показана на прикладі виробничої системи, яка являє собою технологічну лінію.

Схема функціональної цілісності для даної технологічної лінії зображена на рисунку 2.

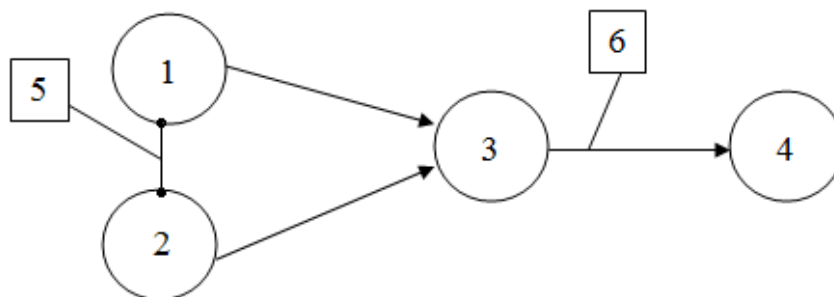


Рисунок 2 — СФЦ виробничого процесу.

1 - Установа №1; 2 - Установа №2; 3 - Установа №3; 4 - Установа №4; 5 – позначення зв'язку кон'юнкція; 6 – позначення зв'язку диз'юнкція.

Припускається, що на даному підприємстві наявна статистика відмов даної технологічної лінії за останні 16 тижнів, яка включає в себе кількість незапланованих зупинок установки №3 та установки №4.

Для знаходження вірогідності безвідмовної роботи установки №1 та установки №2, через відсутність статистичних даних, було використано метод експертного опитування з елементами математичного апарату нечіткої логіки.

Наступним кроком необхідно визначити вартість збитків для кожного конкретного випадку неефективної роботи об'єкта, що розглядається. Необхідно враховувати те, що збитки можуть бути різної природи та залежати від різних факторів роботи обладнання [9]. Так, для нашого випадку розглянемо п'ять різних видів збитків:

1. Збиток від простою робочої сили.
2. Збиток від недовикористання виробничих фондів.
3. Збиток від простою виробництва.
4. Збиток від браку продукції.
5. Збиток від перевитрати електричної енергії.

Тепер можна перейти, безпосередньо, до визначення об'єкту для проведення оперативного контролю ефективності енерговикористання.

Виходячи з побудованої схеми СФЦ для обраного виробничого процесу можна визначити п'ять можливих варіантів для вибору об'єкта контролю.

$\wedge$  - позначення «і», показує оператор зв'язку кон'юнкція.

$\vee$  – позначення «або», показує оператор зв'язку диз'юнкція.

Варіант 1.  $(Y1) \text{ та } (Y2) \text{ та } (Y3) \text{ та } (Y4)$ ;

Варіант 2.  $(Y1 \wedge Y2 \vee Y3 \vee Y4)$ ;

Варіант 3.  $(Y1 \wedge Y2) \text{ та } (Y3 \vee Y4)$ ;

Варіант 4.  $(Y1) \text{ та } (Y2 \vee Y3 \vee Y4)$ ;

Варіант 5.  $(Y2) \text{ та } (Y1 \vee Y3 \vee Y4)$ ;

Варіант 6.  $(Y1 \wedge Y2 \vee Y3) \text{ та } (Y4)$

Для кожного з варіантів можемо розрахувати сумарні збитки, які включають усі п'ять позицій, окремо за кожен тиждень. Для цього використаємо формулу (1):

$$\Sigma P_{3_n}^{Y_i} = Z_n^{Y_i} \cdot P_n^{Y_i}, \quad (1)$$

де  $P_{3_n}^{Y_i}$  – сумарні збитки для  $i$ -ої установки за  $n$ -ий тиждень;

$Z_n^{Y_i}$  – можливий максимальний збиток для  $i$ -ої установки за  $n$ -ий тиждень;

$P_n^{Y_i}$  – вірогідність відмови для  $i$ -ої установки за  $n$ -ий тиждень.

Результати розрахунків сумарних збитки для установок за кожен тиждень, при контролі кожної установки окремо занесемо до таблиці 1.

Таблиця 1 – Сумарні збитки для установок за кожен тиждень окремо.

Номер тижня, t	$\Sigma\Pi_1$	$\Sigma\Pi_2$	$\Sigma\Pi_3$	$\Sigma\Pi_4$
1	453,56	619,05	1626,88	737,23
2	610,84	791,74	2546,76	1148,30
3	801,38	1023,62	3833,08	1719,26
4	1063,32	1349,48	5543,33	2474,46
5	1458,87	1659,76	7714,05	3425,93
6	1854,09	2064,01	10336,28	4568,91
7	2306,42	2522,54	13355,16	5885,65
8	2849,47	3000,59	16675,68	7324,76
9	3488,13	3503,41	20156,17	8827,97
10	4079,05	4036,06	23629,11	10329,21
11	4526,69	4529,20	26939,60	11755,36
12	4931,56	4953,13	29943,71	13047,61
13	5293,73	5407,39	32543,24	14167,43
14	5589,26	6061,20	34693,14	15089,39
15	5827,67	7153,32	36381,43	15818,21
16	6195,48	7897,80	37655,62	16361,94

Витрати на проведення контролю споживання електричної енергії розділяються на дві складові :

- капітальні витрати  $K$  на створення системи контролю і планування енерговикористання розраховуємо за формулою (2):

$$K = B_1^* + B_2^*; \quad (2)$$

- експлуатаційні витрати розраховуємо за формулою (3):

$$EB = B_3^* + B_4^* + B_5^* + B_6^*. \quad (3)$$

Тоді загальні витрати на проведення контролю розраховуємо за формулою (4):

$$B_{\text{заг}} = K + EB, \quad (4)$$

де  $B_1^*$  – вартість проектування приладів, пристосувань, системи контролю, спеціального програмного забезпечення (зазвичай  $Z_1^*$  не перевищує 15 % від вартості устаткування  $Z_2^*$ );

$B_2^*$  – вартість виготовлення (придбання) приладів або системи контролю;

$B_3^*$  – вартість експлуатації системи контролю;

$B_4^*$  – вартість підготовчих робіт перед проведенням контролю енергоефективності (установка приладів контролю);

$B_5^*$  – вартість проведення контролю;

$B_6^*$  – вартість обробки даних після проведення контролю.

За вище наведеними формулами (2), (3), (4) розрахуємо вартість витрат на проведення оперативного контролю для кожної установки окремо для 16 тижнів. Результати розрахунків занесені до таблиці 2.

Таблиця 2 – Затрати на організацію контролю для кожної установки окремо.

t	Затрати на організацію контролю для установки №1, $B_{y1}$	Затрати на організацію контролю для установки №2, $B_{y2}$	Затрати на організацію контролю для установки №3, $B_{y3}$	Затрати на організацію контролю для установки №4, $B_{y4}$
1	4000,00	2480,00	2560,00	2560,00
2	3200,00	1840,00	1880,00	1880,00
3	2933,33	1626,67	1653,33	1653,33
4	2800,00	1520,00	1540,00	1540,00
5	2720,00	1456,00	1472,00	1472,00
6	2666,67	1413,33	1426,67	1426,67
7	2628,57	1382,86	1394,29	1394,29
8	2600,00	1360,00	1370,00	1370,00
9	2577,78	1342,22	1351,11	1351,11
10	2560,00	1328,00	1336,00	1336,00
11	2545,46	1316,36	1323,64	1323,64
12	2533,33	1306,67	1313,33	1313,33
13	2523,08	1298,46	1304,62	1304,62
14	2514,29	1291,43	1297,14	1297,14
15	2506,67	1285,33	1290,67	1290,67
16	2500,00	1280,00	1285,00	1285,00

Виходячи з усіх наведених даних можна знайти оптимальний період контролю на перетині функції затрат на організацію контролю и ймовірних втрат виробничих ресурсів при відсутності контролю ефективності енергоспоживання. Наведемо приклад визначення оптимального періоду контролю для першого варіанту вибору об'єкту контролю, тобто коли кожна з установок контролюється окремо.

На рисунку 3 показано графік визначення оптимального періоду контролю для першої установки окремо.

За графіком визначимо оптимальний період контролю та можливі витрати на проведення контролю в точці перетину кривих  $\Sigma\Pi_{1,i}=f(t)$  та  $B_{y1,i}=f(t)$ . Як видно з рисунка 3 оптимальний період контролю для першої установки складає 7,5 тижня. При цьому затрати на впровадження контролю будуть рівні 2614,28 грн. Розраховані оптимальні періоди контролю для інших варіантів комбінацій виробничих об'єктів зведемо в таблицю 3.

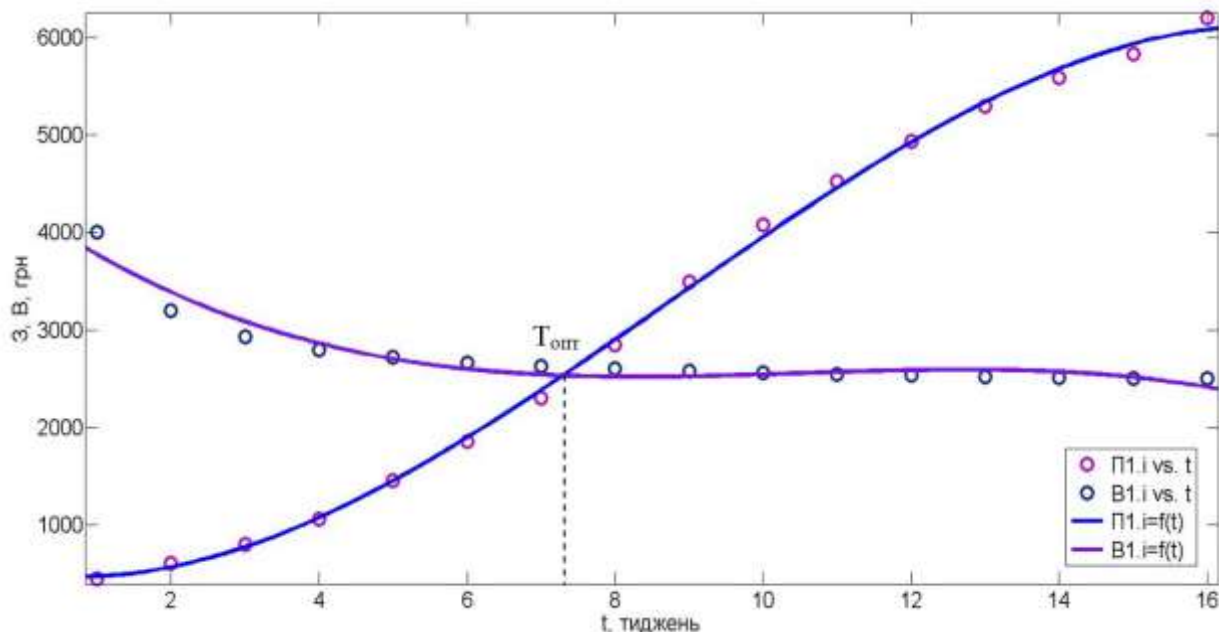


Рисунок 3 – Визначення оптимального періоду контролю для установки №1

Таблиця 3 – Значення оптимального періоду та загальних затрат на впровадження контролю для усіх варіантів

Варіанти вибору об'єкта для проведення контролю	Оптимальний період контролю, $T_{\text{опт.}}$ , тиждень		Затрати на впровадження контролю для кожного об'єкту окремо, $Z_{\text{заг.}}$		Сумарні затрати для технологічної лінії, $\Sigma Z_{\text{заг.}}$	$P_n$
	T	Т	П	З		
Варіант 1	T1	7,5	П1	2614,28	8008,58	87,33
	T2	4,5	П2	1488,00		
	T3	1,5	П3	2220,00		
	T4	3	П4	1686,30		
Варіант 2	T1-4	3	П1-4	7622,01	7622,01	76,29
Варіант 3	T1-2	6	П1-2	3999,05	7726,58	83,99
	T3-4	3	П3-4	3727,53		
Варіант 4	T1	7,5	П1	2614,28	7880,95	85,81
	T2,3,4	2,5	П2,3,4	5266,67		
Варіант 5	T2	4,5	П2	1488,00	7784,86	84,68
	T1,3,4	3	П1,3,4	6296,86		
Варіант 6	T4	3	П4	1686,30	7622,01	82,75
	T1,2,3	3	П1,2,3	5935,71		

Розрахуємо для кожного з варіантів вибору об'єкту контролю ефективності енерговикористання затрати на зниження максимального збитку на 1 % за формулою (5):

$$P_n = \frac{\sum Z_{заг.n}}{(100 - \frac{\sum Z_{заг.n} \cdot 100}{Z_{макс.n}})}, \quad (5)$$

де  $\sum Z_{заг.n}$  - сумарні затрати для технологічної лінії, грн.,

$Z_{макс.n}$  - сумарні максимальні можливі збитки виробничих ресурсів, грн.,

$n$  – номер варіанту вибору об'єкту для проведення оперативного контролю.

Оскільки чим менша величина  $P_n$  тим вигідніше буде процедура контролю, тоді за результатами розрахунків (таблиця 3), найкраще контролювати усі чотири установки одночасно з оптимальним періодом контролю в 3 тижні.

### Висновки

1. Процес створення традиційних систем контролю і планування енергоспоживання (систем КіП), має низку недоліків, зокрема відсутня обґрунтована методологія визначення об'єкту та оптимального періоду контролю.

2. Запропонований підхід визначення оптимальних умов для здійснення оперативного контролю базується на розрахунках можливих втрат виробничих ресурсів при відсутності систем оперативного контролю на підприємстві.

3. Оптимальний період контролю енергоефективності може бути визначений, як точка перетину кривої вартості ймовірних втрат при відсутності контролю на об'єкті та витрат на створення систем оперативного контролю енергоефективності.

4. Для розрахунку можливих втрат виробничих ресурсів можуть бути використані методи, які передбачають застосування статистичних даних або експертного опитування з елементами нечіткої математики, що дозволяє проводити подібні розрахунки на будь-якому підприємстві.

4. З метою визначення об'єкту контролю на будь-якому підприємстві може бути використана теорія надійності роботи обладнання, а також побудова схем функціональної цілісності (СФЦ).

### Література

1. В.Ф. Находов. Аналіз діючих в Україні методик нормування питомих витрат паливно-енергетичних ресурсів / В. Ф. Находов, О. В. Бориченко, К. К. Кочетова // Промелектро. - 2007. - №2. – С. 42-48.

2. Находов В. Ф., Бориченко О.В., «Проблема контролю ефективності енерговикористання – основа практичного вирішення завдань енергозбереження», Матеріали міжнародної конференції «Енергозбереження, екологія, ефективність: Шляхи зниження енергозалежності України», Київ, 14 травня 2008 р.

3. Находов В.Ф. Нормування і оцінка ефективності споживання електроенергії/ Дисертація на здобуття вченого звання к.т.н. - Київ, 1986.

4. [Костерев В.В. Надежность технических систем и управление риском](#) / Костерев В.В./ МИФИ.-2008.-280 с.

5. Рябинин И.А., Черкесов Г.Н. Логико-вероятностные методы исследования надежности структурно-сложных систем. - М.: Радио и связь, 1981. - 216 с.

6. Нечипоренко В.И. Структурный анализ систем (эффективность и надёжность). - М.: Сов. радио, 1977. - 214 с



7. Рябинин И.А., Можяев А.С., Свирин С.К., Поленин В.И. [Технология автоматизированного моделирования структурно-сложных систем](#) // Морская Радиоэлектроника. 2007. №3
8. Мусаев А.А., Гладкова И.А. [Современное состояние и направления развития общего логико-вероятностного метода анализа систем](#) // Труды СПИИРАН. 2010. Вып. 12. С. 75–96.
9. Методика определения ущерба потребителя от перерыва электроснабжения. – М. : ЭНИН им. Г. М. Кржижановского, 1968. – 29 с.
10. Методика определения экономического ущерба от отказов. – М. : Изд-во стандартов, 1975. – 10 с

УДК 621.311.003.13

**Находов В.Ф., Іванько Д.О., Головка А.В.**  
**ВИБІР МЕТОДУ ПОБУДОВИ «СТАНДАРТІВ» ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ НА**  
**ОСНОВІ КІЛЬКІСНИХ ТА ЯКІСНИХ КРИТЕРІЇВ**

*Запропоновано підхід до вибору методу математичного моделювання обсягу витрат енергоресурсів, що застосовується для встановлення «стандартів» енергоспоживання в системах оперативного контролю ефективності використання палива та енергії. Методологія вибору методу моделювання розглянута на прикладі автоматизованої лінії розливу, що працює на підприємстві з виробництва напоїв. Визначення найбільш адекватних математичних моделей здійснюється за низкою кількісних показників (середня похибка апроксимації  $A$ , %, критерій Фішера (F-критерій), залишкова дисперсія моделі  $D_{\text{зал}}$ , інформаційний критерій Акаїке АКІ, критерій Шварца ВІС) з урахуванням якісних показників пріоритетності використання відповідних моделей в системах оперативного контролю енергоефективності. З метою багатокритеріального вирішення задачі вибору кращого методу моделювання пропонується застосування методу аналізу середовища функціонування (DEA (Data Envelopment Analysis) аналіз).*

*Ключові слова: системи оперативного контролю енергоефективності, "стандарт" енергоспоживання, критерії адекватності математичних моделей, алгоритм Мандані, DEA (Data Envelopment Analysis) аналіз.*

*Предложен подход к выбору метода математического моделирования объема расходов энергоресурсов, что применяется для установления «стандартов» энергопотребления в системах оперативного контроля эффективности использования топлива и энергии. Методология выбора метода моделирования рассмотрена на примере автоматизированной линии разлива, работающей на предприятии по производству напитков. Определение наиболее адекватных математических моделей осуществляется по ряду количественных показателей (средняя ошибка аппроксимации  $A$ ,%, критерий Фишера (F-критерий), остаточная дисперсия модели  $D_{\text{зал}}$ , информационный критерий Акаике АКІ, критерий Шварца ВІС) с учетом качественных показателей приоритетности использования соответствующих моделей в системах оперативного контроля энергоэффективности. С целью многокритериального решения задачи выбора лучшего метода моделирования предлагается применение метода анализа среды функционирования (DEA (Data Envelopment Analysis) анализ).*

*Ключевые слова: системы оперативного контроля энергоэффективности, "стандарт" энергопотребления, критерии адекватности математических моделей, алгоритм Мандани, DEA (Data Envelopment Analysis) анализ.*

*An approach to the selection of the method of mathematical modeling of power consumption, which is used to set the "standards" of energy consumption at the operational control systems of fuel efficiency and power. The methodology of choice modeling method is considered an example of an automated bottling line, running in production of beverages. Determining the most appropriate mathematical models implemented by a number of quantitative indicators (average error of approximation  $A$ ,%, Fisher's test (F-test), residual variance model, Akaike information criterion for AKI, Schwarz criterion BIC) taking into account the qualitative prioritization using relevant models in operational control systems. In order to solve the problem of multi-selecting the best modeling*

method is proposed applying the method of analysis of the functioning of the environment (DEA (Data Envelopment Analysis) analysis).

*Keywords:* operational control system of energy efficiency, "standard" of energy consumption, criteria of adequacy of mathematical models, the algorithm Mandani, DEA (Data Envelopment Analysis) analysis.

### Вступ

В зарубіжній практиці «стандарти» для будь-яких об'єктів контролю енергоефективності найчастіше встановлюють у вигляді досить спрощених математичних моделей, наприклад константи або однофакторного лінійного рівняння регресії [1]. Таке спрощення не дозволяє об'єктивно оцінювати обсяги споживання енергії через вплив багатьох чинників на енергоспоживання виробничих об'єктів. До того ж, здебільшого, характер цього впливу має нелінійний характер, що знижує точність отриманої моделі.

Нині розроблено і використовується багато методів побудови складних однофакторних та багатофакторних математичних моделей [3]. В роботі [2] було проаналізовано декілька підходів до вирішення зазначених питань. На прикладі погодинних статистичних даних споживання електроенергії автоматизованої лінії розливу підприємства з виробництва напоїв в залежності від випуску продукції були побудовані багатофакторні математичні моделі, шляхом: складання «індивідуальних» математичних моделей для кожного з можливих варіантів технологічного процесу, побудови багатофакторної лінійної регресії, багатофакторної нелінійної регресії у вигляді простого поліному та поліному з використанням специфічних функцій, а також побудови радіальної базисної нейронної мережі GRNN (Generalized Regression Neural Network).

Для вибору найбільш адекватної математичної моделі авторами було розглянуто декілька принципово різних критеріїв вибору моделей: середню похибку апроксимації  $A$ , %, критерій Фішера ( $F$ -критерій), залишкову дисперсію моделі  $D_{зал}$ , інформаційний критерій Акаїке АКІ, критерій Шварца BIC (таблиця 1).

Таблиця 1 — Кількісні показники адекватності різних математичних моделей

Критерій	Однофакторні регресійні моделі (ряди Фур'є) $P_{сум}=f(Q1)+f(Q2)+f(Q3)$	Багатофакторна лінійна регресія	Багатофакторна нелінійна регресія		Нейронна мережа
			Поліноміальна	З використанням специфічних функцій	GRNN
$D_{зал}$	362,66	203,914	217,51	215,284	201,025
$F$	0,817453	1,146551	1,248925	1,175727	1,43609
$A$ , %	2,46885	2,043998	2,14452	2,161131	1,99836
АКІ	6,176188	5,837868	5,752343	5,81274	5,61270
BIC	6,323445	5,985125	5,8996	5,959997	5,75996

Вибір найбільш об'єктивної моделі не обов'язково повинен обмежуватися тільки порівнянням перерахованих вище критеріїв. На практиці існує досить велика кількість

критеріїв, які застосовують в тому чи іншому випадку, однак деякі з них дублюють один одного, тому до їх вибору необхідно поставитися уважно, що дозволить зберегти час та кошти.

### Постановка задачі

Дані отримані при розрахунку показали, що під час вибору оптимального методу побудови математичної моделі доводиться стикатися з тим, що деякі критерії суперечать один одному, тобто один критерій показує найкращий результат на одній моделі, а інший - на іншій. Цей факт доводить те, що вибір кращого методу побудови математичних моделей енергоспоживання повинен здійснюватися одночасно за кількома різними критеріями та вирішуватися, як деяка багатокритеріальна задача.

Крім того певні критерії, що впливають на вибір моделі, можуть носити кількісний характер, тобто характеризувати “точність” побудованої моделі, а інші якісний характер. Умовно зазначимо, що якісні критерії характеризують “затрати” на побудову певної моделі.

При виборі якісних показників дослідник сам може вирішувати, які критерії необхідно враховувати при побудові математичної моделі. Наприклад, до них можна віднести “затрати” часу на побудову моделі  $T$ , фінансові затрати  $C$ , необхідну кваліфікацію персоналу  $K$  тощо.

### Результати дослідження

Для визначення якісних критеріїв вибору моделей можна застосовувати методи експертного опитування та нечіткої логіки.

Математичний апарат нечіткої логіки дозволяє описувати нечіткі поняття і значення, оперувати цими значеннями і робити нечіткі висновки. Такий підхід виявляється особливо корисним, коли деякі показники не можуть бути проаналізовані за допомогою загальноприйнятих кількісних методів або при необхідності проведення аналізу якісних, нечітко заданих показників. Наявність математичних засобів відображення нечіткості вихідної інформації дозволяє більш точно оцінити суб’єктивний характер якісних критеріїв вибору моделей [8].

Проілюструємо застосування такого підходу на прикладі визначення критерію, який характеризує “затрати” часу на побудову математичної моделі енергоспоживання  $T$ . Першочергово визначимо максимальний період часу  $t_m$ , який може бути затрачено на побудову математичної моделі. Якщо час побудови будь якої моделі перевищуватиме значення  $t_m$ , її використання будемо вважати недоцільним.

Для кожного конкретного підприємства значення  $t_m$  можуть бути різними і залежати від прийнятого періоду контролю, кількості обладнання, яке необхідно контролювати, кваліфікації персоналу тощо. З метою спрощення розрахунків приймемо для нашого випадку  $t_m$  рівним одній годині.

Шляхом опитування експертів розділимо період часу  $t_m$  на 3 частини (низькі затрати часу на побудову математичної моделі (low1), середні (average1), високі (high1)) в залежності від суб’єктивних оцінок та побажань експертів до швидкості побудови моделі. На її основі побудуємо вхідні функції приналежності. З метою отримання на виході певного критерія оцінки “затрати” часу на побудову математичної моделі в межах від нуля до одиниці застосуємо алгоритм Мандані [5]. Вихідну функцію приналежності, яка буде знаходитися від нуля до одиниці, також розділимо на три частини (низькі затрати часу (low2), середні (average2), високі (high2)). Задамо функції приналежності вхідних та вихідних змінних трикутною формою. Визначення критерію  $T$  при складанні «індивідуальних» математичних моделей для кожного з можливих варіантів технологічного процесу лінії розливу за допомогою програмного забезпечення Matlab показано на рисунках 1-3.

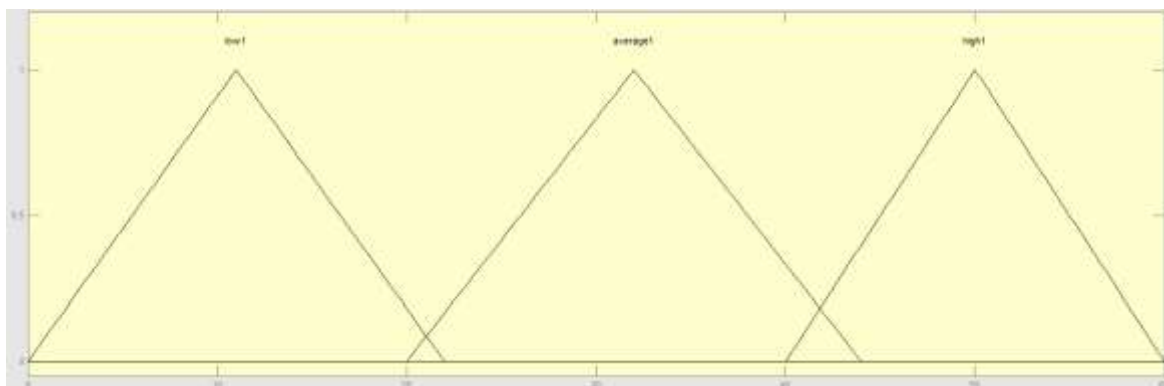


Рисунок 1 – Вхідні функції приналежності

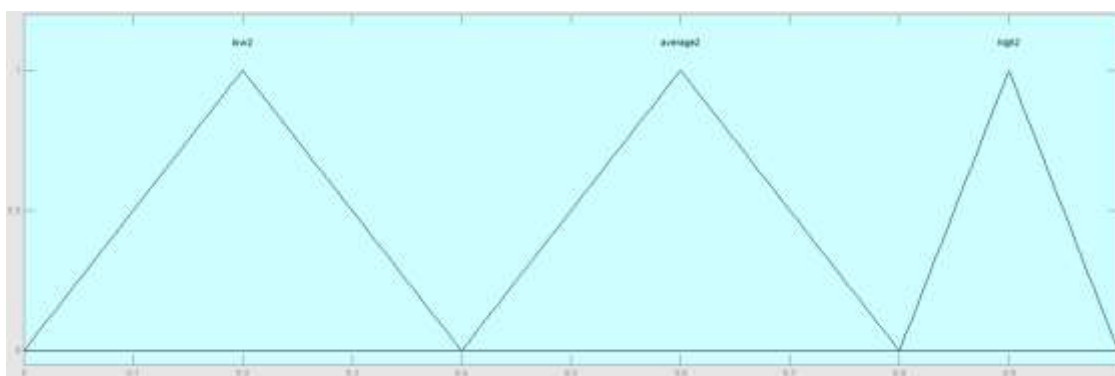


Рисунок 2 – Вихідні функції приналежності

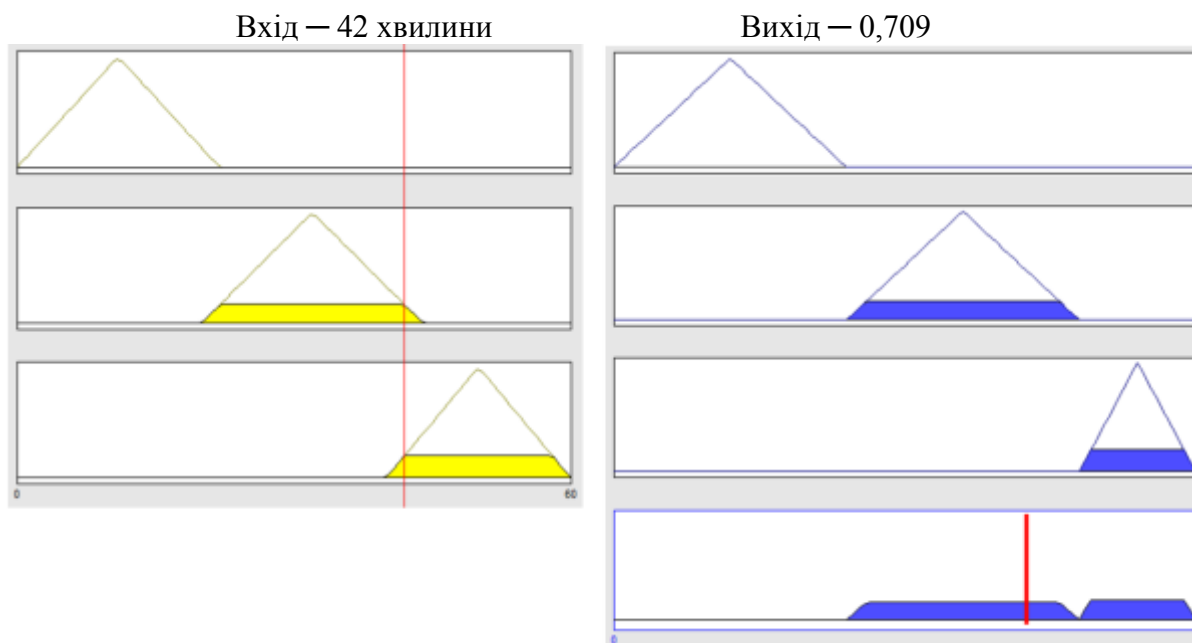


Рисунок 3 – Визначення критерію, який характеризує “затрати” часу за допомогою алгоритму Мандані

Розрахункові величини “затрат” часу на побудову моделі  $T$ , фінансових затрат  $C$ , оцінки кваліфікації персоналу  $K$  для всіх якісних критеріїв оцінки різних методів побудови математичних моделей наведено в таблиці 2.

Таблиця 2 — Якісні критерії адекватності математичних моделей

Якісні критерії	Однофакторні регресійні моделі (ряди Фур'є) $R_{\text{сум}}=f(Q1)+f(Q2)+f(Q3)$	Багатофакторна лінійна регресія	Багатофакторна нелінійна регресія		Нейронна мережа
			Поліноміальна	З використанням специфічних функцій	GRNN
Затрат часу, $T$	0,709	0,5	0,59	0,62	0,34
Фінансових затрат, $C$	0,67	0,4	0,45	0,5	0,4
Кваліфікації персоналу, $K$	0.56	0,4	0,34	0,32	0,45

Одним з підходів до вирішення задачі по вибору математичної моделі за кількома критеріями є обчислення зваженої суми декількох критеріїв. При використанні цього підходу виникає проблема вибору вагових коефіцієнтів. Значення цих вагових коефіцієнтів будуть суттєво впливати на вибір моделі, але з яких міркувань їх призначати залишається досить спірним питанням [7].

Авторами даної роботи запропоновано замість обчислення зваженої суми декількох критеріїв застосувати DEA (Data Envelopment Analysis) аналіз. У нечисленних статтях цей метод називається «аналіз середовища функціонування».

Метод DEA має ряд привабливих властивостей, а саме [4]:

- дозволяє обчислити один агрегований показник для кожного об'єкта в термінах використання вхідних факторів (незалежні змінні) для виробництва бажаних вихідних продуктів (залежні змінні);

- може одночасно обробляти багато входів і багато виходів, кожен з яких при цьому може вимірюватися в різних одиницях вимірювання;

- не вимагає апріорного зазначення вагових коефіцієнтів для змінних, що відповідають вхідним і вихідним параметрам при вирішенні задачі оптимізації;

- дозволяє при необхідності врахувати переваги експертів, що стосується важливості тих чи інших вхідних або вихідних змінних.

Узагальнені критерії ефективності на основі приватних показників якості - вихідних характеристик  $Y_i$  і величин витрачених ресурсів  $X_j$  - для кожного багатомірного багатозв'язного  $n$ -ого об'єкта на базі методу DEA формуються у вигляді максимізуючих функціоналів з обмеженнями [6]:

$$f_n = \max_{u_j, v_j \in G} \frac{u_1 \cdot Y_1 + u_2 \cdot Y_2 + \dots + u_n \cdot Y_n}{v_1 \cdot X_1 + v_2 \cdot X_2 + \dots + v_m \cdot X_m} \quad (1)$$

$$\frac{u_1 \cdot Y_1 + u_2 \cdot Y_2 + \dots + u_n \cdot Y_n}{v_1 \cdot X_1 + v_2 \cdot X_2 + \dots + v_m \cdot X_m} \leq 1, \quad (2)$$

$$n=1, 2, \dots, N$$

Система співвідношень (1) і (2) для  $n = \{1, 2, \dots, N\}$  визначає  $N$  задач нелінійного програмування. Рішення кожної з  $n$ -завдань для  $n$ -ого об'єкта дає значення узагальненого показника ефективності  $f_n$ , ранжування на одиничному інтервалі  $[0, 1]$ , і відповідні йому вагові коефіцієнти  $u_n = \{u_1, u_2, \dots, u_n\}$  і  $v_n = \{v_1, v_2, \dots, v_m\}$ , максимізуючи функціонал (1).

Отже, у відповідності з методом DEA “ефективність” математичної моделі енергоспоживання буде розглядатися як множина із  $N$  станів математичних моделей з 3 входами і 5 виходами, що відповідають, відповідно, кількості якісних та кількісних показників, які характеризуватимуть об'єктивність побудованої математичної моделі енергоспоживання.

Вхідними параметрами будемо брати обернені величини від якісних критеріїв, виходами – обернені величини від кількісних критеріїв. Величини критеріїв беруться оберненими з метою можливості застосування методу DEA (необхідно щоб більша величина критерію вказувала на кращу модель). Обернені величини кількісних і якісних критеріїв показано в таблицях 3, 4.

Таблиця 3 – Кількісні показники адекватності різних математичних моделей

Критерій	Однофакторні регресійні моделі (ряди Фур'є) $P_{\text{сум}}=f(Q1)+f(Q2)+f(Q3)$	Багатофакторна лінійна регресія	Багатофакторна нелінійна регресія		Нейронна мережа
			Поліноміальна	З використанням специфічних функцій	GRNN
$1/D_{\text{зал}}$	0,002757	0,004904	0,004597	0,004645	0,004975
$1/F$	1,223312	0,872181	0,800689	0,850538	0,696335
$1/A$	0,405047	0,489237	0,466305	0,462721	0,500411
$1/AIK$	0,161912	0,171295	0,173842	0,172036	0,178167
$1/BIC$	0,158142	0,167081	0,169503	0,167785	0,173612

Таблиця 4 – Якісні критерії адекватності математичних моделей

Якісні критерії	Однофакторні регресійні моделі (ряди Фур'є) $P_{\text{сум}}=f(Q1)+f(Q2)+f(Q3)$	Багатофакторна лінійна регресія	Багатофакторна нелінійна регресія		Нейронна мережа
			Поліноміальна	З використанням специфічних функцій	GRNN
Затрат часу, $1/T$	1,410437	2	1,694915	1,612903	2,941176
Фінансових затрат, $1/C$	1,492537	2,5	2,222222	2	2,5
Кваліфікації персоналу, $1/K$	1,785714	2,5	2,941176	3,125	2,222222

При цьому функціонал оцінки порівняльної ефективності представлених методів математичного моделювання енергоспоживання запишемо у вигляді:

$$f_n = \max_{u_i, v_j \in G} \frac{u_1 \cdot 1/T + u_2 \cdot 1/C + u_3 \cdot 1/K}{v_1 \cdot 1/D_{\text{зал}} + v_2 \cdot 1/F + v_3 \cdot 1/A + v_4 \cdot 1/AIK + v_4 \cdot 1/BIC} \quad (3)$$

$$\frac{u_1 \cdot 1 / T + u_2 \cdot 1 / C + u_3 \cdot 1 / K}{v_1 \cdot 1 / D_{\text{зал}} + v_2 \cdot 1 / F + v_3 \cdot 1 / A + v_4 \cdot 1 / \text{АІК} + v_4 \cdot 1 / \text{ВІС}} \leq 1 \quad (4)$$

Вирішуючи рівняння (3), (4) 5 разів для кожного з методів бачимо, що розрахункова «ефективність» не перевищує одиниці у разі використання нейронних мереж, що говорить про оптимальність цього методу, тому знайдені вагові коефіцієнти цієї моделі (таблиця 5) будемо використовувати в подальших розрахунках.

Таблиця 5 — Значення вагових коефіцієнтів

Ваги							
U1	U2	U3	v1	V2	V3	V4	V5
0,148254	0,126016	0,112014	0,00624	0,873473	0,627708	0,22349	0,217776

Таким чином було оцінено по знайденим вхідним і вихідним ваговим коефіцієнтам чисельні значення показників ефективності різних варіантів математичного моделювання енергоспоживання (таблиця 6).

Таблиця 6 — Значення показників ефективності для різних варіантів математичного моделювання енергоспоживання

$f_n$	Однофакторні регресійні моделі (ряди Фур'є) Рсум=f(Q1)+f(Q2)+f(Q3)	Багатофакторна лінійна регресія	Багатофакторна нелінійна регресія		Нейронна мережа
			Поліноміальна	з використанням специфічних функцій	GRNN
	0,428593	0,779611	0,806053	0,758932	1

Таблиця 6 свідчить, що найкращий результат показали нейронні мережі та багатофакторна нелінійна регресія з використанням поліномів.

### Висновки

1. При виборі методу математичного моделювання для побудови «стандартів» енергоспоживання в системах оперативного контролю енергоефективності необхідно використовувати як кількісні так і якісні критерії.

2. Процедуру вибору найкращого методу математичного моделювання слід розглядати як багатокритеріальну задачу.

3. Для врахування якісних показників пріоритетності доцільно застосовувати методи експертного опитування та нечіткої логіки.

4. З метою багатокритеріального вирішення задачі вибору кращого методу моделювання може бути використаний метод аналізу середовища функціонування (DEA (Data Envelopment Analysis) аналіз).

### Література

1. Праховник А.В. Контроль ефективності енерговикористання – ключова проблема управління енергозбереженням / А.В. Праховник, В.Ф. Находов, О.В. Бориченко // Энергосбережение, энергетика, энергоаудит. – 2009. – №8(66). – С. 41–54.



2. Вибір методів математичного моделювання процесів енергоспоживання в системах оперативного контролю енергоефективності/ Находов В. Ф., Іванько Д.О., Головка А.В.// доповідь на аспірантських читаннях пам'яті д.т.н., проф. А.В. Праховника. — 2013. — 10с.
3. Дьяконов В. Н. MATLAB 6.5 SP1/7 + Simulink 5/6® в математике и моделировании. / В. Н Дьяконов — Серия «Библиотека профессионала». — М.: СОЛОН-Пресс, 2005. — 576 с: ил.
4. Многомерная классификация на основе аналитического метода оценки эффективности сложных систем// Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук/Пищук А. П.// Красноярск – 2003 – 160 с.
5. Принятие решений в условиях нечеткой информации: учеб. пособие /А. Н. Павлов, Б. В. Соколов; ГУАП – СПб., 2006 – 72 с.
6. Системный анализ, моделирование и оптимизация функционирования систем центрального теплоснабжения в районах крайнего севера// Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук/Хафизов Р.Н.//Самара– 2007 – 170 с.
7. Лекции по методам оценивания и выбора моделей/К. В. Воронцов//Режим доступа: <http://www.MachineLearning.ru> — 2010 — 28 с.
8. Дьяконов В., Круглов В. Математические пакеты расширения MATLAB: Специальный справочник. СПб: Питер, 2001.

УДК 621.137

Данилюк І.О., Голованьов М.Ю.

**КОМПЕНСАЦІЯ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ. ТЕПЕРІШНЄ ТА МАЙБУТНЄ**

*Проведено огляд та виконаний аналіз засобів компенсації реактивної потужності, розглянуто алгоритми управління і функціонування систем управління. Показано, що конденсаторні батареї мають переваги над синхронними двигунами, тому вони набули найбільшої популярності. Останніми роками у зв'язку із значним прогресом у створенні швидкодіючих силових напівпровідникових приладів з'явилася тенденція до створення досконаліших структур перетворювачів змінного струму. Зокрема, для керування рівнем реактивної потужності. Найбільш поширеною в даний час технологією перетворення змінного струму є системи з подвійним перетворенням енергії.*

*Ключові слова: джерела реактивної потужності, конденсаторна батарея, транзисторні перетворювачі.*

**КОМПЕНСАЦИЯ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ. НАСТОЯЩЕЕ И БУДУЩЕЕ**

*Проведен обзор и выполнен анализ средств компенсации реактивной мощно с те, рассмотрены алгоритмы управления и функционирования систем управления. Показано, что конденсаторные батареи имеют преимущества над синхронными двигателями, поэтому они получили наибольшую популярность. Последние годы в связи со значительным прогресом в создании быстродействующих силовых полупроводниковых приборов появилась тенденция к созданию совершенных структур преобразователей переменного тока. В частности, для управления уровнем реактивной мощности. Наиболее распространенной в наше время технологии преобразования переменного тока являются системы с двойным преобразованием энергии.*

*Ключевые слова: источники реактивной мощности, конденсаторная батарея, транзисторные преобразователи.*

**REACTIVE POWER COMPENSATION. PRESENT AND FUTURE**

*The review and the analysis of reactive powerfully with those considered control algorithms and operation of control systems. Shown that the condenser batteries have advantages over synchronous motors, so they were most popular. Recent years due to the significant progressive catfish in the creation of high-speed power semiconductor devices there was a tendency towards the creation.Rennes improved structures of alternating current. In particular, management diferent levels of reactive power. Most common in our time a technology trans region of the AC system is a dual-energy conversion.*

*Keywords: sources of reactive power, capacitor bank, transistor converters.*

**Вступ**

В електричних системах здійснюється вироблення, розподіл і споживання електричної енергії, яку оцінюють багатьма параметрами, зокрема активною і реактивною потужностями [3]. Більшість електроприладів (двигуни, лектромагнітні пристрої, освітлювальне устаткування тощо), а також засоби перетворення електроенергії (трансформатори, перетворювачі) внаслідок своїх фізичних властивостей потребують для роботи, крім активної енергії, реактивної потужності (РП), що протягом половини періоду основної частоти мережі спрямована у бік електроспоживача, а впродовж іншої половини періоду - у зворотни бік. Незважаючи на те, що на вироблення РП, активну потужність, а отже, і паливо

безпосередньо не витрачають, її передавання по мережі супроводжується витратами активної енергії, які покриваються активною енергією генераторів (через додаткову витрату палива).

У споживачів електричної енергії в залежності від зміни режиму роботи змінюється споживання потужності, як активної, так і реактивної. Зовсім інша ситуація спостерігається у приймачах з нелінійним різкозмінним навантаженням [8].

Основним навантаженням у промислових електромережах є асинхронні електродвигуни і розподільчі трансформатори. Ця індуктивна навантаження в процесі роботи є джерелом реактивної електроенергії (реактивної потужності), яка здійснює коливальні рухи між навантаженням і джерелом (генератором), не пов'язана з виконанням корисної роботи, а витрачається на створення електромагнітних полів і створює додаткове навантаження на силові лінії живлення.

Приклад: при  $\cos(\varphi) = 1$  для передачі 500 KW в мережі змінного струму 400 V необхідний струм значенням 722 A. Для передачі тієї ж активної потужності при коефіцієнті  $\cos(\varphi) = 0,6$  значення струму підвищується до 1203 A. потужності. Відповідно все обладнання живлення мережі, передачі і розподілу енергії повинні бути розраховані на більші навантаження. Крім того, в результаті великих навантажень строк експлуатації цього обладнання може відповідно знизитися.

#### **Мета роботи.**

Аналіз сучасних систем і комплексів компенсації реактивної потужності та алгоритмів їх функціонування.

#### **Матеріали і результати досліджень.**

Зниження реактивної потужності, циркулюючої між джерелом струму і приймачем, а отже, і зниження реактивного струму в генераторах і мережах виконується компенсацією реактивної потужності(КРП).

За даними VDEW (Association of German Power Supply Companies), у розподільних електромережах Німеччини, завдяки КРП (до середньозваженого значення  $\cos\varphi=0,9$ ), у 1999 році було зекономлено порядку 9 млрд кВт•год. активної енергії, що склало понад 20% від сумарної (36,4 млрд кВт•год.) обсягу транзитних втрат.

Основними технічними засобами, за допомогою яких здійснюється компенсація реактивної потужності на промислових підприємствах, є: синхронні двигуни; синхронні компенсатори; конденсаторні батареї; статичні тиристорні конденсатори; компенсаційні перетворювачі та ін., а також допоміжні засоби компенсації, які крім компенсації реактивної потужності покращують показники якості електричної енергії. Наявність в мережі вказаних пристроїв сприяє підтримці балансу реактивної потужності і заданих рівнів напруги в точках їх включення [1].

Сучасні джерела реактивної потужності забезпечуються системами регулювання для зміни їх потужності відповідно до змін характеристик режиму електричної мережі. Крім того, інтенсивний розвиток напівпровідникової техніки обумовлює можливість створення технічно досконалих пристроїв управління. Застосування таких пристроїв дозволяє радикально змінити можливості регулювання потужності і розширити області їх застосування в електротехнічних системах електроспоживання [3].

Синхронний компенсатор (СК) є синхронним двигуном полегшеної конструкції, призначеним для роботи на неробочому ході. Недоліки СК: відносно висока вартість, а отже, і високі капітальні затрати на компенсацію; втрати активної потужності на компенсацію, що значно більше у порівнянні із іншими джерелами реактивної потужності; високі масогабаритні показники і необхідність триразового збільшення струму в ланцюзі обмоток збудження для реалізації номінальної потужності. Були проведені розрахунки, які показали, що на діючому

підприємстві в мережах 6 (10) кВ СД вигідно використовувати для компенсації реактивної потужності, якщо їх частота обертання більше 1000 об. / Хв. і потужність більше 1000 кВт. На знову проєктованому промисловому підприємстві оптимальним варіантом компенсації реактивної потужності є застосування конденсаторних батарей. Тому в якості засобу компенсації реактивної потужності СК не знайшли широкого застосування.

Поява високотемпературних надпровідників (ВТНП) надихнуло розробників ДСК на їх використання в обмотках збудження. Володіючи рівній токнесущей здатністю при істотно меншому поперечному перерізі в порівнянні з мідним провідником, ВТНП стрічка дозволяє збільшити щільність струму, не впливаючи на габаритні розміри ротора, що знижує необхідну величину струму збудження в кілька разів. Завдяки низьким втратам у ВТНП стрічці ККД динамічного синхронного компенсатора з надпровідникових обмотками (СДСК) на 1% вище, ніж у традиційних аналогів. Отже, використання СДСК характеризується низьким вкладу в загальні втрати електричної мережі, а стабільна температура обмоток збудження сприяє підвищенню його надійності та продовженню нормативного терміну служби.

Компактні розміри і відносно невисока вартість СДСК роблять його економічно ефективним засобом компенсації реактивної потужності. СДСК має моноблочну конструкцію (рис. 2), він легко піддається транспортуванню та розміщенню на території розподільчої підстанції. До того ж СДСК відрізняється високою стійкістю до короточасних коротких замикань і здатний витримувати дворазові перевантаження при зниженні напруги в мережі.

Перший прототип СДСК з номінальною потужністю +8 МВА був випробуваний в мережі електричної компанії Tennessee Valley Authority (TVA) (США), живильної дугову піч. Метою цих випробувань була не тільки демонстрація нового пристрою, але і перевірка його робочих характеристик на практиці.

Батареї конденсаторів (БК) є найпоширенішим засобом КРП саме в промислових системах електропостачання. Нині у мережах вітчизняних споживачів частка низьковольтних (до 1 кВ) конденсаторів становить 75-80 % від загального обсягу. Застосовують два способи включення БК: шунтові БК, які підключаються до шин підстанцій паралельно, і застосовуються для генерації реактивної потужності у вузлах мережі (поперечна компенсація рис. 1, а); БК, які включають в лінії послідовно для зменшення реактивного опору ліній (повздовжня компенсація рис. 1, б). БК комплектуються з окремих конденсаторів, сполучених послідовно і паралельно, в однофазному і трифазному виконання на номінальну напругу 0,22 - 10,5 кВ. В трифазному виконанні БК можна включати сполученням «зірка» або «трикутник» рис.1,

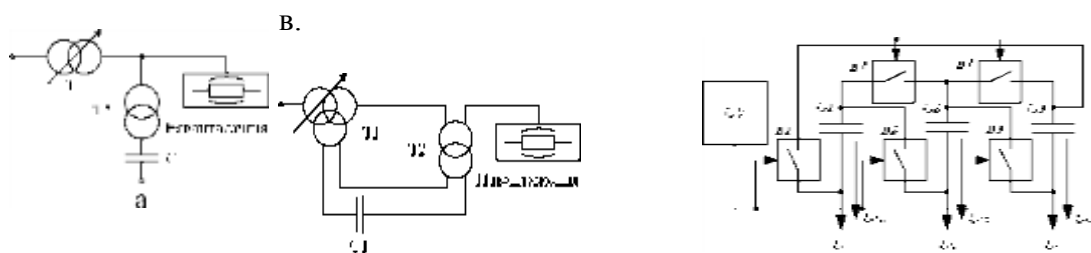


Рисунок 1 - Схеми включення БК: а - поперечна компенсація, б - повздовжня компенсація; в - система включення БК з «зірки» на «трикутник» та навпаки

При використанні системи управління для переключення БК з «зірки» на «трикутник» та навпаки можливо включення БК на напругу, яка перевищує номінальне значення в 73.

Перевагами БК є простота в експлуатації за рахунок відсутності обертових частин, простота монтажних робіт, за рахунок малої маси, малі втрати активної потужності. Застосовують БК, як регульовані (керовані) так і нерегульовані. У нерегульованих БК число конденсаторів

незмінне, а величина реактивної потужності залежить тільки від квадрата напруги. Сумарна потужність нерегульованих БК не повинна перевищувати найменшого реактивного навантаження мережі. Але якщо вибрані компенсуючі пристрої постійно підключені до мережі, незалежно від режиму реактивних навантажень, то в періоди пониження навантажень надмірна реактивна потужність компенсуючих пристроїв, що виробляється, передаватиметься від споживача в енергосистему (перекомпенсація). При цьому струмове навантаження в мережі зростає, збільшуються втрати потужності, напруга в мережі також збільшується і може досягти неприпустимих значень. У керованих БК регулювання відбувається за рахунок зміни ступенів БК, тобто збільшення включених секцій БК. При цьому змінюється ємність БК і потужність, що збільшує вироблення реактивної потужності в мережі незалежно від рівня напруги. Недоліками керованих БК є: при збільшенні кількості ступенів збільшуються затрати на пристрої перемикачів та захисту, при підключенні БК чутливі до струмів комутації; регулювання ступенів БК негативно впливає на контактну апаратуру.

Регулювання потужності конденсаторних установок може здійснюватись за наступними параметрами: час доби, напруга, струм навантаження, значенням і напрямом реактивної потужності. Регулювання за часом доби є найбільш простим видом регулювання. Таке регулювання доцільно застосовувати у тих випадках, коли режим реактивного навантаження і напруги в мережах підприємства є достатньо стабільним. Регулювання потужності конденсаторних установок по нарузі доцільно в тих випадках, коли режим напруги визначається в основному тільки режимом реактивних навантажень. В більшості випадків це можливо тоді, коли конденсаторні установки підключаються до мережі, що живиться від нерегульованого трансформатора. Регулювання по струму навантаження доцільно у тому випадку, коли по своєму характеру графіки активних і реактивних навантажень співпадають. Регулювання по величині і напрямку реактивної потужності слід застосовувати тоді, коли характери цих графіків один від одного відрізняються, а видачу реактивної потужності в мережу енергосистеми необхідно обмежити. Для забезпечення регулювання споживання реактивної потужності використовуються регулятори реактивної потужності (РРП).

При застосуванні РРП число секцій регульованої конденсаторної батареї повинне вибиратися залежно від характеру графіка споживання реактивної потужності. У багатьох випадках виявляється достатнім обмежитися трьома-чотирма секціями. При значній нерівномірності графіка електричних навантажень за період доби число секцій може бути збільшене до п'яти-шести. Подальше збільшення числа секцій не рекомендується, оскільки це ускладнює і здорожує установку [2]. Більш ефективним способом управління РРП є використання однієї із секцій менше в два рази. Коли відбувається збільшення споживання реактивної потужності, але менше, ніж на значення однієї секції, система керування підключає секцію у два рази менше і таким чином система керування збільшує свій діапазон регулювання.

До недоліків регуляторів реактивної потужності можна віднести: при застосуванні регулювання за часом доби у системі електропостачання характер навантаження має бути незмінним; значні затрати на комутуючу апаратуру; виникнення імпульсів напруги в моменти комутації; неможливість плавно змінювати споживання реактивної потужності системою управління.

Статичні тиристорні компенсатори реактивної потужності (СТК) широко використовуються для вирішення різних проблем передачі і розподілу електричної енергії, пов'язаних з великими і швидкими коливаннями реактивної потужності та зменшення вищих гармонік в електричній мережі. Розробка статичних джерел реактивної потужності може вестися лише на базі пристроїв, здатних здійснювати обмін енергією з мережею. Тому реактор

(L) і конденсаторна батарея (C) повинні бути основним устаткуванням статичного джерела реактивної потужності. Статичні тиристорні компенсатори мають можливість в безперервному режимі і практично миттєво, відповідно до запитів мережі, вводити ємнісну або індуктивну складову, регулюючи напругу в лінії та підтримуючи необхідний рівень генерації реактивної потужності. Існує два основні типи статичних тиристорних компенсаторів: реактор з тиристорним керуванням, схема підключення показана на рис. 2 (Thyristor Controlled Reactor (TCR)), та конденсатори, які комутуються за допомогою тиристорів, рис. 3 (Thyristor Switched Capacitor (TSC)).

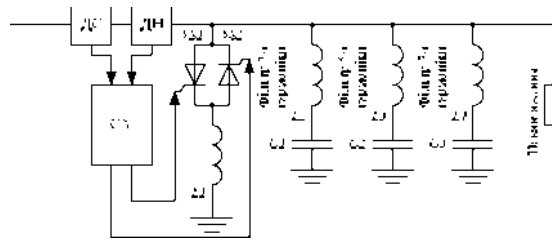


Рисунок 2 - Реактор з тиристорним керуванням

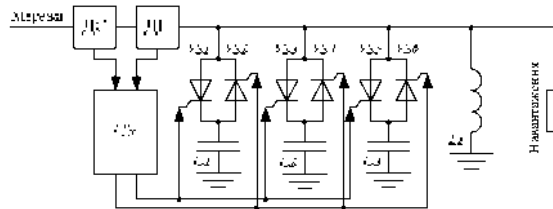


Рисунок 3 - Конденсатор з тиристорним перемиканням

Схема TCR найчастіше використовується. Основним елементом управління є реактор (L), який комутується за рахунок тиристорів, що вводяться в роботу повністю або частково для зниження ємнісної частини реактивної потужності, а також фільтрами, налаштованими на 3, 5, 7 ... гармоніки. Необхідність повного зниження рівнів гармонік практично відсутня, тому досить знизити їх до межі, встановленої ГОСТ 13109-97. TCR може працювати як в режимі генерації, так і в режимі споживання реактивної потужності. При цьому можливі плавний перехід від одного режиму до іншого. Особливість даної схеми в тому, що напруга на реакторі рівна напрузі мережі і не залежить від режиму роботи джерел реактивної потужності і від способу регулювання потужності реактора. Завдяки цьому виявляється можливим знижувати встановлену потужність устаткування в порівнянні з іншими типами джерел реактивної потужності та вмикати в мережу без проміжного трансформатора.

Статичному тиристорному компенсатору реактивної потужності, виконаному по схемі TCR, притаманні деякі недоліки: при зниженні напруги мережі потужність установки буде падати, а від джерела потужності потрібно збільшення реактивної потужності для того, щоб стабілізувати напругу.

Схема TSC використовується рідше. У цій схемі реактор (індуктивність) включений постійно, а регулювання реактивної потужності відбувається за рахунок комутації ступенів конденсаторів. Змінюючи струм, який протікає через конденсатор, можна змінювати і потужність, яка генерується ним. Зміна струму відбувається за рахунок зміни кута провідності. При цьому з'являється можливість за рахунок використання вихідних трансформаторів в

активних фільтрах об'єднати їх ланцюги постійної напруги загальним конденсатором фільтру. Якщо на таку структуру покласти ще і функцію регулювання величини реактивної потужності і її знаку, то можна підтримувати синусоїдальну напругу стабільної величини при коливаннях напруги в мережі, викликаних, перш за все, коливаннями навантаження [7]. При установці силових фільтрів частково або повністю вирішується завдання компенсації реактивної потужності, оскільки конденсатори, що входять до складу фільтрів, є джерелами реактивної потужності.

Основними перевагами TSC є діапазон регулювання реактивної потужності або здатність TSC плавно змінювати величину потужності від мінімального до максимального, швидка дія або час, протягом якого TSC здатний змінювати величину потужності від одного значення до іншого.

Недоліками TSC є: розширення діапазону регулювання призводить до збільшення гармонійного складу струму, збільшення одиничної потужності джерела реактивної потужності, що може призвести до виникнення резонансних явищ; збільшення гармонійного складу струму призводить до встановлення додаткових фільтрів, які супроводжуються додатковими матеріальними затратами і зростанням втрат активної потужності в джерелах реактивної потужності.

Крім СТК TCR існують системи, засновані на компенсації спотворень напруги і струмів в мережі, тобто активна фільтрація, заснована на введенні в мережу послідовно джерела напруги з керованим спотворенням або паралельно джерела струму з керуванням спотворенням. Причому спотворення, що вводиться, знаходиться упротифазі з наявними спотвореннями і компенсують їх у результуючій кривій напруги або струму. Способом поліпшення якості електропостачання і усунення зворотнього впливу нелінійного споживача на живлячу мережу є сумісне використання активного фільтру напруги і струму. Можливі два варіанти їх об'єднання: паралельно-послідовне і послідовно-паралельне включення [7]. При установці силових фільтрів частково або повністю вирішується завдання компенсації реактивної потужності, оскільки конденсатори, що входять до складу фільтрів, є джерелами реактивної потужності. Також існують системи, які крім компенсації направлені на покращення якості електричної енергії.

Установки компенсації реактивної потужності на базі транзисторних перетворювачів, рис. 4, до свого складу включають КБ (СІ), реактори (LІ), транзисторний перетворювач (VТІ, VТІ-VТ4) та фільтри вищих гармонік (ФВГ). Зміна струму коливального контуру здійснюється широтно-імпульсною модуляцією імпульсів управління транзистором, що у свою чергу викликає пульсації струму, для зниження яких застосовується пасивні LC-фільтри. Перевагами систем з транзисторним перетворювачем є те, що транзистори, на відміну від тиристорів, є повністю керованими елементами, мають більшу швидкодію та менші втрати потужності.

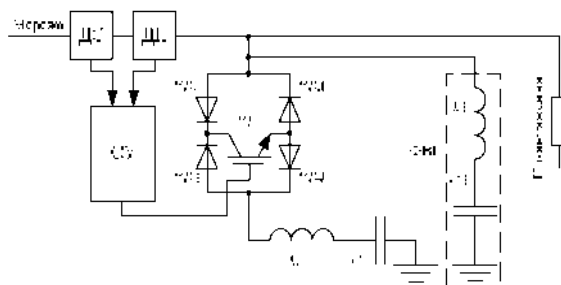


Рисунок 4 - Система з транзисторним перетворювачем

Недоліками системи компенсації на базі транзисторних перетворювачів є: можливість виникнення резонансу струму чи напруги в  $LC$  - контурі; значні імпульси напруги на транзисторному перетворювачі, суттєвий вплив на форму струму та напруги мережі.

Останніми роками у зв'язку із значним прогресом у створенні швидкодіючих силових напівпровідникових приладів з'явилася тенденція до створення досконаліших структур перетворювачів змінного струму. Зокрема, для керування рівнем реактивної потужності найбільш поширеною в даний час технологією перетворення змінного струму є системи з подвійним перетворенням енергії (ППЕ), що містять в своїй структурі ланку постійного струму [5]. В загальному випадку, джерело постійного струму, містить ємність значної величини, призначену для згладжування пульсацій і накопичення необхідної енергії для живлення інвертора. Величина ємності визначається, виходячи із забезпечення необхідних динамічних властивостей інвертора (мінімального відхилення вихідної напруги в перехідних режимах) і максимально можливих перевантажувальних здатностей перетворювача. Ланцюг постійного струму, що забезпечує накопичення енергії від первинного джерела живлення змінного струму, крім реактивних елементів (ємкості, індуктивності), може містити регулятор напруги постійного струму РН (знижуючий або підвищуючий - бустер). Структура перетворювача, (рис. 5), що з'явилася останніми роками, містить двонаправлений мостовий ШІМ-випрямляч (ШІМ-В), зрівнювач напруги (ЗН) і ШІМ-інвертор (ТТІМ-І).

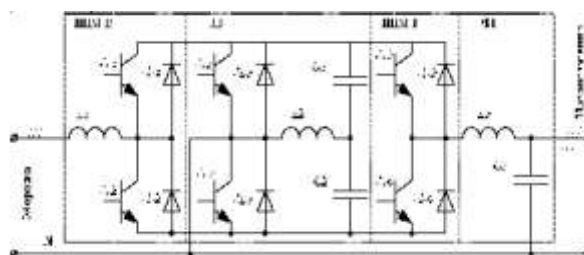


Рисунок 5 - Система подвійного перетворення енергії з ШІМ - випрямлячем

Функціональним призначенням ШІМ - випрямляча являється забезпечення високого значення вхідного коефіцієнта потужності (0,99) в широкому діапазоні зміни навантаження, тобто виконання функції коректора коефіцієнта потужності; регулювання напруги постійного струму на шині живлення інвертора; управління вхідною потужністю за рахунок можливості обмеження вхідного струму; забезпечення двонаправленої передачі енергії - рекуперації енергії, що покращує енергетичні і динамічні властивості перетворювача.

До недоліків перетворювачів з ШІМ - випрямлячем можна віднести: велику кількість силових IGBT-транзисторів і можливість виникнення на закритих транзисторах значних імпульсних перенапружень; складну схему управління транзисторами ШІМ - випрямляча.

### Висновки

В сучасній електроенергетиці знайшли широке застосування пристрої компенсації реактивної складової потужності. В загальному випадку пристрої будуються на основі реактивних елементів реакторів чи конденсаторів. За необхідністю та значенням компенсованої потужності застосовують паралельне чи послідовне з'єднання відповідної кількості елементів. В залежності від режиму електричної мережі компенсатори виконуються комбінованими та включають як індуктивний, так і ємнісний елементи, що дозволяє балансувати реактивну потужність як під час її дефіциту, так і під час надлишку. Зважаючи на нестационарний режим роботи мережі, наприклад, при зміні реактивної потужності на



проміжку часу, розробляються пристрої з тиристорним регулюванням та автоматизованими системами управління. Це дозволяє постійно підтримувати рівень реактивної потужності у вузлі мережі в заданому діапазоні. Однак пристрої з тиристорним регулюванням є генераторами вищих гармонійних, тому потребують застосування силових фільтрів. Підвищення регулювальних можливостей та, зниження впливу пристрою компенсації на якісні показники електричної енергії досягається подвійним перетворенням енергії. Це ускладнює схематичну частину компенсуючого пристрою, але дозволяє знизити вплив на мережу та за рахунок широтно-імпульсного управління покращити якість регулювання, особливо у разі наявності споживачів з різко змінним характером навантаження.

### Література

1. Веников В.А., Жуков Л.А., Карташов И.И., Рыжов Ю.П. Статические источники реактивной мощности в электрических сетях. - М.: Энергия, 1975. - 136 с.
2. Константинов Б.А., Зайцев Г.З. Компенсация- реактивной мощности. - Л.: Энергия, 1976. - 101 с.
3. Карташов Р.П. Тиристорные преобразователи частоты с искусственной коммутацией. - К.: Техніка, 1979. - 152 с.
4. Кучеров Д.П. Источники питания ПК и периферии. Издание второе, переработанное и дополненное. - Спб: Наука и техника, 2002. - 352 с.
5. Бурков А.Т. Электронная техника и преобразователи. - М.: Транспорт, 1999. - 464 с.
6. Жежеленко І.В., Рабінович М.Л., Божко В.М. Якість електричної енергії на промислових підприємствах. - К.: Техніка, 1981. - 157 с.
7. Зиновьев Г. С. Основы силовой электроники: Учебник. - Новосибирск: Изд-во НГТУ, 1999. Ч.2. - 211 с.
8. Закладний О.М., Праховник А.В., Соловей О.І. Енергозбереження засобами промислового електропривода: Навчальний посібник. - К.: Кондор, 2005. - 408 с.

УДК 621.314

Озеров Р.Е., Голованьов М.Ю.

**ВИБІР ТРАНСФОРМАТОРІВ ПО ТЕРМІЧНІЙ СТІЙКОСТІ ТА СТРУМАМ КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ ПРИ ІМОВІРНІСНІЙ ВИХІДНІЙ ІНФОРМАЦІЇ**

*В статті пропонується уточнена більш адекватна модель вибору силових трансформаторів по умовам струмів короткого замикання при випадковому їх характері та імовірнісній вихідній інформації. Розглянуто основні поняття, що стосуються даного напрямку. Розрахунки проведені трансформаторів з різними видами охолодження та зроблені відповідні висновки, зокрема вияснена зміна температури робочих частин трансформатору в залежності від зміни впливаючих факторів.*

*Ключові слова: трансформатор, модель, температура, мастило, навантаження, струм*

**ВЫБОР ТРАНСФОРМАТОРОВ ПО ТЕРМИЧЕСКОЙ СТОЙКОСТИ И ТОКАМ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ ПРИ ВЕРОЯТНОСТНОЙ ИСХОДНОЙ ИНФОРМАЦИИ**

*В статье предлагается уточненная более адекватная модель выбора силовых трансформаторов по условиям токов короткого замыкания при случайном их характере и вероятностной исходной информации. Рассмотрены основные понятия, касающиеся данного направления. Расчеты проведены трансформаторов с различными видами охлаждения и сделаны соответствующие выводы, в частности выяснена изменение температуры рабочих частей трансформатора в зависимости от изменения влияющих факторов.*

*Ключевые слова: трансформатор, модель, температура, масло, нагрузка, ток*

**SELECTION OF TRANSFORMERS IN THERMAL RESISTANCE SHORT CIRCUIT CURRENT IN THE PROBABILITY INITIAL INFORMATION**

*The article offers a more refined model is adequate selection of power transformers in terms of short-circuit currents at random and probabilistic nature of the original information. The basic concepts related to this field. Payments made transformers with different types of cooling and made appropriate conclusions, including temperature changes clarified the working parts of the transformer, depending on changes influencing factors.*

*Keywords: transformer, model, temperature, lubrication, load current*

**Введение**

При проектировании и эксплуатации систем электроснабжения (СЭС) предприятий возникает необходимость проверки выбранных элементов СЭС на термическую и динамическую стойкость к токам короткого замыкания (т.к.з.). Одним из наиболее дорогостоящих и дефицитных элементов таких систем являются силовые масляные трансформаторы (Т). [1] позволяет оценить нагрузочную способность Т в нормальном и послеаварийном режимах при детерминированном графике нагрузки. Фактически же нагрузка носит случайный характер: кроме того возникновение аварийных ситуаций и величины токов короткого замыкания являются случайными величинами.

Режим короткого замыкания является аварийным для Т и при отсутствии надлежащей защиты может привести к тепловому разрушению изоляции обмоток, или независимо от наличия защиты, к механическому разрушению обмоток, что приводит к выходу Т из строя.

**Цель работы.**

Повышение эффективности системы электроснабжения за счет выявления и использования резервов электроустановок с термической и динамической устойчивости к токам короткого замыкания.

#### **Материалы и результаты исследования.**

Каждый силовой Т должен быть спроектирован так, чтобы при внешних к.з. он мог выдерживать без повреждения динамическое воздействие ударного т.к.з. и термическое воздействие ограниченного во времени эффективного т.к.з.

Чувствительность Т к нагрузкам, выше номинальных, зависит от их мощности. С увеличением мощности Т наблюдается следующее [2]:

- \* увеличивается индуктивность рассеяния;
- \* увеличиваются усилия короткого замыкания;
- \* увеличивается поверхность изоляции с электрической напряженностью;
- \* сложнее определяется достоверная температура наиболее нагретой точки обмотки и масла.

Таким образом, силовые мощные Т, могут быть более уязвимы к перегрузкам, чем Т малой мощности. Кроме того, выход из строя мощных Т влечет за собой более тяжелые последствия при ликвидации аварии.

С целью уменьшения степени риска при ожидаемых перегрузках в [2] Т разделены на три категории:

а) распределительные Т (трехфазные с  $S_n = 2500$  кВА или однофазные с  $S_n = 833$  кВА) для которых учитывается только температура наиболее нагретой точки обмотки (ННТ) и термический износ изоляции;

б) Т средней мощности (трехфазные с  $S_n = 100$  кВА или эквивалентные им): для которых воздействие потока рассеяния не является критическим: но должны учитываться разные виды охлаждения;

в) мощные силовые Т, для которых воздействие потоков рассеяния и последствия отказа могут быть значительными.

С учетом вышеизложенного предполагается новые предельные значения температуры ННТ и масла в верхних слоях: тока для двух режимов нагрузки превышающей номинальную: - систематических продолжительных и кратковременных аварийных перегрузок. Определение т.к.з. для Т на детерминированной основе регламентировано [3].

Нагрузочной способностью любой электроустановки (ЭУ) является ее способностью выдерживать ту или иную нагрузку Н без потери своей функциональной способности (например, термическая стойкость к т.к.з.). Граничные значения нагрузочной способности называют прочностью П [4].

В основе детерминированной модели выбора ЭУ по техническим критериям используется условие:

$$Z = n - n_{\max} \geq 0 \quad (1)$$

при этом в качестве Н по условиям надежности принимают  $n_{\max}$ , а в качестве П - номинальное его значение  $n_{\dots}$  или паспортное значение  $n_{\dots}$  предписываемое заводами-изготовителями.

Однако при  $Z = n_{\dots} - n_{\max} \leq 0$  еще может и не быть отказа, и в тоже время при  $n < n_{\max}$  может последовать отказ, если в процессе эксплуатации снижается П, то есть  $n(t) < n_{\dots}$ . Поэтому ошибочно считать, что выбор ЭУ на основе детерминированной модели свободен от риска.

Переменная  $Z = n - n$  в силу случайных  $N$  и  $\Pi$  является случайной: а событие  $Z = n - n < 0$  является нежелательным. Таким образом возникает необходимость определения термической стойкости ЭУ при вероятностном подходе.

Исходя из общей стохастической модели выбора ЭУ по техническим критериям [5], принцип выбора ЭУ по критериям т.к.з. можно представить минимизацией или лимитированием вероятности появления нежелательного события, когда нагрузка  $n_j$  больше равна прочности  $n(t)$  ЭУ:

$$\begin{aligned} p[n_j \geq n(t)] &= \min \\ p[n_j \geq n(t)] &\leq \alpha \end{aligned} \quad (2)$$

где  $n_j$  - нагрузка: задаваемая характерным т.к.з.; согласно [5] величина  $\alpha$  может быть принята равной 0,05.

Случайный характер прочности  $n(t)$  обусловлен различными случайными воздействиями при изготовлении, монтаже и эксплуатации ЭУ. Для большинства ЭУ он еще не изучен, что объясняется высокими затратами труда, времени и денег. Поэтому остается принимать  $n(t) = n_{\dots}$  или  $n(t) = n_{\dots}$ .

На вероятностной основе для известного  $T$ , работающего в известной сети, реальный ток к.з. должен рассчитываться по методам применяемым в расчетах электрической сети, с учетом ее схемы замещения, ее мощности, места и условий короткого замыкания, а также с учетом конструктивных особенностей  $T$  - предварительной загрузки в нормальном режиме, схемы и группы соединения обмоток  $T$ , а также напряжения высокой стороны.

Для данной работы предусматривается использование более адекватной стохастической модели процесса короткого замыкания с учетом восьми случайных влияющих переменных. В качестве функции распределения  $G(n_j)$  переменной  $n_j$  рассматривается условная вероятность того, что  $n_j$  меньше максимального значения  $n_{j\max}$ . В качестве расчетной нагрузки для используемых в работе моделей будем рассматривать величину  $n_{j\alpha}$  квантиль эффективного тока к.з., определенный из функции распределения  $G(n_j)$  за время отключения к.з. Модель процесса к.з. и способы определения характерных т.к.з. (ударного т.к.з. -  $i_{\text{лб}}$ ; эффективного т.к.з. -  $I_{\text{жэ}}$ ; тока отключения  $I_{\text{жм}}$ ), а также определение функций распределения, параметров и квантилей распределения, параметров и квантилей распределения  $n_{j\alpha}$  изложены в [6].

Стохастический подход к выбору  $T$  рассматривает превышение температуры ННТ обмотки  $\Theta_{\text{т}}$  над максимально допустимой  $\Theta_{\text{лб}}$ , как нежелательное событие: при этом условие выбора является:

$$p[\Theta_{\text{т}}(t) > \Theta_{\text{лб}}] = \alpha \quad (3)$$

В качестве термической модели наиболее адекватно отражающие тепловые процессы в  $T$ , в настоящее время общепризнанны модели основанные на методе конечных элементов. Эти модели [7-10] исходят из следующих основных положений:

а) элемент СЭС представляет собой площадьобразную теплопроводящую среду с изменяющимися во времени граничными условиями (ток нагрузки, температура окружающей среды);

б) исходя из аналогии теплового и электрического токов, тепловая среда элемента СЭС представляется как тепловая сеть (термическая схема замещения) и физически анализируется как электрическая сеть;

в) каждый  $i$ -й элемент СЭС представлен четырехполюсником с Т-образной или П-образной схемами замещения, в продольных ветвях которых содержатся тепловые сопротивления, а в поперечных теплоемкость;

г) тепловые потери, возникающие в конструктивных элементах Т, передаются на их поверхность и затем в окружающую среду. Тепловые потери в схемах замещения представляются источником тока: включенным параллельно теплоемкости;

д) окружающая воздушная среда учитывается через конечное тепловое сопротивление, а земля подразделяется на пустотелые цилиндры, которые (аналогично элементам Т) представляются четырехполюсниками с Т-образной или П-образной схемами замещения.

Следует отметить, что эти наиболее адекватные термические модели, содержат большой объем информации, которая отсутствует в справочной литературе и может быть получены только заводами-изготовителями с определенными материальными затратами. Поэтому применение этих моделей оправдано для сравнительных результатов и при разработке и использовании упрощенных термических моделей, а также для выбора элементов СЭС по термическим критериям в специальных случаях. Во всех других случаях в настоящее время может быть использована, при достаточной достоверности полученных результатов, двухэлементная термическая модель, рекомендованная МЭК [11] и дополненная новой редакцией МЭК [12].

Для Т двухэлементная термическая модель «масло-обмотка» в общем виде может быть записана:

$$\Theta_{\text{об}}(t) = \Theta_{\text{н}} \left[ \frac{1 + \hbar \left( \frac{I(t)}{I_{\text{н}}} \right)^2}{1 + \hbar} \right]^m \times \left( 1 - e^{-\frac{t}{r_{\text{об}}}} \right) + (\Theta_{\text{н}} - \Theta_{\text{ок}}) \times \left( \frac{I(t)}{I_{\text{н}}} \right)^{2r} \times \left( 1 - e^{-\frac{t}{r_{\text{ок}}}} \right) + \Theta_{\text{ок}} \quad (4)$$

где:  $\Theta_{\text{н}}$  - номинальная температура в верхних слоях масла при нормальном режиме работы;

$K$  - кратность потерь короткого замыкания и холостого хода, определяется паспортными данными Т:

$$K = m_{\text{жк}} / m_{\text{х}}$$

$I(t)$ ,  $I_{\text{н}}$  - ток нагрузки и номинальный ток Т;

$m$  - показатель степени масла;

$r_{\text{об}}$  - постоянная нагрева масла;

$\Theta_{\text{н}}$  - номинальная температура нагрева наиболее нагретой точки обмотки трансформатора;

$r$  - показатель степени обмотки;

$\Theta_{\text{ок}}$  - температура окружающей среды.

В связи с короткотечностью процесса короткого замыкания, определяемое временем срабатывания защиты Т и временем отключения его из сети возникает необходимость учета термических переходных процессов, которые игнорировались при разработке данной модели.

Кроме того специфика Т и изложенное выше разделение их по мощностям, будут вносить коррективы в изложенную двухэлементную модель.

В общем виде температура ННТ обмотки Т при возникновении к.з. может быть определена:

$$\Theta_{\square} = \Theta_{\square} + V_{\square} + V_{\square} + \Delta\Theta_{\square} \quad (5)$$

где:  $V_{\square}$  - превышение температуры масла в верхних слоях над температурой окружающей среды;

$V_{\square}$  - превышение температуры наиболее нагретой точки обмотки над температурой масла в верхних слоях;

$\Delta\Theta_{\square}$  - температура нагрева обмоток Т, связанная с протеканием тока к.з.

При использовании двухэлементной модели применяются следующие допущения и соотношения:

- превышение температуры масла в верхних слоях над температурой охлаждающей среды в исходном режиме (до начала к.з.):

$$V_{\square}(t_i - 1) = V_{\square} \left( \frac{1 + \hbar \xi_{i-1}^2}{1 + \hbar} \right)^m; \quad (6)$$

- превышение температуры наиболее нагретой точки над маслом в верхних слоях в исходном режиме:

$$V_{\square}(t_i - 1) = (V_{\square} - V_{\square}) \cdot \xi_{(i-1)}^{2r} \quad (7)$$

-  $\xi_{(i-1)} = \frac{I_{i-1}}{I}$  - отношение тока нагрузки трансформатора в нормальном режиме к

номинальному току Т.

В дополнение к изложенным соотношениям, необходимо определить переходный тепловой режим, обусловленный т.к.з. При этом исходим из того, что продолжительность нормального режима, предшествующего процессу к.з. превышает три постоянных нагрева масла Т и процесс нагрева Т уже практически закончен, то есть температура масла и обмоток достигла установившегося значения и определяется для Т с различным видом охлаждения следующим образом:

- Вид охлаждения ON:

для вида охлаждения ON максимальная температура ННТ обмотки при любой нагрузке  $\xi_{(i-1)}$  равна сумме температур охлаждающей среды, превышения температуры масла в верхних слоях над окружающей средой и разности температур ННТ обмотки и масла в верхних слоях:

$$\Theta_{\square} = \Theta_{\square} + V_{\square} \left( \frac{1 + \hbar \xi_{(i-1)}^2}{1 + \hbar} \right)^m + (V_{\square} - V_{\square}) \cdot \xi_{(i-1)}^{2r}; \quad (8)$$

- Вид охлаждения OF:

для вида охлаждения OF метод расчета основан на температуре масла в нижней и средней части обмотки и средней температуре масла в баке. Таким образом, максимальная температура ННТ обмотки при любой нагрузке  $\xi_{(i-1)}$  равна сумме температур охлаждающей среды, превышения температуры масла в нижней части обмотки над охлаждающей средой, разности температур масла на выходе из обмотки и в нижней части, а также разности температур ННТ обмотки и масла на выходе из обмотки:

$$\Theta_{\square} = \Theta_{\gamma} + V_{\dots} \left( \frac{1 + \hbar \xi_{(i-1)}^2}{1 + \hbar} \right)^m + 2(V_{\dots} - V_{\dots}) \cdot \xi_{(i-1)}^{2r} + (V_{\dots} - V_{\dots}) \cdot \xi_{(i-1)}^{2r}; \quad (9)$$

где:  $V_{\dots}$  - превышение температуры масла в нижней части обмотки над окружающей средой;  
 $V_{\dots}$  - превышение средней температуры масла над окружающей средой.

- Вид охлаждения OD:

для вида охлаждения OD метод расчета, в основном, такой же, как и для вида охлаждения OF, за исключением того, что к найденному значению температуры добавляется поправка на изменение омического сопротивления обмоток от температуры:

$$\begin{aligned} \Theta'_{\square} = \Theta_{\square} + 0,15(\Theta_{\square} - \Theta_{\square}) = \Theta_{\gamma} + V_{\dots} \left[ \frac{1 + \hbar \xi_{(i-1)}^2}{1 + \hbar} \right] + 2[V_{\dots} - V_{\dots}] \cdot \xi_{(i-1)}^{2r} + \\ + (V_{\dots} - V_{\dots}) \cdot \xi_{(i-1)}^{2r} + 0,15 \left( V_{\dots} + V_{\dots} + V_{\dots} \left[ \frac{1 + \hbar \xi_{(i-1)}^2}{1 + \hbar} \right] + 2[V_{\dots} - V_{\dots}] \cdot \xi_{(i-1)}^{2r} \right) + \\ + 0,15(V_{\dots} - V_{\dots}) \cdot \xi_{(i-1)}^{2r} \end{aligned} \quad (10)$$

Для формул (8) - (10) обозначения видов охлаждения имеют следующие обозначения:

Таблица 1

Вид охлаждения новое обозначение	Вид охлаждения старое обозначение	Техническое описание функционирования
ONAN	М	Естественная циркуляция масла и воздуха
ONAF	Д	Принудительная циркуляция воздуха, естественная масла
OFAF	ДЦ	Принудительная циркуляция масла и воздуха
OFWF	Ц	Принудительная циркуляция масла и воды
ODAF	МЦ	Естественная циркуляция воздуха, принудительная масла
ODWF	МВ	Принудительная циркуляция воды, естественная масла

В зависимости от вида охлаждения  $T$  определяются значения величин, входящих в формулы (8) - (10):

Примечание: для распределительных  $T$  серии ONAN, температура наиболее нагретой точки обмотки определяется из общей двухэлементной термической модели:

$$\Theta_{\square} = \Theta_{\gamma} + V_{\dots} \left( \frac{1 + \hbar \xi_{(i-1)}^2}{1 + \hbar} \right)^m + (V_{\dots} - V_{\dots}) \cdot \xi_{(i-1)}^{2r}; \quad (11)$$

Таблица 2

Наименование величин	Обозначение	Распр. т-ры	$T$ -ры средней и большой мощности

	ния	Вид охлаждения			
		ONAN	ON	OF	OD
Показатель степени масла	m	0,8	0,9	1,0	1,0
Показатель степени обмотки	r	0,8	0,8	0,8	1,0
Постоянная нагрева масла	$r_{\Theta}$	3,0	2,5	1,5	1,5
Температура охлаждающей среды	$\Theta_{\text{ср}}$	20	20	20	20
Превышение температуры ННТ обмотки	$V_{\text{ннт}}$	78	78	78	78
Превышение температуры масла на выходе из обмотки	$V_{\text{вых}}$	55	52	56	49
Превышение средней температуры масла	$V_{\text{ср}}$	44	43	46	46
Превышение температуры масла в нижней части обмотки	$V_{\text{ниж}}$	33	34	36	43

При определении прироста температуры наиболее нагретой точки обмотки, обусловленного т.к.з., необходимо учесть переходные процессы протекающие в масле бака и в самих обмотках Т. Исходя из этого, можно записать:

$$\Delta\Theta_{\text{ннт}} = V_{\text{ннт}} \left\{ \left( \frac{1 + \hbar \xi_i^2}{1 + \hbar} \right)^m - \left( \frac{1 + \hbar \xi_{(i-1)}^2}{1 + \hbar} \right)^m \right\} \times \left( 1 - \exp \frac{\delta_{\text{жз}}}{r_{\text{ом}}} \right) +$$

$$+ (V_{\text{ннт}} - V_{\text{ср}}) \times \left\{ \xi_i^{2r} - \xi_{(i-1)}^{2r} \right\} \times \left( 1 - \exp \frac{\delta_{\text{жз}}}{r_{\Theta 0}} \right) \quad (12)$$

где:  $\xi_i = \frac{I_{\text{жз}\alpha}}{I}$  - отношение квантиля эффективного т.к.з. к номинальному току Т;

$r_{\Theta 0}$  - постоянная нагрева обмоток Т. Данные о постоянных нагрева обмоток приведены в [13] и изменяются в пределах от 3 до 15 минут.

Таким образом, выражение для определения температуры ННТ обмотки Т с учетом возникновения к.з., будет иметь вид:

$$\Theta_{\text{ннт}} = \Theta_{\text{ср}} + \Delta\Theta_{\text{ннт}} \quad (13)$$

Полученное в результате проверочных расчетов значение температуры, не должно превышать максимально допустимой температуры ННТ обмотки определенные для различных видов Т для аварийного, послеаварийного и режима к.з.

Проверка выбранных Т по термической стойкости к т.к.з. сводится к следующему алгоритму:

1. Определяем по справочным данным для выбранного Т величины:  $P_{\text{жз}}$ ,  $P_{\text{хх}}$ ,  $I$ , а также, в зависимости от типа Т, параметры: m, r,  $r_{\Theta}$ ,  $r_{\Theta 0}$ ,  $\Theta_{\text{ср}}$ ,  $V_{\text{ннт}}$ ,  $V_{\text{ср}}$ .
2. Определяем любым известным способом загрузку трансформатора в нормальном и послеаварийном режимах  $I_{i-1}$ .



3. Составляем эквивалентную схему к.з., определяем токи и параметры функции распределения т.к.з.:  $\bar{I} = I_{жз\alpha}$  - квантиль эффективного т.к.з. на времени его отключения  $t$  к.з.
4. Подставляя найденные и рассчитанные значения переменных, входящих в уравнения (8) - (13) и решив их, находим температуру ННТ обмотки  $T$ .

Расчеты показывают, что для того, чтобы  $T$  удовлетворяли проверке по термической стойкости к т.к.з., необходимо, чтобы отношение токов  $\xi_i = \frac{I_{жз\alpha}}{I}$  не превышало 120. В этом случае температура ННТ обмотки не превысит максимально допустимой.

#### Выводы:

1. В связи с короткотечностью процессов к.з., возникает необходимость в преобразовании выражения для определения температуры ННТ обмотки  $T$  при использовании двухэлементной упрощенной термической модели с учетом термических переходных процессов.
2. Расчеты показывают, что выбранные в настоящее время силовые трансформаторы имеют значительные запасы по нагрузочной способности не только в нормальном и послеаварийном режимах, но и имеют запасы по термической стойкости в режиме к.з., что приводит к необоснованному утяжелению сети и дополнительным капитальным затратам.
3. Предложенная усовершенствованная двухэлементная термическая модель  $T$  с использованием в ней вероятностного подхода, несет в себе минимальный объем исходной информации, что ускоряет расчеты по выбору и проверке  $T$  по термическим критериям, и обеспечивает выявление скрытых резервов по нагрузочной способности выбранных  $T$ . Эта модель может быть рекомендована в инженерную практику для оценочных и проверочных расчетов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Денисенко Н.А., Хоффманн И. Стохастическое моделирование процессов короткого замыкания в энергетических системах и установках // Техн. электродинамика - 1991. №2. С. 92-97.
2. Переходные процессы в системах электроснабжения / Под ред. Винославского В.Н. - К.: Высшая школа, - 1989. - 420 с.
3. Хоффманн И. Стохастический расчет токов короткого замыкания в системах электроснабжения // Пробл. техн. электродинамики - 1978. - Вып. 68. - С. 28-30.
4. Hirte W. Beitrag zur stochastischen Dimensionierung von Starkstromkabeln nach technische - ökonomischen Gesichtspunkten. / Diss. A. - 1984, IH. Wismar. - 165s.
5. Mundt H. Beitrag zur stoehastischen Benennung von Transtormatoren nach technische - ökonomischen Kriterien. / Diss. - 1983, IH. Wismar. - 150 s.
6. Манусов В.З., Моисеев С.М. Вероятностные характеристики токов короткого замыкания // Техн. электродинамика - 1985. - №4. С. 77-81.
7. Правила устройства электроустановок. - М.: Энергоатомиздат 1987. - 648 с.
8. Денисенко Н.А., Хоффманн И., Иншеков Е.Н. Применение вероятностных моделей в многокритериальной оптимизации электроустановок / В сб. тез. докл. «Повышение эффективности и качества электроснабжения. Научн. -техн. конф. Мариуполь, Май 1990». - Киев, 1990. - С. 23-24.

9. Ian Nasilowski, Stromerwarmung von Oberleitungen // Elektrische Bahnen eb 87(1989). 11 - S. 344-348.

УДК 621.316

О.С. Ярмолук, П.О. Замковий

**РОЗРАХУНОК ВИХІДНОЇ ПОТУЖНОСТІ СОНЯЧНОЇ ПАНЕЛІ З УРАХУВАННЯМ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ІНФОРМАЦІЇ**

*Ефективне функціонування сучасних електричних мереж неможливо без якісного та надійного інформаційного забезпечення. У роботі запропоновано підхід, що дозволяє оптимальним чином використовувати всю наявну різноманітну інформацію з метою формування узагальнених оцінок характеристик сонячних панелей. Для реалізації поставленої задачі використовуються елементи математичного апарату теорії нечітких множин.*

*Ключові слова: функція належності, невизначеність інформації, нечіткі оцінки вихідної потужності.*

Е.С. Ярмолук, П.А. Замковой

**РАСЧЕТ ВЫХОДНОЙ МОЩНОСТИ СОЛНЕЧНОЙ ПАНЕЛИ С УЧЕТОМ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ИНФОРМАЦИИ**

*Эффективное функционирование современных электрических сетей невозможно без качественного и надежного информационного обеспечения. В работе предложен подход, позволяющий оптимальным образом использовать всю имеющуюся разнообразную информацию с целью формирования обобщенных оценок характеристик солнечных панелей. Для реализации поставленной задачи используются элементы математического аппарата теории нечетких множеств.*

*Ключевые слова: функция принадлежности, неопределенность информации, нечеткие оценки выходной мощности.*

O. Iarmoliuk, P. Zamkoviyy

**CALCULATION OUTPUT POWER OF SOLAR PANELS CONSIDERING INFORMATION UNCERTAINTY**

*Efficient operation of modern electrical networks is impossible without high-quality and reliable information. This paper proposed an approach that allows one the way to optimal formation of fuzzy estimates of solar panels. To realize this problem the elements of the fuzzy sets theory is used.*

*Key words: membership function, the uncertainty information, fuzzy estimates of output power.*

**Вступ.** Питання інформаційного забезпечення, його повноти й якості, особливо на рівні розподілу електричної енергії, завжди були досить болючими для світової енергетики. Даним фактом пояснюється величезна кількість публікацій у вітчизняних та міжнародних періодичних виданнях, де активно обговорювалися як аспекти оснащення електричних мереж сучасною вимірювальною технікою, так і проблеми адекватного моделювання режимів із урахуванням об'єктивно існуючої недостатності та невизначеності інформації. Реалізація багатьма країнами концепції Smart Grid, що передбачає тісну координацію технологічних та інформаційних зв'язків між усіма сторонами, задіяними у процесі енергозабезпечення, з одного боку, стимулювала істотне розширення інформаційної бази, активну автоматизацію процесів передачі даних, але, з іншого боку, масштабна інтеграція у розподільчі мережі, у першу чергу, альтернативних джерел енергії, посилює вплив фактора невизначеності. Все сказане повною мірою відноситься і до електроенергетики України. У той же час з мірою все більш ширшого використання джерел розосередженої генерації, формування інтегрованих

систем електропостачання, різко зростає і відповідальність за коректність і адекватність прийнятих рішень, що накладає особливі вимоги до якості інформаційного забезпечення. Це пов'язано з тим, що при інтелектуалізації електричних мереж, більшість управляючих дій повинні прийматися та реалізовуватися автоматично, без участі представників оперативно-диспетчерської служби енергокомпанії і, відповідно, без можливості будь-якої їх корекції [1].

З метою підвищення якості й адекватності моделювання режимів розподільчих мереж у реальному інформаційному середовищі було розглянуто широке коло питань, пов'язаних із моделюванням електричних навантажень з урахуванням невизначеності вихідної інформації [1 – 4]. Отримані результати дозволяють з більшим ступенем адекватності вирішувати питання оцінки стану розподільчих мереж, управління режимами їх роботи. Проте для ефективного управління режимами інтегрованих систем електропостачання, окрім моделей навантажень вузлів електричної мережі необхідно з відповідним ступенем адекватності визначити характеристики джерел генерації та акумулювання електричної енергії, що включені до їх структури. У першу чергу це стосується альтернативних джерел енергії, вихідні характеристики яких у значній мірі залежать від багатьох метеорологічних факторів, які важко спрогнозувати. Розглянемо для прикладу сонячну електростанцію (СЕС) з метою моделювання вихідних характеристик для подальшого оцінювання режимів інтегрованих ЕПС.

**Загальна характеристика.** Енергія, що йде від Сонця, розповсюджується у вигляді електромагнітного випромінювання у діапазоні від коротких радіохвиль довжиною 30 м до рентгенівських променів із довжиною хвилі  $10^{-10}$  м. Частина електромагнітних коливань відбивається і/або поглинається атмосферою, хмарами, і та частина, яка досягає поверхні Землі є сонячною радіацією. Не вся частина сонячного випромінювання, що проходить через земну атмосферу, потрапляє до поверхні землі. Велика частина сонячного випромінювання відбивається хмарами та самою атмосферою Землі; поглинається атмосферою, коли енергія сонячного випромінювання переходить у тепло (інфрачервоне випромінювання); відбивається від поверхні землі і у вигляді інфрачервоного випромінювання йде назад в космос. І тільки 27 % всього сонячного випромінювання, що надходить на землю з космосу, перетворюється в енергію, яка йде на випаровування і нагрівання води, нагрівання атмосфери, створення вітрів, хвиль, течій і т.д.

З причини наявності атмосфери та поверхні Землі на довільно-орієнтований приймальний майданчик сонячне випромінювання надходить уже у вигляді трьох потоків сонячної енергії: пряме  $E_{пр}(t)$ , дифузне або розсіяне  $E_{диф}(t)$  і відображене  $E_{від}(t)$  від поверхні Землі [5]:  $E_{\Sigma}(t) = E_{пр}(t) + E_{диф}(t) + E_{від}(t)$ .

Оскільки сонячні модулі приймають тільки пряму, а деякі моделі дифузну (розсіяну) сонячну радіацію, то надалі будемо використовувати лише ці дві складові сонячної радіації. На практиці прямі промені від дифузної складової відрізняються тим, що спрямований потік може бути сфокусований. Навіть в ясний день є деяка кількість розсіяного випромінювання. Відношення інтенсивності спрямованого потоку до повної інтенсивності випромінювання змінюється від 0,9 в ясний день до нуля в дуже похмурий день.

Кількість сонячної енергії, що падає на одиницю площі в одиницю часу, залежить від години доби, пори року, широти місцевості, місцевого клімату. Для розрахунку кількості сонячної енергії на певній місцевості необхідно знати кути падіння сонячних променів на похилу чи на горизонтальну поверхні, котрі поглинають тепло. Інтенсивність сонячної енергії на поверхні Землі, а саме у деякій точці для заданого моменту часу визначається трьома основними кутами: 1) схиленням  $\delta$ ; 2) широтою місцевості  $\varphi$ ; 3) годинним кутом  $\omega$ .

Годинний кут  $\omega$  у довільній точці є кут, на котрий Земля повертається з моменту сонячного полудня. Оскільки Земля повертається на  $(360^\circ / 24 \text{ год}) = 15^\circ$  за 1 год, то годинний кут визначається за виразом [5 – 7]

$$\omega = 15 (12 - \tau),$$

де  $\tau$  – добове значення години, год.

Годинний кут дорівнює нулю у сонячний полудень. Приріст цього кута на  $15^\circ$  довгоги визначає зміну часу на 1 годину. Відлік годинного кута зі знаком «+» є до полудня, а після полудня зі знаком «-».

Земля обертається навколо Сонця за рік. Напрямок земної осі залишається фіксованим у просторі під кутом  $\delta_0$  відносно нормалі до площини обертання. Кут між направленням до Сонця та екваторіальною площиною називається схиленням  $\delta$  й є мірою сезонних змін. Схилення є широтою точки, для котрої Сонце знаходиться у зеніті у полудень за сонячним часом. Як видно з рис. 1, у північній півкулі  $\delta$  плавно змінюється від  $\delta_0 = +23,5^\circ$  у період літнього сонцестояння до  $\delta_0 = -23,5^\circ$  у період зимнього сонцестояння. Аналітично отримано формулу кута схилення [5, 7, 8]

$$\delta = \delta_0 \sin\left(360 \frac{284 + n}{365}\right),$$

де  $\delta_0$  – кут нахилу земної осі у просторі відносно нормалі до площини обертання,  $\delta_0 = 23,5^\circ$ ;  $n$  – порядковий день року (наприклад,  $n = 1$  відповідає 1 січня).

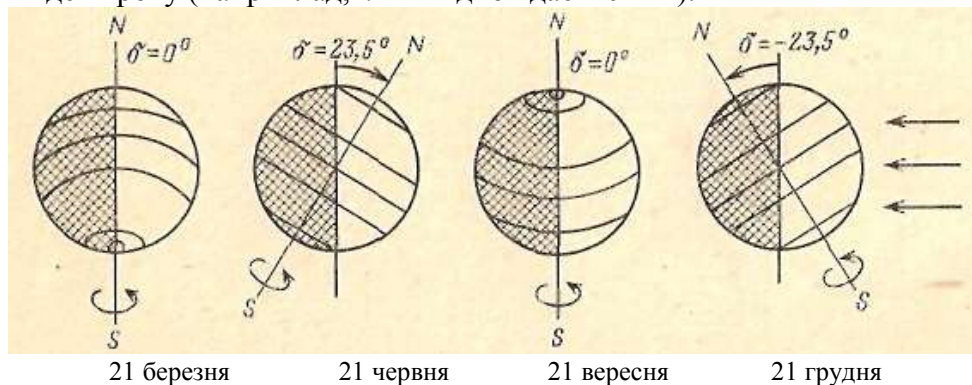


Рис. 1. Схема освітлення поверхні Землі сонячним промінням у різні пори року. Відзначено широти  $0^\circ$ ;  $\pm 23,5^\circ$ ;  $\pm 66,5^\circ$ . Видно як змінюється схилення  $\delta$ . Стрілками позначений потік сонячного випромінювання

Для похилої поверхні (приймача) визначимо наступні кути (рис. 2).

Кут нахилу  $\beta$ . Кут між площиною, що розглядається, та горизонтальною ( $0^\circ < \beta < 90^\circ$  для поверхонь, повернутих до екватору;  $90^\circ < \beta < 180^\circ$  для поверхонь, повернутих від екватору). Рациональним є встановлення сонячних панелей взимку:  $\beta = \varphi + (10^\circ - 15^\circ)$ , влітку:  $\beta = \varphi - (10^\circ - 15^\circ)$ , весною-осінню:  $\beta = \varphi$ .

Азимут  $\gamma$ . Відхилення від меридіани проекції на горизонтальну площину нормалі до поверхні приймача ( $\gamma = 0$  для площини, орієнтованій строго на південь;  $\gamma > 0$  – орієнтованій до заходу від направлення строго на південь;  $\gamma < 0$  – до сходу. Для горизонтальної площини вважаємо  $\gamma = 0$ ).

Зенітний кут Сонця  $\theta_z$  [5, 7, 8]

$$\cos\theta_z = \cos\varphi\cos\delta\cos\omega + \sin\varphi\sin\delta, \quad (2)$$

де  $\varphi$  – широта місцевості,  $^\circ$ , наприклад для Києва  $\varphi = 50^\circ$ .

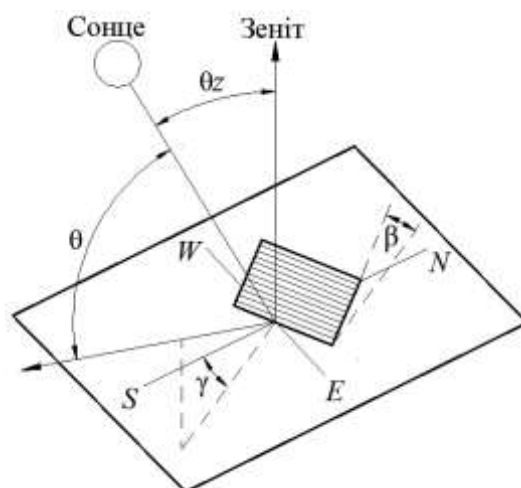


Рис. 2. Зенітний кут  $\theta_z$ , кут нахилу  $\beta$  й азимут  $\gamma$  для похилої поверхні (для випадку, зображеного на рисунку,  $\varphi < 0$ ): 1 – нормаль до горизонтальної площини; 2 – нормаль до похилої площини

**Визначення інтенсивності сонячної радіації.** Отже, кількість прямого сонячного випромінювання, котре надходить на горизонтальну поверхню на одиницю площі при ясному небі визначають за виразом [5]

$$E_{\text{пр.гор}} = e_0 \tau_D \cos \theta_z,$$

де  $E_{\text{пр.гор}}$  – енергія прямого сонячного випромінювання, котра надходить на горизонтальну поверхню на одиницю площі, Вт/м<sup>2</sup>;  $e_0$  – сонячна константа, інтенсивність сонячного випромінювання у вільному просторі на відстані, рівній середній відстані між Сонцем та Землею,  $e_0 = 1360$  Вт/м<sup>2</sup> [5, 7, 8];  $\tau_D$  – коефіцієнт атмосферної прозорості;  $\theta_z$  – зенітний кут Сонця, °.

Коефіцієнт атмосферної прозорості враховує ефект атмосфери Землі на пряму сонячну радіацію [9, 10], у відповідності з формулою (4), під дією відношення маси повітря  $m$  за двома основними факторами, а саме напрямку сонячних променів та місцевого підвищення, показано у виразі (4) [6]

$$\tau_D = 0,56 \left( e^{-0,65m} + e^{-0,095m} \right), \quad (4)$$

де  $m$  – пропорція маси повітря.

Маса повітря розраховується за допомогою формули Кастена [6, 11, 12]

$$m = \frac{1 - 10^{-4} z}{\cos \theta_z + 0,50572 \left( 96,07995^\circ - \theta_z \right)^{-1,6364}}, \quad (4)$$

де  $z$  – висота розміщення над рівнем моря, м, наприклад для Києва  $z = 179$  м.

Для перерахунку інтенсивності прямої сонячної радіації на похилу поверхню необхідно використати наступний вираз [13]

$$E_{\text{пр.пох}} = R_b E_{\text{пр.гор}},$$

де  $E_{\text{пр.пох}}$  – інтенсивність прямої сонячної радіації на похилу поверхню, кВт/м<sup>2</sup>;  $R_b$  – коефіцієнт, необхідний для розрахунку інтенсивності прямої сонячної радіації на похилу поверхню.

Коефіцієнт, необхідний для розрахунку інтенсивності прямої сонячної радіації на похилу поверхню розраховується наступним чином [13]

$$R_b = \frac{\cos(\varphi - \beta) \cos \delta \cos \omega + \sin(\varphi - \beta) \sin \delta}{\cos \varphi \cos \delta \cos \omega + \sin(\varphi - \beta) \sin \delta}.$$

Кількість дифузного (розсіяного) сонячного випромінювання, котре надходить на горизонтальну поверхню на одиницю площі при ясному небі визначають за виразом [5]

$$E_{\text{диф.гор}} = e_0(0,271 - 0,294\tau_D)\cos\theta_z,$$

де  $E_{\text{диф.гор}}$  – енергія дифузного сонячного випромінювання, котра надходить на горизонтальну поверхню на одиницю площі, кВт/м<sup>2</sup>.

Коефіцієнт, необхідний для розрахунку інтенсивності дифузної сонячної радіації на похилу поверхню розраховується наступним чином [13]

$$R = \Delta_{\text{пр}} R_b + \Delta_{\text{диф}} \frac{1 + \cos\beta}{2} + \frac{(1 - \cos\beta)\rho}{2},$$

де  $\Delta_{\text{пр}}$  – доля прямої сонячної радіації у сумарній радіації, наприклад для неба повністю ясного  $\Delta_{\text{пр}} = 0,8$  [13];  $\Delta_{\text{диф}}$  – доля дифузної сонячної радіації у сумарній радіації, наприклад для неба повністю ясного  $\Delta_{\text{диф}} = 0,2$  [13];  $\rho$  – значення відбиваючої здатності поверхні Землі: 0,2 при відсутності снігу та 0,7 при наявності сніжного покриву [13].

Для перерахунку інтенсивності дифузного (розсіяного) сонячного випромінювання на похилу поверхню необхідно використати наступний вираз [13]

$$E_{\text{диф.пох}} = R E_{\text{диф.гор}},$$

Для розрахунку інтенсивності сумарної сонячної радіації на похилу поверхню необхідно використати наступний вираз [13]

$$E_{\text{пох}} = E_{\text{диф.пох}} + E_{\text{пр.пох}}.$$

**Структура та складові сонячної електростанції (СЕС).** Наведемо умовну схему структури СЕС, що включає наступні складові: сонячний модуль або панель, регулятор відбору максимальної потужності, контролер заряду-розряду акумуляторної батареї (у разі накопичення енергії, яку генерує сонячна батарея), акумулятор (у разі накопичення енергії, яку генерує сонячна батарея), інвертор, з'єднуючі кабелі.

Тому при розрахунку вихідної потужності необхідно враховувати втрати потужності у кожній складовій СЕС.

Сонячний модуль або фотоелектрична панель – це електричний пристрій, що перетворює частину сонячного електромагнітного випромінювання у постійний електричний струм. Є найбільш ефективним, з енергетичної точки зору, пристроєм для перетворення сонячної енергії в електричну енергію. Сонячний модуль на основі монокристалічного кремнію має найбільший ККД, який становить 17 – 18 %. Даний вид сонячних батарей досягає максимальної потужності при ясному небі, середній температурі повітря 25° С і напрямку панелей прямо на сонце. У той же час, навіть невелика хмарність сильно знижує потужність установки (на 70 %), а сильна хмарність практично блокує її роботу (на 90 %). Діапазон робочих температур для одержання оптимальної потужності коливається від 15 до 25° С. Альтернативою монокристалічним панелям є полікристалічні сонячні панелі. ККД сонячної панелі на основі полікристалічного кремнію становить 10 – 12 %. Тонкоплівкові панелі – найбільш дешевий варіант з усіх видів сонячних панелей. Тонкоплівкові панелі не вимагають прямих сонячних променів, працюють при розсіяному випромінюванні, завдяки чому сумарна вироблена за рік потужність на 10 – 15 % перевищує показники традиційних кристалічних сонячних панелей. Тонка плівка є набагато більш рентабельним способом виробництва енергії і може переграти монокристали в областях з туманним, похмурим кліматом або у тих галузях промисловості, яким властива запиленість повітря [14].

Зазвичай, у регуляторах відбору потужності батарей реалізується принцип пошуку максимуму потужності шляхом коротких періодичних змін положення робочої точки. Якщо при цьому потужність на виході приладу зростає, то положення робочої точки змінюється у цьому напрямку при подальшому кроці. Таким чином, безперервно оптимізується

навантажувальна характеристика для відбору максимальної потужності, а також забезпечується можливість регулювання у широкому динамічному діапазоні та формування імпульсів струму, здатних зарядити акумуляторну батарею навіть в умовах слабкої освітленості. Потрібно враховувати, що регулятори мають ККД 0,85 – 0,95 [14].

Сонячний генератор (яким би складним і великим він не був) може виробляти лише постійний струм. Для перетворення постійного струму акумуляторної батареї на змінний синусоїдальної форми, потрібен інвертор. Для всіх типів інверторів ключовий параметр – ККД (який повинен бути більше 90 %). ККД інверторів зазвичай знаходиться у діапазоні 90 – 95 % [14].

Кращий спосіб уникнути непотрібних втрат у з'єднувальних кабелях – використання відповідних електрокабелів і правильне їх підключення до приладів. Якщо частина кабелю знаходиться під відкритим небом, то він повинен бути стійким до поганих погодних умов. Стійкість до ультрафіолетового випромінювання також важлива. При правильному виборі перерізу втрати потужності на дроті становлять близько 3 % [14].

**Визначення потужності на виході СЕС.** Отже, кількість потужності, яку можна отримати на виході СЕС без наявності акумулятора (слідкування за сонцем відсутнє – система стаціонарна) [5, 7, 8]

$$P_{\text{СЕС}} = P_{\text{н}} E_{\text{пох}} \eta_{\text{в.п}} \eta_{\text{інв}} \eta_{\text{п.с}} \cdot 10^{-3},$$

де  $P_{\text{н}}$  – потужність сонячного модуля, кВт, береться з паспортних даних;  $\eta_{\text{в.п}}$  – ККД відбору максимальної потужності, в.о.;  $\eta_{\text{інв}}$  – ККД інвертора, в.о.;  $\eta_{\text{п.с}}$  – врахування на втрати у проводах, відбиванні від скла та т.п., в.о.

Узагальнюючи вищезазначене можна зробити наступний висновок. Задача оцінки вихідної потужності СЕС повинна розглядатися у залежності від потужності сонячної батареї, яка береться з паспортних даних СЕС, котра визначається при стандартних тестових умовах (STC-Standard Test Conditions, сонячна радіація 1000 Вт/м<sup>2</sup>, температура – 25 °С та сонячний спектр на широті 45° (AM1,5)), та умовно розбиватися на два етапи.

Моделювання режиму роботи СЕС може здійснюватися на основі характерного графіка добового зміни сонячної радіації для певної години доби, вимірюного або певного аналітичним шляхом у фактичному або передбачуваному місці розміщення станції.

Необхідно враховувати, що значення сонячної радіації для кожного  $t$ -го інтервалу часу задаються детермінованою величиною, а, як було показано вище, такі показники як ККД регулятора відбору потужності, інвертора, врахування на втрати у проводах, відбиванні від скла задаються інтервальною величиною:

$$[\eta_{\text{в.п}}, \bar{\eta}_{\text{в.п}}], [\eta_{\text{інв}}, \bar{\eta}_{\text{інв}}], [\eta_{\text{п.с}}, \bar{\eta}_{\text{п.с}}].$$

Тоді, на першому етапі кількість енергії СЕС для окремих періодів часу  $t$  можна оцінити таким чином:

$$[P_{\text{СЕС}t}, \bar{P}_{\text{СЕС}t}] = P_{\text{н}} E_{\text{пох}} [\eta_{\text{в.п}}, \bar{\eta}_{\text{в.п}}] [\eta_{\text{інв}}, \bar{\eta}_{\text{інв}}] [\eta_{\text{п.с}}, \bar{\eta}_{\text{п.с}}] \cdot 10^{-3}$$

Очевидно, що у цьому випадку, враховуючи правила виконання операцій із нечіткими числами, результуюча величина також буде представлена інтервальним числом:

$$[P_{\text{СЕС}t}, \bar{P}_{\text{СЕС}t}]$$

У свою чергу розрахована на попередньому етапі кількість енергії буде відповідати умовам ясного неба. Але оскільки прозоре небо не характерне для кожного дня року, то на отриманий результат необхідно «накласти» вплив хмарності неба, яка є типовою для певних



сезонів року. Навіть невелика хмарність сильно знижує потужність установки (на 70 %), а сильна хмарність практично блокує її роботу (на 90 %) [14].

Отримане значення кількості енергії на першому етапі є максимально можливим значенням енергії, яке можна отримати на виході СЕС, яке у природі існує дуже рідко. Тому вважаємо, що хмарність (непрозорість) неба знижує значення кількості енергії на виході СЕС у деякі сезони року практично до нуля. Отже на другому етапі отримуємо результуючу величину, яка буде представлена нечітким числом із трапецієвидною функцією приналежності (рис. 3).

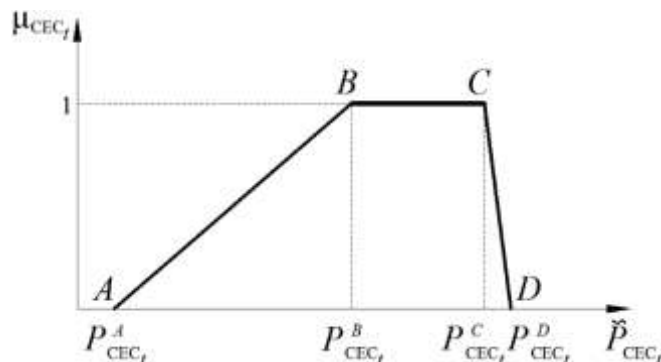


Рис. 3. Результуюча величина, що представлена нечітким числом із трапецієвидною функцією належності

Вважаємо, що верхнє плато отриманої трапеції відповідає інтервалу  $[P_{СЕС,t}, \bar{P}_{СЕС,t}]$ , отриманого на першому етапі. А розміщення верхнього плато ближче до нуля чи до максимального значення буде залежати від характеру сезону року, та кількості хмарних та ясних днів у сезоні (місяці).

Наведена математична модель СЕС, що наведена у роботі може доповнюватися іншими факторами, які можуть зробити вагомий вплив на розрахунок вихідних параметрів станції.

1. Праховник А.В. Требования и общие принципы организации базы данных для решения задач моделирования и оптимизации режимов в современных системах электроснабжения [Текст] / А.В. Праховник, В.А. Попов, В.В. Ткаченко, Е.С. Луцько // Энергетика: економіка, технології, екологія / Наук. журнал. – К.: НТУУ «КПІ», 2010. – № 1. – С. 42 – 47. – Бібліогр.: с. 47. – 150 екз. – ISSN 1813-5420.
2. Экель П.Я. Учет фактора неопределенности в задачах моделирования и оптимизации электрических сетей [Текст] / П.Я. Экель, В.А. Попов // Известия Академии наук СССР. Серия: Энергетика и транспорт / Наук. журнал. – М.: Издательство «Наука», 1985. – № 2. – С. 50 – 58.
3. Popov V. Methodology of soft computing in modelling power systems and subsystems modes of operation [Текст] / V. Popov, P. Ekel, F. Farret // Proceedings of the Seventh International Fuzzy System Association World Congress. – Prague, 1997. – Vol. 4. – PP. 214 – 219.
4. Попов В.А. Принципы учета неопределенности исходной информации при моделировании нагрузок в распределительных сетях [Текст] / В.А. Попов, Е.С. Ярмолук, С. Банузаде Сахрагард, А.А. Журавлев // Энергетика: економіка, технології, екологія / Наук. журнал. – К.: НТУУ «КПІ», 2011. – № 1. – С. 61 – 66. – Бібліогр.: с. 66. – 150 екз. – ISSN 1813-5420.
5. Виссарионов В.И. Солнечная энергетика: Навчальний посібник для ВНЗів [Текст] / В.И. Виссарионов, Г.В. Дерюгина, В.А. Кузнецова, Н.К. Малинин; під редакцією В.И. Виссарионова. – М.: Видавничий дім МЕІ. – 2008. – 317 с. – 300 екз.

- 
6. Nemes C. Potential solar irradiance assessment based on a digital elevation model / C. Nemes, F. Munteanu // *Advances in Electrical and Computer Engineering*. – 2011. – V. 11. – № 4. – P. 89 – 92.
  7. Дудюк Д.Л. Нетрадиційна енергетика: основи теорії та задачі: Навчальний посібник [Текст] / Д.Л. Дудюк, С.С. Мазепа, Я.М. Гнатишин. – Львів: Магнолія 2006. – 2008. – 188 с. – ISBN 978-966-2025-39-2.
  8. Твайделл Дж. Возобновляемые источники энергии [Текст] / Дж. Твайделл, А. Уэйр; пер. з англ. під ред. В.А. Коробкова. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 392 с., іл. – 3450 экз. – ISBN 5-283-02469-5 (рус.).
  9. Zekai Sen. *Solar Energy Fundamentals and Modeling Techniques* / Sen Zekai. – Springer, 2008. – 276 p. – ISBN-10: 1848001339.
  10. Bailang Yu. Investigating impact of urban morphology on spatiotemporal variations of solar radiation with airborne Lidar data and a solar flux model: a case study of downtown Houston / Yu. Bailang, Liu. Hongxing, Wu. Jianping, Lin Wei-Ming // *Int. Journal of Remote Sensing*. – 2009. – Vol. 30. – № 17. – PP. 4359 – 4385.
  11. Paulescu M. *Algoritmi de estimare solare* / M. Paulescu. – Romanian: Editura Matrix Rom, București, 2005. – ISBN 973-685-951-7.
  12. Kasten F. Revised optical air mass tables and approximation formula / F. Kasten, A.T. Young. – *Applied Optics*, 1989. – Vol. 28. – PP. 4735 – 4738.
  13. Даффи Дж.А. Тепловые процессы с использованием солнечной энергии [Текст] / Дж.А. Даффи, У.А. Бекман. – М.: Мир, 1987. – 413 с.
  14. Компанія світлотехнічного й електротехнічного обладнання «Софіт-Люкс»: Сонячні електростанції в Україні. Перспективи розвитку: [http://sofit.com.ua/articles/solnechnaya\\_e\\_nergetika\\_v\\_ukraine/](http://sofit.com.ua/articles/solnechnaya_e_nergetika_v_ukraine/).

УДК 621.311.1

Соловей А.И., Купцов Д.В.

**ВИБІР СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ВІДДАЛЕНИХ ОБ'ЄКТІВ**

*У роботі розглянуто порядок вибору системи електропостачання промислового об'єкта, що віддалений від енергосистеми, розглянуто можливість встановлення дизель-генераторів, а також побудови лінії від центру живлення. Виконане моделювання за допомогою середовища Matlab*

*Ключові слова: Моделювання, віддалені об'єкти, Matlab, ефективність.*

**ВЫБОР СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ УДАЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ**

*В работе рассмотрен порядок выбора системы электроснабжения промышленного объекта, который отдален от энергосистемы, рассмотрена возможность установки дизель-генератора, а также построения линии от центра питания. Выполнено моделирование с помощью среды Matlab.*

*Ключевые слова: Моделирование, удаленные объекты, Matlab, эффективность.*

**SELECTION OF POWER SUPPLY REMOTED OBJECTS**

*In the article it has been discussed how to select the power supply system of the site which is remotd from the grid. Installation of a diesel generator and the construction of a line from the center of power have been considered. It has been simulated by Matlab.*

*Keywords: Modelling, remote objects, Matlab, efficiency.*

**Вступлення**

Для організації роботи різних об'єктів виникає задача забезпечення їх електроенергією. Робота частин таких об'єктів носить тимчасовий характер, як наприклад, скважини для геологічної розвідки, асфальтобетонні заводи, передвижні лесопилки, побудова об'єктів інфраструктури (мости, туннелі), комплекс заходів для осушення болот.

При умові віддаленості об'єкта існує багато варіантів його живлення. Так, наприклад, це може бути побудова лінії від найближчої підходящої мережі, установка дизель-генераторів і/або використання відновлюваних джерел енергії. Звичайно, остаточне рішення повинно прийматися на основі техніко-економічного розрахунку, можливостей регіону і майбутніх перспектив. Швидше за все, проєктувальникам відома розрахункова потужність об'єкта, як і віддаленість його від мережі, а також приблизне час використання. Ці дані дозволяють провести розрахунки для встановлення економічної доцільності використання того або іншого способу електроживлення.

Вибір оптимального сечення при умові живлення від мережі також визначається на основі цих даних. При виборі найбільш оптимального джерела слід врахувати багато факторів. Так, наприклад, гірська або болотиста місцевість значно здорожує прокладку лінії електропередач, а ліси роблять неефективною роботу сонячних батарей і вітроелектростанцій.

**Выбор источника**

Для вибору джерела живлення за потужністю, віддаленості від ЦП і часу роботи споживача складається модель, яка визначає вартість енергії, виробленої дизель-генератором.

Розрахунок виконано для 1 доби при рівномірній графіці навантаження, враховуючи витрати на ДТ і амортизацію ДГ.

Для этого определяется стоимость электроэнергии за сутки при работе дизель-генератора

$$C_o = \left( \frac{A \cdot P}{M} + D \cdot B \cdot P \right) \cdot t,$$

где:

A – стоимость 1кВт установленной мощности ДГ (грн), принято за 1670 грн согласно ценам производителей [6],

M – ресурс ДГ (час), производителем заявлено 43800 часов [6],

D – цена ДТ (грн/л), средняя цена по АЗС Украины 10 грн/л [2],

B – расход ДТ на 1кВт·час (л/кВт·час), производителем заявлено 0,2 л/кВт·час [6],

t – часов в сутках (час),

P – мощность потребителя (кВт),

Для условий Украины модель стоимости снабжения объекта дизель-генераторами имеет вид

$$C_o = \left( \frac{1670 \cdot P}{43800} + 10 \cdot 0,2P \right) \cdot 24.$$

С помощью Matlab проведено моделирование стоимости снабжения объекта мощностью P и удаленность L на протяжении суток. Результаты моделирования представлены на рисунке 1.

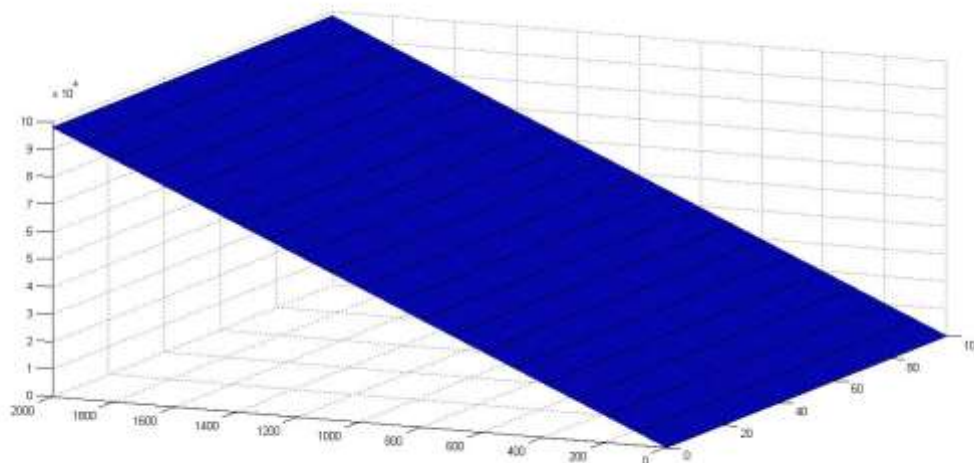


Рисунок 1 Зависимость стоимости снабжения объекта дизель-генераторами от мощности P и удаленности от сети L

Как видно, стоимость снабжения объекта дизель-генераторами не зависит от удаленности объекта и изменяется по линейному закону. Также важным преимуществом дизель-генератора является то, что амортизационные затраты зависят только от ресурса дизель-генератора, ведь эти устройства являются достаточно мобильными и универсальными. После прекращения работы удаленного объекта дизель-генератор можно быстро и дешево переместить на другой аналогичный объект.

Для определения стоимости снабжения объекта от сети с учетом капитальных затрат, потерь в линиях, а также стоимостью электроэнергии составляется модель.

К капитальным затратам отнесено постройку линии с проводами нужного сечения, а также подстанцию для подключения линии к системе. При этом амортизация ЛЭП происходит за время срока эксплуатации объекта Т.

Потери в линии имеют прямую зависимость с сечением проводов в линиях, а значит и с ценой постройки линии. Определение оптимального сечения провода является важной задачей при проектировании.

Из данной модели определяется стоимость электроэнергии при питании потребителя от сети, при условии постройки линии длиной L

$$C_n = \frac{(K + 26,3 \cdot P^2 + 111,4 \cdot P + 160) + (14544 + 3 \cdot N \cdot F) \cdot L}{T} \cdot t + P \cdot E \cdot t + E \cdot t \cdot \left( \frac{3 \cdot \left(\frac{P}{F}\right) \cdot \left(\frac{P}{U \cdot \sqrt{3} \cdot \cos \varphi}\right)^2}{1000} \right)$$

где

K – стоимость ТП (грн), согласно ценам производителей принято 50000 грн [7];

F – сечение проводника мм<sup>2</sup> [7];

N – стоимость 1 км ЛЭП без проводов (грн), согласно ценам производителей принято 14544 грн [7];

M – усредненная стоимость 1 мм<sup>2</sup> алюминиевого провода длиной 1км (грн) согласно ценам производителей 148 грн за 1км/мм<sup>2</sup> [7];

T – общее число часов использования объекта за весь срок эксплуатации (час), принимаем 2190 часов;

E – тариф на ЭЭ (грн/кВт· час), согласно сайту НКРЕ 1,1473 грн/кВт· час [2];

p – сопротивление 1 км провода сечением 1 мм<sup>2</sup> (Ом), для АС 70 принято 27,1 Ом [7];

U – напряжение (кВ), принято за 10кВ;

cos φ – коэффициент мощности, принято 0,8;

L – длина ЛЭП (км);

26,3 · P<sup>2</sup> + 111,4 · P + 160 - эмпирический закон увеличения стоимости ТП к базовой стоимости с увеличением мощности;

Для условий Украины модель стоимости снабжения объекта от сети имеет вид

$$C_n = \frac{(50000 + 26,3 \cdot P^2 + 111,4 \cdot P + 160) + (14544 + 3 \cdot 148 \cdot F) \cdot L}{2190} \cdot 24 + P \cdot 1,1473 \cdot 24 + 1,1473 \cdot 24 \cdot \left( \frac{3 \cdot \left(\frac{27,1}{F}\right) \cdot \left(\frac{P}{10 \cdot \sqrt{3} \cdot 0,8}\right)^2}{1000} \right)$$

Результаты моделирования C<sub>л</sub>=f(L,P) представлены на рисунке 2

Как видно затраты увеличиваются линейно с увеличением расстояния до ЦП, а так же квадратически, с ростом передаваемой мощности, что обусловлено потерями в линии. Расчет выполнен для провода АС 70.

Для определения случаев, когда наиболее целесообразна постройка линии электроснабжения, отображена линия пересечения плоскостей, показанных на рисунке 1 и рисунке 2. Результат представлен на рисунке 3.

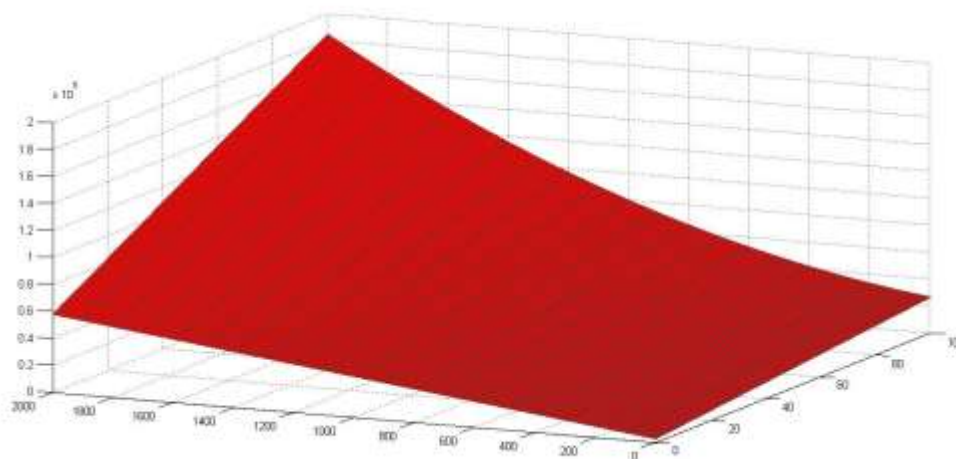


Рисунок 2 Зависимость стоимости снабжения объекта от сети (при необходимости постройки линии от сети к потребителю) от мощности  $P$  и удаленности от сети  $L$

Для получения линии пересечения плоскостей нужно приравнять уравнения этих плоскостей.

$$C_o = C_n \left( \frac{1670P}{43800} + 10 \cdot 0,2P \right) \cdot 24 =$$

$$= \frac{(50000 + 26,3 \cdot P^2 + 111,4 \cdot P + 160) + (14544 + 3 \cdot 148 \cdot F) \cdot L}{2190} \cdot 24 + P \cdot 1,1473 \cdot 24 + 1,1473 \cdot 24 \cdot \left( \frac{3 \cdot \left( \frac{27,1}{F} \right) \cdot \left( \frac{P}{10 \cdot \sqrt{3} \cdot 0,8} \right)^2}{1000} \right)$$

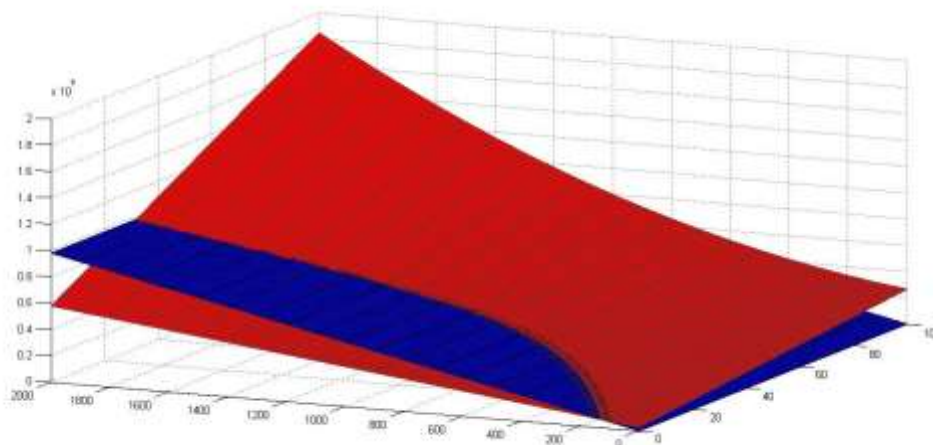


Рисунок 3 Зависимость стоимости снабжения объекта дизель-генераторами и при постройке ЛЭП при мощности  $P$  и удаленности от сети  $L$   
Переход к 2 мерному изображению - вид сверху, представлен на рисунке 4

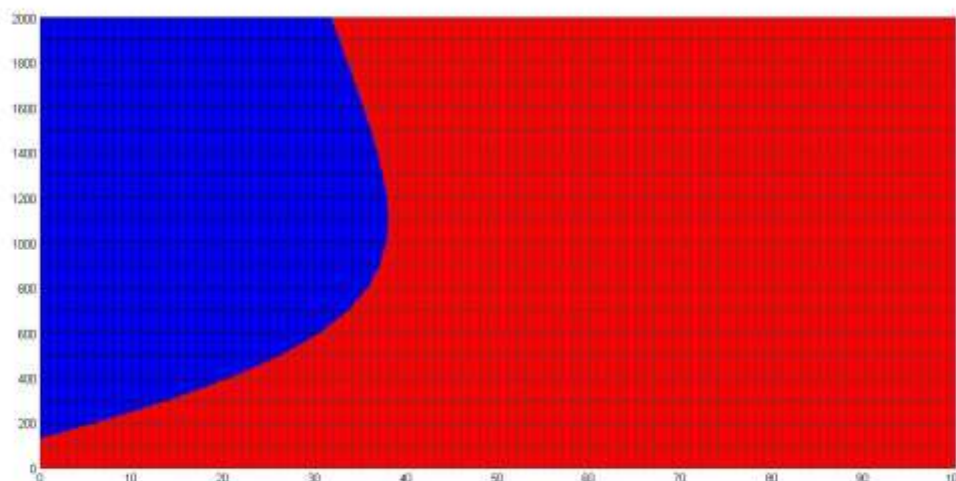


Рисунок 4 Области экономически выгодного использования дизель-генератора (светлая) и постройкой ЛЭП (темная) при мощности P и удаленности от сети L

Как видно с изображения, можно выделить 2 области:

1. Выгоднее построить и питать объект от линии ( темная область)
2. Выгоднее использовать ДГ (светлая область)

Форма данного графика обусловлена несколькими факторами

1. При низких мощностях потери, а значит и стоимость потерь, будут незначительными, при росте потребления потери будут увеличиваться в квадрате
2. При увеличении протяженности линии существенно возрастают потери и капитальные затраты
3. Определенные капитальные затраты на подключение нужны даже в случае близкого расположения к системе, при небольшой мощности и сроке эксплуатации объекта такое подключение будет не оправдано.

В связи с тем что точное время эксплуатации объекта установить точно не всегда возможно, перейдем от частного случая к общему. Для этого на основании предыдущего расчета найдем уравнение кривой пересечения 2 плоскостей при разных значениях T

Для облегчения расчета, используются значения, принятые ранее, при моделировании  $C_d=f(L,P)$  и  $C_l=f(L,P)$ .

Результат моделирования:

$$L = \frac{0,8908P - \frac{250000}{T}}{0,000017926 \cdot 0,595P^2 + \frac{21630}{T}}$$

Графически модель отображена на рисунке 5

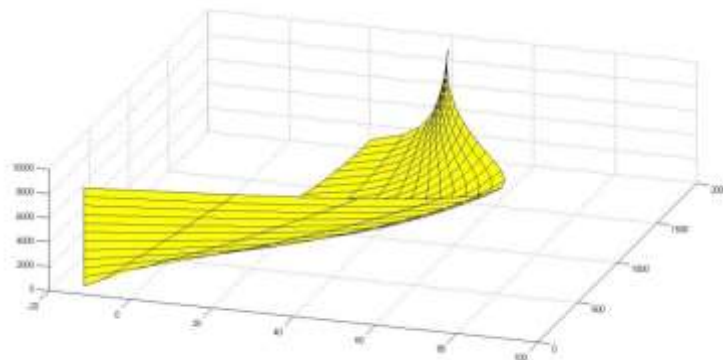


Рисунок 5 Граница эффективного использования питания от сети при мощности  $P$  и удаленности от сети  $L$

Из графика можно определить граничные значения мощности и расстояния до ЦП при разных значениях  $t$  (ось  $z$ ), когда целесообразна постройка ЛЭП. В объеме лежащем левее от плоскости использования дизель генератора экономически не оправдано. Вид сверху представлен на рисунке 6

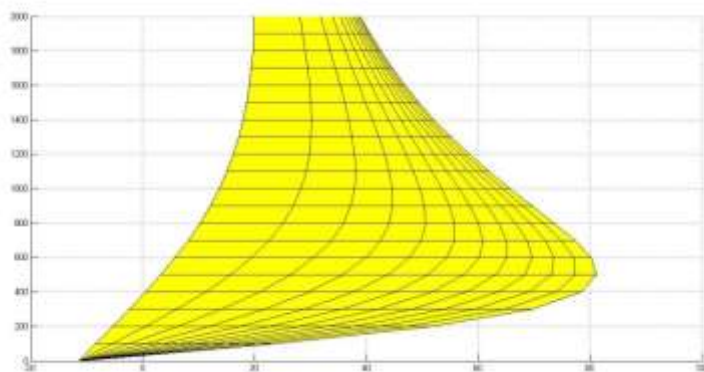


Рисунок 6 Граница эффективного использования питания от сети при мощности  $P$  и удаленности от сети  $L$  (вид сверху)

В целом рисунок повторяет границу эффективного использования ЛЭП, которая была получена ранее и отображена на рисунке 3. Кривые вертикальные линии соответствуют разному времени использования  $T$ . Отсюда видно, что при длительном использовании и малой передаваемой мощности зона эффективного использования ЛЭП будет больше, ведь это позволяет амортизацию капитальных вложений разбить на большее время. Но при этом увеличение мощности, при неизменном сечении, приведет к огромным потерям ( в общем эксплуатационном интервале времени).

Аналогичный расчет для проводов АС35 и АС120 с учетом изменения потерь в линии и стоимости провода представлен на рисунке 7



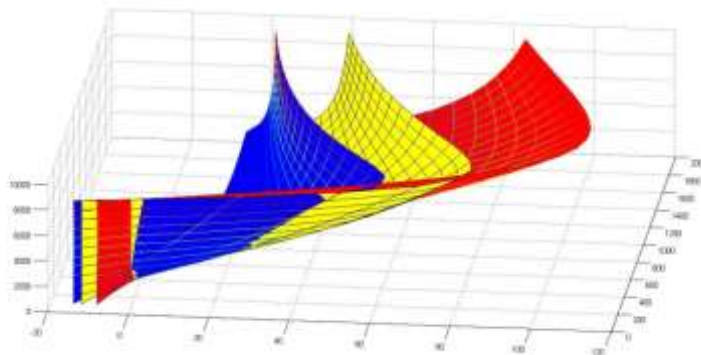


Рисунок 7 Граница эффективного использования питания от сети при мощности  $P$  и удаленности от сети  $L$  для проводов АС35 (черный) АС70 (белый) АС120 (светлый)

### Выводы

Выбор рационального источника питания при традиционных способах электроснабжения является многофакторной задачей, которая решается на основе технико-экономического сравнения рассматриваемых вариантов.

Расчетно-аналитический метод позволяет определить граничные расстояния питания обособленных объектов от системы электроснабжения.

Так, задавшись величиной потребляемой мощности, измерив расстояние до сети, а также время работы объекта можно достаточно точно, с помощью построенных графиков выбрать источник питания. Следует учитывать то, что сечение провода, используемого при питании потребителя также значительно влияет на конечную стоимость электроэнергии.

Для уточнения расчетов необходимо расширить диапазон разности оборудования и учесть графики его нагрузки.

### Список использованной литературы:

- 1 Нетрадиційні та поновлювальні джерела енергії: Навчальний посібник / О.І. Соловей, Ю.Г. Лега, В.П. Розен, О.О. Ситник, А.В. Чернявський, Г.В. Курбака; за заг. ред. О.І. Солов'я Черкаси ЧДТУ, 2007. -483с;
- 2 Сайт НКРЕ [електронний ресурс] <http://www.nerc.gov.ua/>
- 3 77Промелектро №5, 2004;
- 4 Правила устройства электроустановок (ПУЭ) 2012;
- 5 [Энергосбережение №5 2005](#);
- 6 Сайт Производителя дизель генератора [электронный ресурс] <http://www.vsegdasvet.com.ua/generator>;
- 7 Сайт производителя проводов [электронный ресурс] <http://transformator.chat.ru/Page-7.html>;
- 8 [Электропривод и электроснабжение горных предприятий](#) Абрамович Б.Н.; 2001.

УДК 621.3.077.8

Магістрант VI курсу, гр. ОЕ-72 Моргун К.К.

доц., к.т.н. Замулко А.І.

**КОМПЛЕКСНИЙ АНАЛІЗ СПОСОБІВ ТА ЗАСОБІВ КОМПЕНСАЦІЇ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ В ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ**

Актуальним питанням для електроенергетичної галузі України є підвищення ефективності передачі електричної енергії, ефективне використання електричних мереж та устаткування, зменшення втрат електроенергії в мережах. Традиційно, реалізація цих завдань провадиться шляхом встановлення компенсуючих пристроїв в вузлах найбільшого споживання реактивної енергії.

В роботі проведено аналіз обсягів споживання реактивної енергії та її грошового еквіваленту, на базі форм статистичної звітності «49-енерго». Проведено прогнозування обсягів споживання реактивної енергії на основі моделі нечітких часових рядів, також проведено аналіз раціональності та економічної доцільності вибору місця встановлення компенсуючих пристроїв реактивної енергії в залежності від напруги у вузлі монтажу та номінальної напруги споживачів реактивної енергії.

Ключові слова: Компенсація реактивної потужності, аналіз споживання реактивної енергії, нечіткі часові ряди, «49-енерго».

**КОМПЛЕКСНИЙ АНАЛІЗ СПОСОБОВ И СРЕДСТВ КОМПЕНСАЦИИ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ**

Актуальным вопросом для электроэнергетической отрасли Украины является повышение эффективности передачи электрической энергии, эффективное использование электрических сетей и установок, снижение потерь электроэнергии в сетях. Традиционно, реализация этих задач производится путем установки компенсирующих устройств в узлах наибольшего потребления реактивной энергии.

В работе проведен анализ объемов потребления реактивной энергии и ее денежного эквивалента, на базе форм статистической отчетности «49-энерго». Проведено прогнозирование объемов потребления реактивной энергии на основе модели нечетких временных рядов, также проведено анализ рациональности и экономической целесообразности выбора места установки компенсирующих устройств реактивной энергии в зависимости от напряжения в узле и номинального напряжения потребителей реактивной энергии.

Ключевые слова: Компенсация реактивной мощности, анализ потребление реактивной энергии, нечеткие временные ряды, «49-энерго».

**COMPLEX ANALYSIS OF REACTIVE POWER COMPENSATION METHODS AND DEVICES**

Topical issues in electric power industry of Ukraine are: increasing the efficiency of electricity power transmitting, the effective exploitation of electrical grids and electrical equipment, electric power losses reduction. Generally, the implementation of these tasks is performed by setting of reactive power compensation devices at the sites of the highest reactive power consumption.

This article represents analysis of the reactive power consumption and cost of the reactive power consumption. This analysis based on the statistical report "49-energo". Amount of the reactive power consumption was forecasted by the method of fuzzy time series. Also in this paper was analyzed rationality and feasibility of reactive power compensation devices installation point, depending on the rated voltage of reactive power consumers.

*Keywords: Reactive power compensation, analysis of the reactive power consumption, fuzzy time series, "49-energo"*

**Вступ.** В умовах зростання цін на енергетичні ресурси, збільшення обсягів виробництва та інфраструктури в містах актуальнішим стає питання енергозбереження. Як відомо, зі всіх способів енергозбереження на компенсацію реактивної потужності припадає біля вісімдесяти відсотків можливої економії електричної енергії в передавальних мережах.

Більшість електроприладів (двигуни, електромагнітні пристрої, освітлювальне устаткування тощо), а також засоби перетворення електроенергії (трансформатори, перетворювачі) внаслідок своїх фізичних властивостей потребують для роботи, крім активної потужності, реактивну потужність (РП), що протягом половини періоду основної частоти мережі спрямована у бік електроспоживача, а впродовж іншої половини періоду - у зворотний бік. Незважаючи на те, що на вироблення РП, активну потужність, а отже, і паливо безпосередньо не витрачають, її передавання по мережі супроводжується витратами активної енергії, які покриваються активною енергією генераторів (через додаткову витрату палива).

Крім того, передавання РП додатково завантажує електричні мережі й встановлене в них устаткування (передусім, силові трансформатори), зменшуючи їх пропускну спроможність. Таким чином наявність некомпенсованої реактивної потужності в електричних мережах призводить до підвищення сплати за електричну енергію, додаткових втрат та перегрівання кабелів, перенавантаження електричних підстанцій, необхідності обирати трансформатори та кабелі більшої потужності, що також призводить до додаткових фінансових втрат.

Як відомо, в наш час стрімкіше зростає споживання реактивної енергії ніж соживання активної енергії. Це обумовлено впровадженням сучасних електротехнічних та радіотехнічних пристроїв (системи освітлення, реклами, кондиціонування, частотні перетворювачі електричних приводів, імпульсні блоки живлення) в електричні мережі споживачів.

Тому актуальним питанням для електроенергетики України є проведення аналізу регіонів країни щодо споживання та генерації реактивної потужності. Також важливо контролювати обсяги генерації реактивної потужності, для вирішення цього питання необхідно звернутися до методів прогнозування очікуємих величин.

**Завдання та мета дослідження.** Завданням роботи є провести аналіз існуючої статистичної звітності з питань споживання та розрахунків за реактивну енергію та визначити її достатність щодо здійснення керування, регулювання та відповідного нагляду. Також розробити показники для проведення оцінки ефективності використання засобів компенсації реактивної енергії у розрізі регіонів України, прогнозування обсягів споживання реактивної енергії та вибір раціонального способу реалізації компенсації реактивної потужності.

**Методологія.** Для проведення аналізу споживання реактивної енергії у розрізі по регіонах України, було використано кластерний аналіз. Цей метод було обрано з причин наочності результатів аналізу, також цей метод дає можливість сформулювати регіональний індекс споживання реактивної енергії, дає можливість у аналізі врахувати одразу чотири параметри одночасно, дає можливість побачити на діаграмі відстань від точки, що зображує певний регіон до ідеальної точки.

Вихідні данні для аналізу були взяті з форми статистичної звітності щодо споживання реактивної енергії по регіонах та в цілому по Україні «49-енерго». Одними з показників, що передбачає форма статистичної звітності є «споживання реактивної електроенергії x мереж

електропередавальної організації (тис.квар·год)», «розрахункові втрати в трансформаторах (тис.квар·год)», «генерація реактивної енергії з мереж споживачів в мережі електропередавальної організації (тис.квар·год)» та «всього нараховано коштів(без ПДВ)(тис.грн.)»

**ЗВІТ Форма № 49 - енерго**  
**ПРО СПОЖИВАННЯ І ОПЛАТУ РЕАКТИВНОЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ СПОЖИВАЧАМИ ЗА 20 Р.**

№ п/п	По всіх споживачах, з якими проведені розрахунки								В т.ч. по споживачах, з якими розрахунки починали у поточному році													
	Найменування регіону, області та електропередавальної організації розрід області		Споживання реактивної електроенергії з мереж електропередавальної організації, тис. кВт·год		Розрахункові втрати в трансформаторах, тис. кВт·год		Генерація реактивної електроенергії з мереж електропередавальної організації, тис. кВт·год		Нараховано коштів за реактивну електроенергію, тис. грн.		Всього нараховано коштів (без ПДВ), в т.ч.:		Оплата (П <sub>1</sub> )		Надбавка (П <sub>2</sub> )		Співнесено споживачам за реактивну електроенергію (без ПДВ), тис. грн.		Виплати електропередавальній організації за реактивну електроенергію з урахуванням роботи регулюючих мереж, тис. грн.		Кількість спожитої, щомісячної плати за перебіг реактивної електроенергії	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	

Рис. 1,- форма статистичної звітності «49-енерго»

Оскільки всі складові показники регіонального індексу споживання реактивної енергії по Україні, що наведені вище, мають різні одиниці вимірювання проводимо стандартизацію, нормалізувавши параметри за середнім квадратичним відхиленням:

$$z_{ij} = \frac{x_{ij} - \bar{x}_j}{S_j}$$

Внаслідок стандартизації показників отримуємо матрицю нормованих значень спостережень. Тоді кожен регіон можна інтерпретувати як деяку точку  $P_i$ , координатами якої є величини  $z_{ij}$ ,  $j = 1, 2, 3, \dots, n$ . Далі визначемо координати точки  $P_0 = (z_{01}, z_{02}, \dots, z_{0n})$ , яку будемо називати еталоном. Відстань від точки  $P_i$  до точки  $P_0$  знаходимо за формулою:

$$d_{j0} = \sqrt{\frac{1}{m} \sum_{j=1}^n (z_{ij} - z_{0j})^2}$$

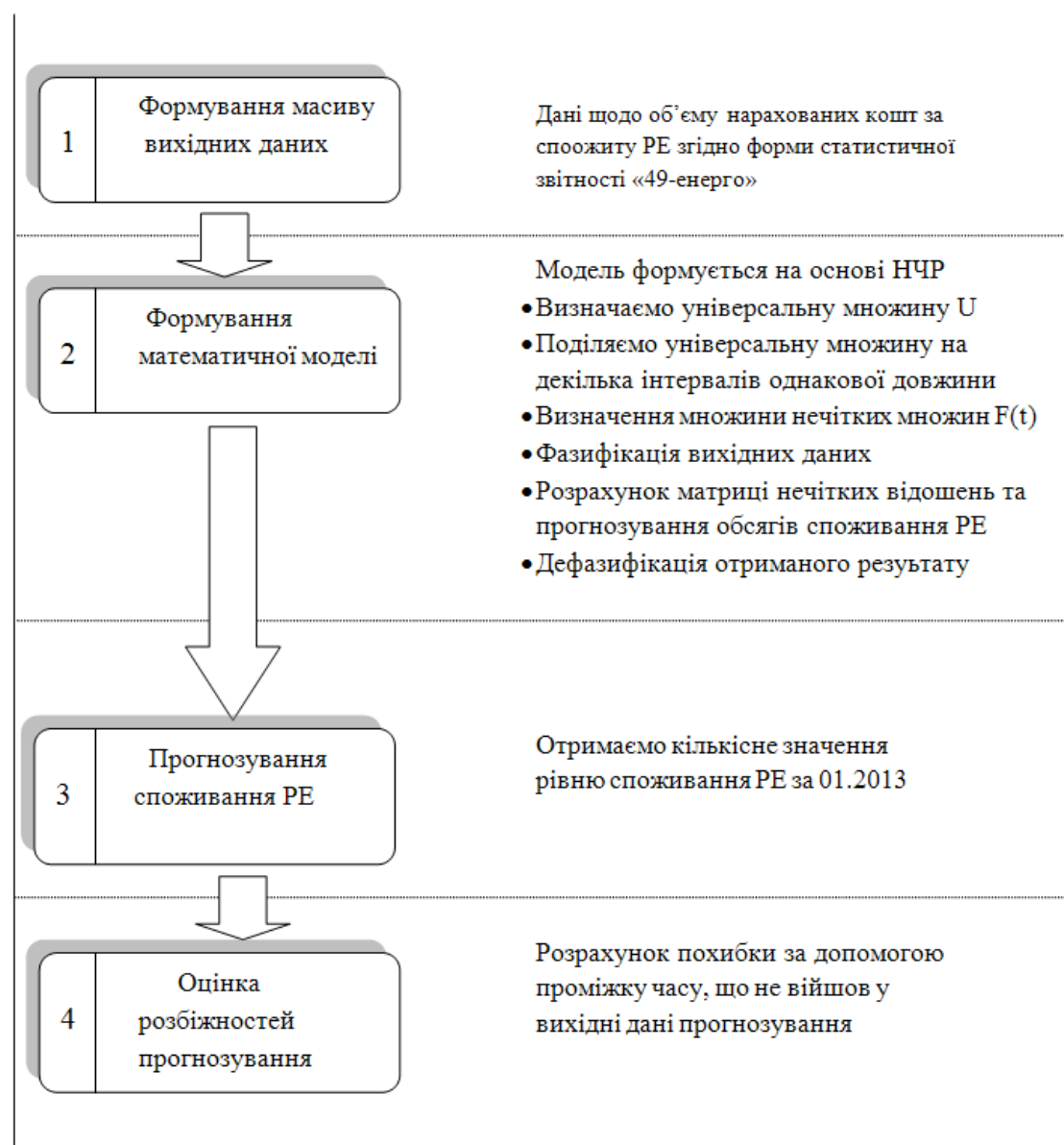
Розрахунок функції переваги індексу регіонального споживання реактивної енергії  $i$ -го регіону  $f(x_i)$  здійснений за формулою:

$$f(x_i) = 1 - \frac{d_{i0}}{d_0}$$

Для прогнозування значень споживання реактивної енергії споживачами було побудовано математичну модель на базі нечітких часових рядів (НЧР). Модель НЧР може бути використаною там, де в результаті особливостей (невідомий характер взаємодії між вхідними і вихідними параметрами, відсутність нормального розподілу, обмеженість даних, неповнота вихідної інформації) застосування класичних методів статистичного аналізу (однофакторні екстраполяційні регресійні моделі) обмежене.

Головними рисами систем з нечіткої логіки належать: можливість роботи з апріорною невизначеністю вхідної інформації, облік кількісних та якісних змінних і критеріїв, можливість введення знань експерта у вигляді відповідних правил висновку безпосередньо в систему.

Методика проведення прогнозування передбачає наступні етапи:



Функція належності, за допомогою якої визначаються нечіткі множини в повній множині  $U$  :

$$\mu_{A_i} = \frac{1}{1 + (0,0001(V_t - \bar{u}_j))^2},$$

де  $V_t$  -числові значення приросту споживання реактивної енергії споживачами в  $t$  місяці, що послідовно прийняті за середні значення інтервалів

Нечіткі множини представлені в наступному вигляді:

$$A_1 = \{(1/u_1), (0,8/u_2), (0,5/u_3)\}$$

Матрицю нечітких відношень  $R(t)$ , яка є перетином двох нечітких множин, представлених матрицею нечітких приростів споживання реактивної енергії  $S(t)$  за  $(t-2)$ ,  $(t-3)$ , ...,  $(t-22)$ -місяць і матрицею нечіткого приросту споживання реактивної енергії за  $(t-1)$ -місяць, обчислюємо за формулою:

$$R(t)[i, j] = S(t)[i, j] \cap N(t)[i, j] = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1j} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2j} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{i1} & r_{i2} & \dots & r_{ij} \end{bmatrix}$$

Обчислюємо прогнозоване значення приросту податкових надходжень для  $t$  місяця у вигляді нечіткої можини:

$$F(t) = \left[ \max(r_{11}, r_{21}, \dots, r_{i1}) \max(r_{12}, r_{22}, \dots, r_{i2}) \dots \max(r_{1j}, r_{2j}, \dots, r_{ij}) \right]$$

Перетворення нечітких значень приросту податкових надходжень у чіткі проводимо за формулою:

$$V(t) = \frac{\sum_{j=1}^3 F_t(u_j) \bar{u}_j}{\sum_{j=1}^3 F_t(u_j)},$$

де  $F_t(u_j)$  -значення функції належності для  $t$  місяця.

**Результати дослідження.** За результатами дослідження, після проведення аналізу існуючої на даний час в Україні статичтичної звітності з обліку споживання та сплати за реактивну енергію, було зазначено достатність існуючої звітності для використання у здійсненні регулювання та контролю за обсягами спожитої реактивної потужності. Було проведено аналіз регіонів України щодо споживання реактивної енергії. Запропоновано формування та використання регіонального індексу споживання реактивної енергії. Отримано діаграму, що ілюструє значення індексу споживання реактивної потужності по регіонах України.

Діаграма підтверджує диференціацію значень індексу споживання реактивної потужності в розрізі регіонів. Отже найвище значення індексу споживання реактивної потужності спостерігається у Донецькій(5), Дніпропетровській(4) , Запорізькій(8), Луганській(12), Харківській(21) областях та Києві(26).

В результаті прогнозування обсягів споживання реактивної потужності на базі математичної моделі НЧР, було отримано результат по споживанню реактивної енергії в Києві, як регіоні зі значним індексом споживання реактивної енергії. Прогнозування проводилось на січень 2013року, середня похибка прогнозування склала 5,32%. Що дає можливість розглядати математичні моделі на базі НЧР як інструмент для прогнозування та контролю за обсягами споживання реактиної енергії.

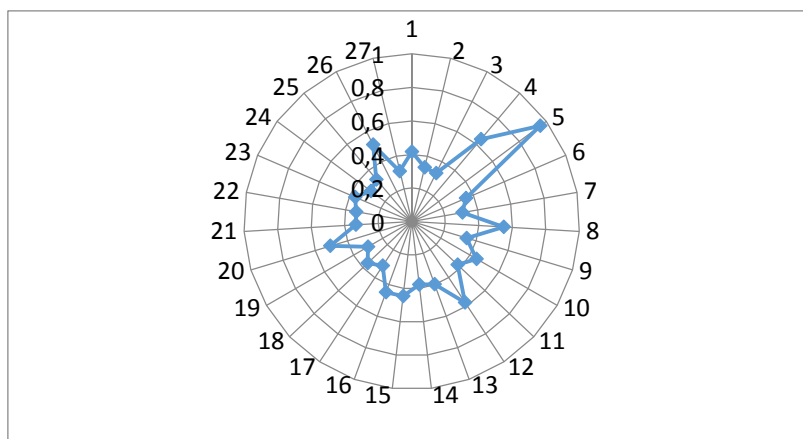


Рис.2,-діаграма, що ілюструє значення індексу споживання реактивної потужності по регіонах України

Для вирішення питання щодо рівня напруги на якій доцільніше встановлювати компенсуючі пристрої було запропоновано розбиття всіх підприємств на дві групи:

-підприємства, що живляться від мережі 6(10) кВ та мають розгалужену внутрішню систему електроживлення з великою кількістю трансформаторів , споживачі напругою 0,38 кВ;

-підприємства, що живляться від мережі 6...110 кВ, що мають навантаження як 6(10) кВ так і 0,38 кВ.

В ході дослідження доведено, що для першої групи підприємств доцільним є використання автоматичних коректорів коефіцієнта потужності на напрузі 0,38 кВ, що оснащенні регуляторами з функцією вимірювання струму та напруги на високій напрузі живлючих трансформаторів, а також мають вбудований блок компенсації холостого ходу трансформатору. Таким чином, компенсуючи напругу на боці 0,38 кВ можна підтримувати потрібний коефіцієнт потужності на боці високої напруги трансформатору 6(10) кВ. Для підприємств другої групи підприємств доцільним є компенсація реактивної потужності на всіх рівнях напруги споживачів, що присутні на підприємстві.

**Висновки.** В час стрімкого зростання споживання реактивної енергії, обумовленого впровадженням сучасних електротехнічних та радіотехнічних пристроїв (системи освітлення, реклами, кондиціонування, частотні перетворювачі електричних приводів, імпульсні блоки живлення) в електричній мережі споживачів, перед державною енергетичною службою постає завдання повсякчасного контролю та регулювання споживання реактивної потужності. Дані щодо споживання реактивної потужності по регіонах України збираються у форми статистичної звітності. Аналіз форм статистичної звітності показав, що останні є достатніми для використання у здійсненні регулювання та контролю за обсягами спожитої реактивної електроенергії. Для прогнозування очікуємих обсягів споживання реактивної енергії може бути використана математична модель, в основі якої лежать НЧР, що має переваги перед класичними методами статистичного аналізу. Щодо раціонального місця встановлення компенсуючих пристроїв в залежності від номінальної напруги споживачів всі підприємства можна поділити на дві групи ті, що живляться від мережі 6(10) кВ та мають розгалужену внутрішню систему електроживлення з великою кількістю трансформаторів , споживачі напругою 0,38 кВ та підприємства, що живляться від мережі 6...110 кВ та мають навантаження

як 6(10) кВ так і 0,38 кВ. Компенсаторні пристрої в першій групі підприємств доцільно встановити на напрузі 0,38кВ, в другій – на всіх рівнях напруги споживачів.

**Використані джерела:**

1. Федоров А.А. Теоретические основы электроснабжение промышленных предприятий.–М.:Энергия, 1976.
2. Веников В.А., Жуков Л.А., Карташов И.И., Рыжов Ю.П. Статические источники реактивной мощности в электрических сетях. – М.: Энергия, 1975. – 136 с.
3. Константинов Б.А., Зайцев Г.З. Компенсация реактивной мощности. – Л.: Энергия, 1976. – 101 с.
- 4.Дуброва Т. А.. Статистические методы прогнозирования: Учеб.пособие для студ. вузов, обуч. по спец. 061700 "Статистика" и др. экон. спец. — М. : ЮНИТИ, 2003. — 206 с.
- 5.К.М. Березька, В.В.Маслій «Методологічні аспекти застосування моделі нечітких часових рядів для прогнозування податкових надходжень».
- 6.Л.Лукань, Г.Цегелик, «Застосування кластерного аналізу для оцінки розвитку малого підприємництва в регіонах України»



УДК 621.31

Д.Г. Дерев'янюк, К.Ю. Суменко, В.Г. Процько.

**АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СТІЙКОСТІ ТА НАДІЙНОСТІ СИСТЕМ З ІНТЕГРАЦІЄЮ ДЖЕРЕЛ РОЗОСЕРЕДЖЕНОЇ ГЕНЕРАЦІЇ**

*Проведено оцінку спотворень в локальних системах з елементами розосередженої генерації. Проаналізовано особливості інтеграції фотоелектричних та вітроенергетичних установок в локальні електроенергетичні системи. Наведено основні показники аналізу/оцінки стійкості та надійності в системах з відновлюваними джерелами енергії.*

*Ключові слова: фотоелектричні системи, розосереджена генерація, інтеграція ВДЕ, стійкість, надійність.*

*Проведена оценка искажений в локальных системах с элементами рассредоточенной генерации. Проанализированы особенности интеграции фотоэлектрических и ветроэнергетических установок в локальные электроэнергетические системы. Приведены основные показатели анализа / оценки устойчивости и надежности в системах с возобновляемыми источниками энергии.*

*Ключевые слова: фотоэлектрические системы, рассредоточена генерация, интеграция ВИЭ, устойчивость, надежность.*

*The estimation of distortions in local systems with elements of distributed generation was held. The features integration of photovoltaic and wind-power installations in the local electricity system were explored. The basic performance of the analysis / assessment of the stability and reliability and in systems with renewable energy sources was shown.*

*Key words: photovoltaic systems, dispersed generation, renewables integration, stability and reliability.*

Оскільки у період до 2020 року є тенденція зростання попиту на електричну енергію на рівні 1,4 % на рік [1], розосередженій генерації відводиться велика роль у розвитку енергосистем України.

При побудові централізованих систем енергопостачання постає дві проблеми: зниження споживання паливних ресурсів, та необхідність зменшити шкідливі викиди. Довгі лінії електропередач є основним джерелом втрат електричної енергії. Інтеграція джерел розосередженої генерації в цих системах дозволяє підвищити енергоефективність та зменшити викиди в енергосистемі. Збільшення кількості таких відновлювальних джерел енергії в мережі впливає на якість електричної енергії в розподільчих мережах середньої та низької напруги.

До пристроїв розосередженої генерації відносять установки малої потужності (до 10 МВт), що розташовані безпосередньо поблизу споживача, та можуть буди під'єднані до енергосистеми. До джерел розосередженої генерації відносяться: фотоелектричні елементи, паливні комірочки, газові турбіни, мікротурбіни, поршневі двигуни внутрішнього згорання та вітроенергетичні установки. Такі системи також відомі як джерела альтернативної енергії, так як вони є альтернативою до традиційних джерел електричної енергії, наприклад, нафти, природного газу та вугілля. Крім того, що вони є резервом для системи, їх популярність зростає через низький рівень викидів, низький рівень шуму і їх високу ефективність.

Більшість джерел розосередженої генерації під'єднані до мережі за допомогою перетворювачів струму. При підключенні ці перетворювачі повинні зберігати якість електричної енергії. Тим не менш, висока частота перемикання перетворювачів може вводити

додаткові гармоніки в системах, та знижувати якість електричної енергії, якщо вони підключені неналежним чином.

Приблизно 70 – 80% всіх проблем порушення якості електроенергії, можуть бути пов'язані з несправностями з'єднань і / або кабелями [2]. У таблиці 1 наведено категорії чинників порушення якості що пов'язані з джерелом живлення і типом навантаження, а саме: порушення частоти, електромагнітні завади, перехідні процеси, наявність вищих гармонік і низький коефіцієнт потужності [3].

Серед цих причин, наявність вищих гармонік є найбільш домінуючою. Відповідно до стандарту IEEE, гармоніки в системі можуть бути зменшені двома різними методами, один з яких – обмеження гармонік струму, який користувач може ввести в мережу в точці загального приєднання, а інший – обмеження гармонік напруги, що мережа може поставити споживачу.

Силові пристрої, такі як STATCOM (що працює як паралельний активний фільтр), DVR (що працює як послідовний активний фільтр) і UPQC (що працює як гібридний активний фільтр) – є новітньою розробкою пристроїв для розподільчих мереж та системам постачання і споживання, що забезпечують зменшення порушень форми струму/напруги і підвищення якості електроенергії за рахунок компенсації реактивної потужності і вищих гармонік, що поглинаються або генеруються навантаженням.

Таблиця 1 – Основні причини погіршення якості електроенергії.

Порушення частоти	Електромагнітний вплив	Перехідні процеси	Вплив гармонік	Електростатичний розряд	Коефіцієнт потужності
<ul style="list-style-type: none"> <li>• явище зменшення частоти</li> <li>• поява скачків напруги</li> </ul>	явище збільшення частоти взаємодія між електричними і магнітними полями	тимчасові порушення спотворення сигналу	низькочастотні перешкоди виникнення хвилеподібних (синусоїдних) спотворень	виникнення різниці потенціалів індукціювання електростатичного поля за рахунок постійного струми	зменшення коефіцієнту потужності призводить до руйнування обладнання.

Сонячна та вітрова енергетика є найбільш перспективними джерелами альтернативної енергії і їх рівень проникнення в мережу також знаходиться на підйомі. Хоча переваги таких джерел включають в себе підтримання рівня напруги, різномірність джерел енергії, зниження втрат при передачі і розподілі електричної енергії, а також підвищення надійності [1], до недоліків відноситься їх негативний вплив на параметри мережі. Ця стаття має справу з технічним обстеженням, дослідженням і розробкою проблем якості електричної енергії, пов'язаних з інтеграцією сонячної і вітрової енергії в мережу.

#### **Сонячні фотоелектричні системи:**

Хоча вихідна напруга сонячної панелі залежить від сонячної інтенсивності і хмарного покриття, проблеми якості залежать не тільки від сонячного опромінення, але й від загальної продуктивності сонячної фотоелектричної системи, включаючи фотоелектричні модулі, інвертор, фільтр, механізм керування і т.д. Дослідження показують, що короточасні зміни освітленості і хмарності відіграють важливу роль у низьковольтних розподільних мережах з високою кількістю сонячних установок. Тому особлива увага у даних системах повинна бути приділена підтриманню рівня напруги і балансу потужності в лінії. Дані показники можуть бути досягнуті за допомогою використання суперконденсаторів, які призводять до збільшення вартості фотоелектричних систем приблизно на 20%. Падіння напруги також виникнути при від'єднанні від мережі зі споживачами великої потужності. Порушення напруги може призвести до відключення інвертора від мережі, отже, призвести до втрат енергії. Також

довгострокова експлуатація мереж, до яких підключені сонячні фотоелектричні системи, показує значне зменшення ефективності у зв'язку з порушенням стійкості джерела та збоями в роботі інвертора.

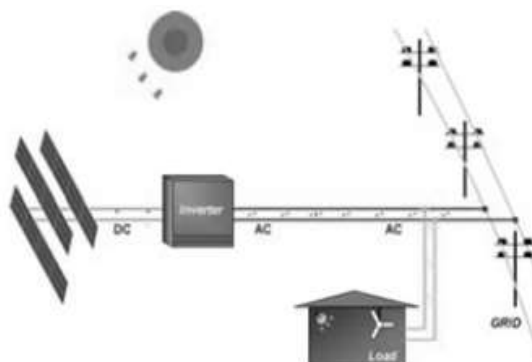


Рис.1. Загальна структура підключення фотоелектричної системи до мережі

Загальну блок-схему мережі до якої підключена сонячна фотоелектрична система показано на рис.1. Така система може бути однофазною або трифазною залежно від технічних вимог до під'єднання. Сонячна фотоелектрична система може складатися з однієї панелі або груп панелей які під'єднані паралельно.

Силові перетворювачі в даних системах разом з нелінійними навантаженнями є джерелом вищих гармонік. На додаток, гармоніки викликані перемінним сонячним опроміненням, хмарністю та ефектами затінення можуть зробити сонячну фотоелектричну систему нестійкою з точки зору технологічного приєднання до мережі. Таким чином, це необхідно враховувати при моделюванні контролера в ланці інвертора [4-6].

Загалом, підключений до мережі фотоелектричної системи інвертор не в змозі управляти реактивними і гармонійними струмами, від нелінійного навантаження. В новітніх дослідженнях показано фотоелектричну систему, що використовується в якості активного фільтру для компенсації реактивних та гармонічних струмів від споживачів, підключених до мережі. Ця система також може працювати в автономному режимі. Але при цьому ланка керування стає більш складною. Багатофункціональний фотоелектричний інвертор з'єднаний з мережею системи (рис. 2). Ця система використовується в якості джерела безперебійного живлення та демонструє підвищення надійності, компенсацію вищих гармонік, реактивної потужності та зменшення скачків напруги. Тим не менш, результати показують, що підвищення якості електроенергії залишається поза IEEE стандартами.

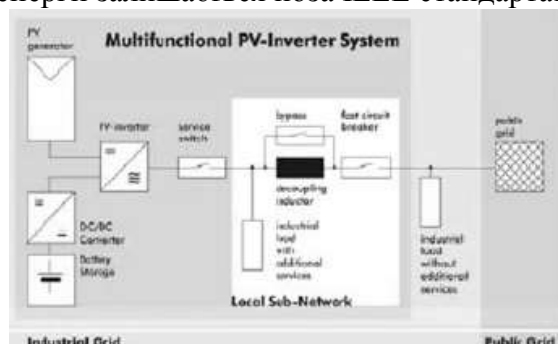


Рис.2 Схема підключення багатофункціональної фотоелектричної інверторної системи до електромережі

**Вітроенергетичні системи:**

Спрощена схема, що представляє деякі загальні типи систем вітрової енергії, наведена на рис 3. За способом підключення розрізняють генератори, які безпосередньо підключені до мережі через спеціальний трансформатор, та генератори підключені через пристрої силової електроніки. Більшість конструкцій включають певний рівень силової електроніки для поліпшення керованості і збільшення операційного діапазону. Незалежно від конфігурації з'єднання що використовується, кожна вітрова турбіна впливає на якість електроенергії в системі електропередач. Останні дослідження [16] показують, що помилки з'єднання приводного валу з валом турбіни і горизонтальний зсув вітру впливає на потужність (крутний момент) і коливання напруги, більш серйозно, ніж ефекти, пов'язані з вертикальним зсувом вітру.

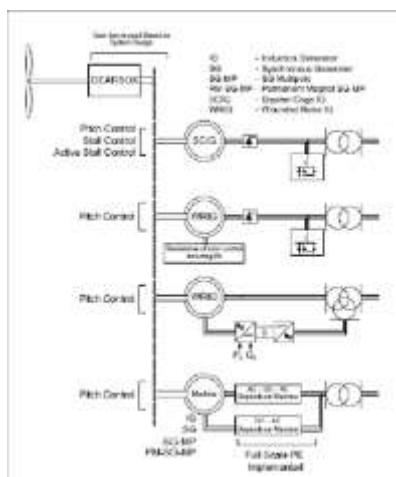


Рис.3 Види підключення вітроенергетичних установок

Світовий досвід показує що при проектуванні нових мереж, адаптованих спеціально для під'єднання великої кількості вітрових установок виникає багато проблем з якістю ел. ен. Нові вітрові електростанції повинні бути в змозі забезпечити контроль рівня напруги та реактивної потужності, частоти управління та усунення несправностей, для того, щоб підтримувати стійкість роботи системи. В існуючих вітрових електростанціях зі змінною швидкістю повинно бути оновлено програмне забезпечення системи контролю частотної характеристики двофазних індукційних генераторів (DFIG) і синхронних генераторів (СГ). Робота вітрових електростанцій з асинхронними генераторами повинна бути припинена, тому що вони не можуть забезпечити необхідний рівень регулювання напруги або частоти. Також розглянуто вже розроблені контролери для об'єднаної системи і показано, що пристрої DFIG зараз мають найбільш ефективну конструкцію для регулювання реактивної потужності і регулювання кутової швидкості, для максимальної ефективності вихідної потужності. Ці генератори можна використовувати для підтримки системи протягом провалів напруги. Тим не менш, недоліком такого перетворювача є створення гармонійних спотворень в системі. Для вирішення проблеми якості електроенергії можна використовувати Z-подібний інвертор типу ZSI що розглянуто в [19] (рис. 5).

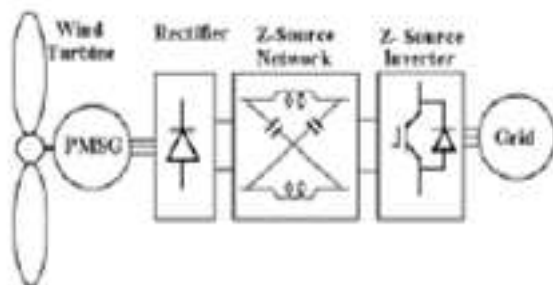


Рис.5 Схема Z-подібного інвертора

Захист від пікових струмів є одним з важливих питань для мережі, з'єднаної з відновлюваним джерелом енергії (ВДЕ). Одним з основних завдань захисту від пікових струмів операційної схеми і схеми управління є захист розподільчих систем з двонаправленими потоками струму короткого замикання, що відрізняється від звичайного захисту від перевантажень по струму для радіальної системи з односпрямованими потоками струму короткого замикання. В [20] приведений докладний опис існуючих систем захисту при впровадженні методів острікування.

### Проблеми порушення якості електроенергії

Проблеми якості електроенергії, як правило, діляться на три основні категорії: прямі, непрямі і соціальні.

Протягом 2-річного періоду в 8 Європейських країнах було проведено дослідження засноване на інтерв'ю і веб-опитуваннях фахівців, в ході якого досліджувалися збитки за рахунок ефекту провалів напруги, короткочасних перерв та довгих перерв в електропостачанні, вищих гармонік, перенапруг і перехідних процесів, коливань напруги, дисбалансу проблем заземлення і електромагнітної сумісності (ЕМС). В ході цього дослідження встановлено, що річні збитки, викликані неякісною електроенергією перевищують € 150 млрд. в 25 країнах ЄС, де на промисловість припадає понад 90% цих збитків. Провали напруги та короткочасні переривання електропостачання складають майже 60% загальної вартості в промисловості, і 57% для загальних підрахунків. Дослідження також показує, що економічний вплив неякісної електроенергії складає, для промисловості та сфери послуг, більш ніж 4% і 0,15% від їх річного обороту. В той же час необхідно враховувати вплив розосередженої генерації на збитки пов'язані з недотриманням якості електроенергії.

### Підвищення якості електричної енергії

Є два підходи для підвищення якості електроенергії – з боку споживача та з боку електромережі. Перший підхід являє собою компенсацію реактивної потужності, який гарантує, що обладнання є менш чутливим до порушень, що дозволяє обладнанню працювати навіть при значних змінах напруги. Інше рішення полягає у тому щоб встановити лінію компенсаторів, які пригнічують або протидіють порушенням якості енергосистеми. Існує кілька приладів, включаючи супер-конденсатори, трансформатори з нульовою точкою, згладжувальні трансформатори, гармонічні фільтри, та інші системи акумулювання енергії, що використовуються для вирішення конкретних проблем якості електроенергії. Силкові пристрої такі як DSTATCOM, DVR і UPQC дозволяють вирішувати цю проблему від електричної мережі до споживача. В розділі цієї статті розглядаються пристрої, що можуть вирішувати проблеми якості електроенергії при підключенні вітрових та сонячних електростанцій до об'єднаної енергосистеми.

Надійність та стійкість роботи енергосистеми є ключовим фактором в якісному електропостачанні. Для оцінки стійкості та надійності в Україні використовуються наступні стандарти ГКД 34.20.575-2002 «Стійкість енергосистем, керівні вказівки», а також відповідно до Законів України "Про природні монополії" (1682-14), "Про електроенергетику" (575/97-ВР), Указу Президента України від 14.03.95 № 213 ( 213/95 ) "Про заходи щодо забезпечення діяльності Національної комісії з питань регулювання електроенергетики України", Комплексного плану заходів із забезпечення фінансової стабілізації підприємств паливно-енергетичного комплексу, затвердженого розпорядженням Кабінету Міністрів України від 28.05.2005 № 167-р ( 167-2005-р ), Національна комісія регулювання електроенергетики України 21 березня 2011 р. ввела звітні показники надійності енергосистем. Згідно цієї постанови надійність електропостачання споживача характеризується такими показниками:

а) індекс середньої тривалості довгих перерв в електропостачанні в системі (далі SAIDI) розраховується за формулою (1) як відношення сумарної тривалості відключень точок продажу електричної енергії внаслідок усіх довгих перерв в електропостачанні за звітний період до загальної кількості точок продажу електричної енергії:

$$SAIDI = \frac{\sum_{i=1}^k t_i \times n_i}{n} \text{ (хв.)} \quad (1)$$

де:  $\Sigma$  – знак суми;  $t_i$  – тривалість  $i$ -ї довгої перерви в електропостачанні, хв.;  $n_i$  – кількість точок продажу електричної енергії, відключених у результаті  $i$ -ї довгої перерви в електропостачанні, шт.;  $k$  – кількість довгих перерв в електропостачанні протягом звітного періоду;  $i$  – номер довгої перерви в електропостачанні,  $i = 1, 2, 3, \dots k$ ;  $n$  – загальна кількість точок продажу електричної енергії, шт.;

б) індекс середньої частоти довгих перерв в електропостачанні в системі (далі – SAIFI) розраховується за формулою (2) як відношення сумарної кількості відключених точок продажу електричної енергії внаслідок усіх довгих перерв в електропостачанні протягом звітного періоду до загальної кількості точок продажу електричної енергії:

$$SAIFI = \frac{\sum_{i=1}^k n_i}{n} \quad (2)$$

де:  $\Sigma$  – знак суми;  $n_i$  – кількість точок продажу електричної енергії, відключених у результаті  $i$ -ї довгої перерви в електропостачанні, шт.;  $k$  – кількість довгих перерв в електропостачанні протягом звітного періоду;  $i$  – номер довгої перерви в електропостачанні,  $i = 1, 2, 3, \dots k$ ;  $n$  – загальна кількість точок продажу електричної енергії, шт.;

в) індекс середньої частоти коротких перерв в електропостачанні в системі (далі – MAIFI) розраховується за формулою (3) як відношення сумарної кількості відключених точок продажу електричної енергії внаслідок усіх коротких перерв в електропостачанні протягом звітного періоду до загальної кількості точок продажу електричної енергії:

$$MAIFI = \frac{\sum_{j=1}^r n_j}{n} \quad (3)$$

де:  $\Sigma$  – знак суми;  $n_j$  – кількість точок продажу електричної енергії, відключених у результаті  $j$ -ї короткої перерви в електропостачанні, шт.;  $r$  – кількість коротких перерв у електропостачанні протягом звітного періоду;  $j$  – номер короткої перерви в електропостачанні,  $j = 1, 2, 3, \dots r$ ;  $n$  – загальна кількість точок продажу електричної енергії, шт.;

г) розрахунковий обсяг недовідпущеної електроенергії (далі – ENS) розраховується за формулою (4) як сума добутків кількості відключених точок продажу електричної енергії на тривалість довгої перерви та на середнє споживання електроенергії на відповідному рівні напруги:

$$ENS = \sum_{i=n}^k \frac{n_i^z \times t_i \times Q^z}{43800} \quad (4)$$

де:  $\Sigma$  – знак суми;  $z$  – ознака рівня напруги та відповідної території (0,4 кВ – міський населений пункт, 0,4 кВ – сільський населений пункт, 6-20 кВ – міський населений пункт, 6-20 кВ – сільський населений пункт, 27,5-35 кВ, 110/154 кВ);  $i$  – номер довгої перерви в електропостачанні,  $i = 1, 2, 3, \dots k$ ;  $n_i^z$  – кількість точок продажу електричної енергії, відключених внаслідок  $i$ -го довгого переривання з  $z$ -ю ознакою рівня напруги та відповідної території, шт.;  $t_i$  – тривалість  $i$ -ї довгої перерви в електропостачанні, хв.;  $Q^z$  – середньомісячне споживання електричної енергії в попередньому році на одну точку продажу електричної енергії з  $z$ -ю ознакою рівня напруги та відповідної території, тис.кВт·год; 43800 – звітний період часу (середньомісячний за рік), перерахований у хвилинах.

Дана система показників була розроблена Інститутом електротехніки та електроніки (ІЕЕЕ) ще у 1998 році, і хоча й була уточнена НКРЕ, в зв'язку з публікацією стандартів "IEEE guide for electric power distribution reliability indices" 2003 та 2012 років потребують доповнення та розширення.

### Висновок

Останні тенденції у розвитку систем генерації і розподілу електроенергії показують, що рівень проникнення альтернативних джерел в мережу значно зріс. Техніка кінцевого споживача стає все більш чутливою до стану якості електроенергії. Було проведено дослідження впливу інтеграції джерел розосередженої генерації на порушення якості електроенергії. Локальна електромережа виявилася здатною до інтеграції сонячних та вітрових джерел енергії. Вони відіграють важливу роль у інтеграції ВДЕ в локальних системах при забезпеченні якості електроенергії, а також стійкості та надійності електропостачання на різних рівнях.

Наявна в Україні система показників надійності, що була розроблена Інститутом електротехніки та електроніки (ІЕЕЕ) ще у 1998 році, а також існуючий в Україні стандарт зі стійкості енергетичних систем потребують доповнення та розширення.

1. "IEEE trial-use guide for electric power distribution reliability indices," IEEE Std 1366-2012 (Revision of IEEE Std 1366-2003), vol., no., pp., 2012.

2. Дерев'яно Д.Г.. Особливості оцінки стійкості та надійності роботи локальних систем з розосередженою генерацією. – Зб. Гірництво. №21. – 2013. – С..

3. ГКД 34.20.575-2002 // Стійкість енергосистем, керівні вказівки / К.: – ОЕП «Гріфре», – 23с.

4. R. Strzelecki, G. Benysek. Power Electronics in Smart Electrical Energy Networks // Springer. – 2008. – Рр. 414.

5. Стогній Б.С., Кириленко О.В., Денисюк С.П. Інтелектуальні електричні мережі електроенергетичних систем та їхнє технологічне забезпечення // Техн. електродинаміка. – 2010. – № 6. – С. 44–50.

6. Стогній Б.С., Кириленко О.В., Праховник А.В., Денисюк С.П. Інтелектуальні електричні мережі: світовий досвід і перспективи України // Пр. Ін-ту електродинаміки НАН України: Зб. наук. пр. Спец. випуск. Ч. 1. – К.: ІЕД НАНУ, 2011. – С. 5–20.

УДК 621.3.011.74.005

Дерев'яно Д.Г., Мирошніченко В.В.

## АНАЛІЗ ВПЛИВУ СОНЯЧНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ НА ПОКАЗНИКИ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

*В даній роботі розроблені підходи для проведення електричного обстеження систем електропостачання з силовими перетворюючими елементами. Ці підходи дозволять забезпечити методологічну базу для точної оцінки додаткових втрат в СЕП з силовими перетворюючими елементами як в системах постійного, так і змінного струму. Крім того, вони дають можливість для аналізу парціального впливу елементів мережі на показники якості електричної енергії в точці загального приєднання.*

*Ключові слова: сонячна електростанція, додаткові втрати, реактивна потужність Фризе, гармонійний спектр, обмінні потужності.*

*В данной работе разработаны подходы для проведения электрического обследования систем электроснабжения с силовыми преобразовательными элементами. Эти подходы позволят обеспечить методологическую базу для точной оценки дополнительных потерь в СЭП с силовыми преобразовательными элементами как в системах постоянного, так и переменного тока. Кроме того, они дают возможность для анализа парциального влияния элементов сети на показатели качества электрической энергии в точке общего присоединения.*

*Ключевые слова: солнечная электростанция, дополнительные потери, реактивная мощность Фризе, гармонический спектр, обменные мощности.*

*In this paper we developed approaches for conducting an electric survey of power supply systems with power transducer elements. These approaches can provide a methodological framework for the accurate estimation of additional losses in the power supply systems with power transducer elements in both DC and AC systems. Furthermore, they allow to analyze the partial influence of network elements on the power quality in common coupling point.*

*Keywords: solar power, additional losses, reactive power Friese, harmonic spectrum, exchanged power.*

В енергетиці двадцятье сторіччя залишилося під прапором глобальної централізації генеруючих потужностей. Зрозуміло, що збільшуючи потужність станцій також зростає ККД використання первинного палива. Тому біля промислових центрів було збудовано величезні електричні станції, щоб жити вітчизняне виробництво. Через географічну нерівномірність розташування споживачів виникає необхідність будувати довгі ЛЕП, та передавати по ним потужність, необхідну для функціонування віддалених міст. Це обумовлює появу додаткових втрат при передачі, що зменшує кінцевий ККД використання первинного палива. Окрім цього, великі потужності є дуже інертними, а графічні навантаження показують нерівномірність споживання в часі, що також знижує ефективність використання палива.

Двадцять перше сторіччя відкриває нову еру в енергетиці – «еру інтелектуальних енергетичних систем»[1]. Ця концепція заснована на інтеграції централізованої генерації з розосередженою, тобто малопотужною генерацією (насамперед відновлювальними джерелами енергії), що знаходиться безпосередньо біля споживача. Але в зв'язку з не лінійністю та різномірністю генераторів, представлених різними типами нетрадиційних відновлювальних джерел енергії виникають проблеми порушення показників якості електроенергії[2]. Як наслідок порушується стійкість та надійність функціонування таких систем[3].

Для оцінки впливу СЕС на показники якості електричної енергії було вибрано генеруючу станцію компанії «Енергоінвест» в с. Ямпіль. Генерація складаються з СЕС та МГЕС встановленою потужністю 1,8 та 0,28 МВт відповідно.

---



На СЕС встановлені 7060 стаціонарних сонячних панелей потужністю 250 Вт, які через інвертори під'єднуються до однієї з трьох КТП 04/10 кВ та далі до ГРЕМ.

Основним енергетичним обладнанням МГЕС є асинхронні генератори встановленою потужністю 140 кВт. Для функціонування станції використовується вода з ріки Дністер, що подається по спеціально спорудженому каналу.

Вхідними даними для аналізу є інформація, отримана в ході інструментального аудиту. Для проведення інструментального обстеження було використано аналізатор спектру паралельного типу SATEC PNA296.

SATEC PNA296 - переносний електроаналізатор, прилад обліку та вимірювання якості електроенергії, що забезпечуючи високу точність при вимірюванні великої кількості параметрів. Працює з набором струмових кліщів (200А, 1000А, 3000А) і поясом Роговського (30А/300А/3000А) з можливістю підключення цих кліщів через спеціальні кабелі з діапазоном вимірювання від 100 мА до 6 А. Конструкція корпусу жорстка і герметична. Живлення від мережі 220 В або від внутрішнього акумулятора, що дозволяє проводити вимірювання автономно.

Дана модель SATEC має можливість вимірювати: амплітудні значення напруг та струмів по фазам, несиметрію напруги та струмів, максимальний інтегральний струм, максимальну/мінімальну інтегральну напругу, потужність (активну, реактивну, повну), коефіцієнт пульсації струмів та напруг. Даний прилад відноситься до класу точності 0,5 S.

Є можливість формування цифрового сигналу, який можна передавати на відстань, а потім обробляти отриману інформацію. Для передачі сигналу передбачений порт зв'язку RS-232/422/485.

Також, для аналізу якості електроенергії в даному вимірювальному пристрої передбачено: незалежну пам'ять 1mb, годинник реального часу, реєстрацію подій, осцилографування, реєстрацію перехідних процесів, реєстрацію провалів напруг і перенапруг, реєстрацію усталеного відхилення напруги

Ще однією важливою можливістю даної моделі SATEC є наявність журналу подій, який ведеться автоматично з використанням функції годинника реального часу, з можливістю формування журналу запису вибраних параметрів.

Прилад обладнаний пакетом прикладних програм PAS, який забезпечує можливості аналізу даних і відображення графічної інформації.

PAS - програмний засіб, забезпечуючий автоматичне опитування приладів з заданим кроком. Дана програма надає наступні можливості:

- конфігурація вікон для виконання кількох завдань;
- прямий доступ до бази даних для моніторингу стану або аналізу;
- автоматизований звіт за якістю електроенергії в мережі; на відповідність всіх показників якості, введених в гост 13109-97;
- послідовний інтерфейс;
- tcp / ip;
- usb;
- телефон / модем.

Засоби аналізу:

- реєстрація даних - передісторія або поточна інформація;
- тренди - індивідуальні або 3 фази разом;
- осцилографування;
- спектр гармонік;
- напрямки потоку потужності гармонік;

- порівняльні таблиці спектру гармонік зі стандартом en50160 для високовольтних і низьковольтних застосувань;
- векторні діаграми;
- порівняння форм хвилі струму та напруги різних об'єктів;
- можливість автоматичного сортування та фільтрації;
- тарифна система обліку електроенергії;
- аварійна сигналізація з гнучкою настройкою;
- можливість копіювання відображуваних даних у форматі word, excel;
- можливість детального аналізу за формами хвилі і гармонійному спектру.

Для оцінки ефективності передачі електричної енергії пропонується використовувати показник  $Q_\phi$ [4]. Цей показник прямопропорційний додатковим втратам при передачі електричної енергії.

$$Q_\phi^2 = U^2 \frac{I_{m(1)}^2 \sin^2(\varphi_k)}{2} + U^2 \left[ \left( I_0 - \frac{PU_0}{U^2} \right)^2 + \sum_{n,k,n=k} \frac{\left( I_{m(k)} \cos \varphi_n - PU_{m(k)} / U^2 \right)^2}{2} + \sum_{n,n \neq k} \frac{I_{m(n)}^2}{2} + \frac{1}{2} \sum_{k,k \neq n} \left( PU_{m(k)} / U^2 \right) \right], \quad (1)$$

де  $U^2 \frac{I_{m(1)}^2 \sin^2(\varphi_k)}{2}$  – частина реактивної потужності, яку можна скомпенсувати лінійною частиною;

$U^2 \left[ \left( I_0 - \frac{PU_0}{U^2} \right)^2 + \sum_{n,k,n=k} \frac{\left( I_{m(k)} \cos \varphi_n - PU_{m(k)} / U^2 \right)^2}{2} + \sum_{n,n \neq k} \frac{I_{m(n)}^2}{2} + \frac{1}{2} \sum_{k,k \neq n} \left( PU_{m(k)} / U^2 \right) \right]$  – частина реактивної потужності, яку можна скомпенсувати нелінійною частиною двополюсника.

Вхідною інформацією для розрахунку стали результати інструментального аудиту. Програмне забезпечення PAS дозволило отримати форму напруги та струму (рис. 1) та їх гармонійний спектр (рис. 2).

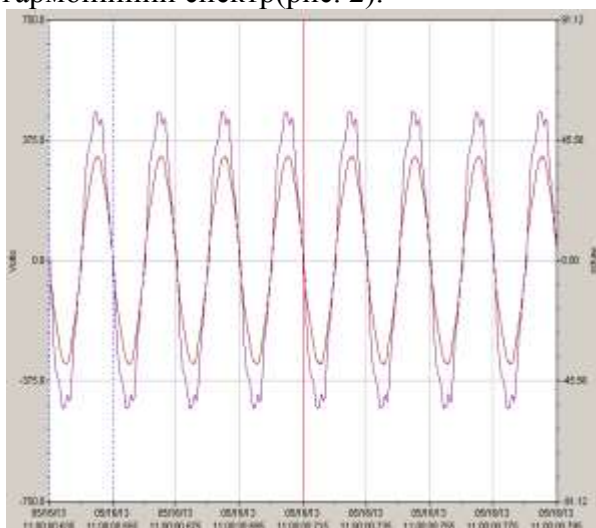


Рисунок 1

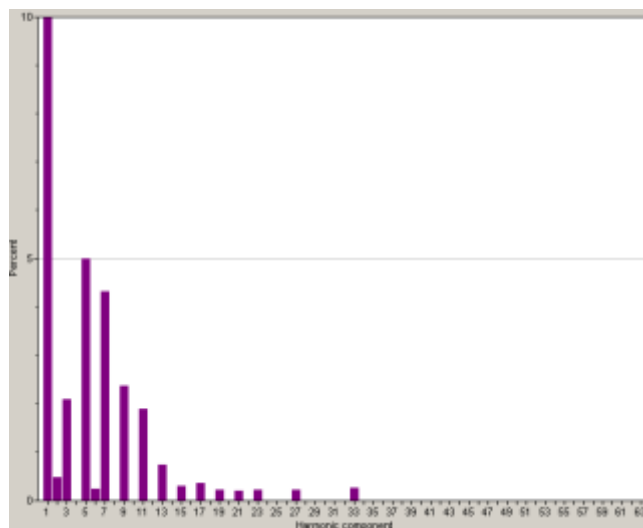


Рисунок 2

З рисунку 1 видно, що кут зсуву між напругою та струмом дорівнює нулю. Отже, за класичним поняттям реактивна потужність також дорівнює нулю. Проте розрахунок

реактивної потужності за виразом (1) показав, що реактивна потужність по Фризе дорівнює 1,3 кВар, при активній потужності 9,3 кВт.

Це обумовлено режимами роботи інверторів, які використовують перетворюючі ключові елементи. Як показав аналіз, ці елементи є джерелами спотворень у вигляді гармонійних складових. Ці спотворення негативно впливають на режими передачі та споживання енергії.

У зв'язку з отриманими даними виникає інша проблема – виявлення дольового внеску спотворень ДВС) у точці загального підключення (ТЗП). Мета вирішення цієї проблеми – ідентифікація винуватців погіршення якості електричної енергії в перерізах системи з розосередженими джерелами енергії та визначення долі їх внеску в загальне погіршення.

Для оцінки ДВС обмінні процеси у вузлі для заданої діючої напруги генератора  $u(t)$  розділимо за першою (індекс «1»), однією  $j$ -ю вищою (індекс « $j$ »), підмножиною  $\{H\}$  вищих (індекс « $H$ ») та всіма вищими (індекс « $\Sigma$ ») гармоніками згідно з наступними виразами:

$$Q_{\text{об}}^{(1)} = \frac{1}{T} \int_0^{t^+} u(t) I_{m(1)} \sin(\omega t - \psi_1^i) dt; \quad (2)$$

$$Q_{\text{об}}^{(j)} = \frac{1}{T} \int_0^{t^+} u(t) (I_{m(j)} \sin(j\omega t - \psi_j^i)) dt. \quad (3)$$

$$Q_{\text{об}}^{(H)} = \frac{1}{T} \int_0^{t^+} u(t) \left( \sum_{k \in \{H\}} I_{m(k)} \sin(k\omega t - \psi_k^i) \right) dt. \quad (4)$$

$$Q_{\text{об}}^{(\Sigma)} = \frac{1}{T} \int_0^{t^+} u(t) \left( \sum_{k=2}^{N_{\Gamma}} I_{m(k)} \sin(k\omega t - \psi_k^i) \right) dt. \quad (5)$$

При розгляді впливу зміни параметрів генератора здійснюється розклад напруги генератора  $u(t)$  на відповідні складові.

Для оцінки ДВС на погіршення якості електроенергії в ТЗП можуть бути запропоновано два підходи.

Перший базується на використанні алгоритму оцінки взаємного впливу елементів з виділенням внеску елемента у спотворення електроенергії у вибраному вузлі та аналізу величини впливу спотворюючих факторів на електромагнітні процеси в елементі системи. Вплив елементів системи оцінюється поза залежністю від попередніх режимів роботи як системи в цілому, так і конкретних його елементів, а кількісні показники взаємного впливу визначаються сумою впливів для кожного з виділених факторів неякості електроенергії з

врахуванням критерію мінімуму втрат електроенергії. Далі здійснюється розрахунок обмінних потужностей у розщепленій на ортогональні складові моделі на основі реактивної складової струму згідно та визначається дольовий внесок для  $j$ -го елемента:

$$\Delta Q_{об,j} = Q_{об,j} / Q_{обS}, \quad (6)$$

де  $Q_{об,j}$  – обмінна потужність через перетин приєднання  $j$ -го елемента до кола;  $n_{ЕУ}$  – кількість елементів системи, підключених до виділеного вузла;

$$n_{ЕУ}$$

$$Q_{обS} = \sum_{j=1} Q_{об,j}; \quad (7)$$

$$j = 1$$

Другий підхід передбачає оцінку зміни величин обмінних потужностей як функцій від окремих змінюваних параметрів, наприклад, згідно з коефіцієнтом впливу (чутливістю)  $S_j^i$  зміни обмінної потужності  $Q_{об,i}$   $i$ -го елемента від зміни параметра  $P_j$   $j$ -го елемента системи:  $k_{Q,P} = S_j^i = \Delta Q_{об,i} / \Delta P_j$ .

Для аналізу впливу режимів роботи навантаження Н2 на навантаження Н1 протягом інтервалу часу  $\Delta t = t_2 - t_1$  коефіцієнт впливу  $k_{Q,t}$  визначається згідно співвідношення

$$k_{Q,t} = (Q_{об,Н1(t_2)} - Q_{об,Н1(t_1)}) / (Q_{об,Н2(t_2)} - Q_{об,Н2(t_1)}) \quad (8)$$

де  $Q_{об,Н1(t_1)}$  та  $Q_{об,Н1(t_2)}$  – значення обмінних потужностей навантаження Н1 в моменти часу  $t_1$  та  $t_2$ ;  $Q_{об,Н2(t_1)}$  та  $Q_{об,Н2(t_2)}$  – значення обмінних потужностей навантаження Н2 в моменти часу  $t_1$  та  $t_2$ .

**Висновок.** В роботі розглянуто обладнання та програмне забезпечення для проведення електричного аудиту. Також, вибрані показники, які можна поррахувати із отриманої в ході аудиту інформації. Ці показники дозволяють об'єктивно оцінити додаткові втрати при передачі потужності та виявити джерела спотворень та їх парціальний вклад в загальні спотворення в точці спільного приєднання.

#### БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Денисюк С.П., Оптимізація режимів електропостачання в локальних системах з розосередженою генерацією / Денисюк С.П., Дерев'янюк Д.Г., Колесник П.С. // Зб. пр. Ін-ту електродинаміки НАН України. Спец. вип. – 2011. – С. 30 – 37.
2. Денисюк С.П., Аналіз електромагнітної сумісності елементів систем електропостачання при змінних параметрах генератора та навантажень / Денисюк С.П., Рибіна О. Б., Дерев'янюк Д.Г. // Спец. випуск Праць Ін-ту електродинаміки НАН України (Матеріали I Міжнародної конференції «Інтелектуальні енергетичні системи – ІЕС'10»), – К.: ІЕД НАНУ, 2010 С. 32 – 43.
3. Кириленко О.В., Аналіз стійкості енергетичних систем за напругою // Кириленко О.В., Павловський В.В., Лук'яненко Л.М., Зорін Є.В., // Технічна електродинаміка. – К.: ІЕД НАНУ, – 2010. – № 3. – С. 59 – 67.
4. Тонкаль В.Е. Баланс енергій в електрических цепях / Тонкаль В.Е., Новосельцев О.В., Денисюк С.П., и др. //НАН України. Ін-т пробл. енергозбереження. – Київ: Наук. думка, 1992. –312 с.

**РОЗДІЛ D**  
**ГЕОТЕХНОЛОГІЯ, ЕКОЛОГІЯ ТА ПРОМИСЛОВА БЕЗПЕКА**

УДК 661.185:544.723:669.162.275.2

И.В. Грайворонская, Э.Б. Хоботова

**ПРОТИВОТОЧНО-СТУПЕНЧАТАЯ АДсорбЦИОННАЯ ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД ОТ ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ**

*Разработана рациональная противоточно-ступенчатая адсорбционная схема. Приведен расчет дозы шлакового адсорбента. Показана возможность очистки сточных вод от поверхностно-активных веществ на уровне высоких концентраций.*

*Ключевые слова: шлак, диопсид, адсорбция, поверхностно-активные вещества (ПАВ).*

I.V. Grayvoronskaya, E.B. Khabotova

**ПРОТИТОЧНО-СТУПІНЧАТА АДсорбЦІЙНА ОЧИСТКА СТІЧНИХ ВОД ВІД ПОВЕРХНЕВО-АКТИВНИХ РЕЧОВИН**

*Розроблена раціональна протиточно-ступінчата адсорбційна схема. Наведено розрахунок дози шлакового адсорбенту. Показано можливість очистки стічних вод від поверхнево-активних речовин на рівні високих концентрацій.*

*Ключові слова: шлак, діопсид, адсорбція, поверхнево-активні речовини (ПАР).*

I. Grayvoronskaya, E. Khabotova

**THE COUNTERCURRENT-STEP ADSORPTION SEWAGE TREATMENT FROM SURFACE-ACTIVE SUBSTANCES (SAS)**

*The rational countercurrent-step adsorption scheme was developed. The calculation of slag adsorbent dose was presented. The possibility of sewage treatment from surface-active substances at high concentrations was shown.*

*Key words: slag, diopside, adsorption, surface-active substances (SAS).*

Большинство мицеллообразующих веществ медленно и неглубоко окисляется при традиционной биологической очистке сточных вод. Поэтому удаление поверхностно-активных веществ (ПАВ) возможно только в результате применения физико-химических методов, среди которых наиболее эффективными являются адсорбционные. Расход наиболее часто применяемого адсорбента – активного угля в сорбционных технологиях удаления ПАВ велик, так как большая часть микро- и супермикропор недоступна для крупных молекул ПАВ [1]. Предпочтительно использование активных углей с большим содержанием мезопор.

Существуют два основных направления двухступенчатых адсорбционных технологий очистки вод от ПАВ [1] с предпочтительным использованием активных углей. Согласно одному из направлений обе ступени представляют собой сорбционную очистку: на первой ступени концентрацию ПАВ в воде снижают до критической концентрации мицеллообразования (ККМ), а на второй ступени поводят доочистку сточных вод до заданной конечной концентрации ПАВ. Используется противоточно-ступенчатая адсорбционная технологическая схема. Второе направление основано на сочетании пенной сепарации ПАВ (первая ступень) и адсорбционной очистки с использованием активного угля (вторая ступень) [1]. В обоих случаях адсорбционные ступени очистки сточных вод имеют ограничения по концентрации ПАВ: она не должна существенно превышать ККМ, так как в области высоких концентраций не используется большая часть емкости активных углей, образующиеся ассоциаты ПАВ не проникают в мезопоры сорбента. Исходя из данных позиций, для очистки сточных вод от ПАВ различной природы перспективно использование непористого порошкообразного шлакового адсорбента на основе диопсида [2]. Данный адсорбент показал высокую эффективность при очистке вод от АПАВ и КПАВ при концентрациях выше ККМ. Таким образом, шлаковый адсорбент можно рекомендовать для первой ступени очистки

сточных вод при отношении начальной и конечной концентраций ПАВ  $\frac{C_0}{\text{ККМ}} = 3-5$ . На втором

этапе рекомендуется применение мезопористых активных углей или адсорбентов, у которых наряду с мезопорами значительную долю пористости составляют наиболее крупные супермикропоры с эффективным радиусом более 1,2 нм.

Для очистки сточных вод от ПАВ на уровне высоких концентраций разработана рациональная противоточно-ступенчатая адсорбционная схема. Передвижение очищаемой воды и встречное движение шлакового адсорбента в каскаде из трех адсорберов с отстойниками приведено на рис. 1. Вода, очищенная от ПАВ до концентрации, соответствующей выходной для определенной ступени каскада, поступает в последующий адсорбер, где смешивается с дозой шлакового адсорбента  $m$ . Шлак, отделенный от очищенной воды в определенном адсорбере, переносится в модуль предшествующей ступени, где смешивается с водой, имеющей более высокую концентрацию ПАВ. Таким образом, в противоточно-ступенчатой технологии очистки доза адсорбента исчерпывает свою емкость, полностью насыщаясь ПАВ.

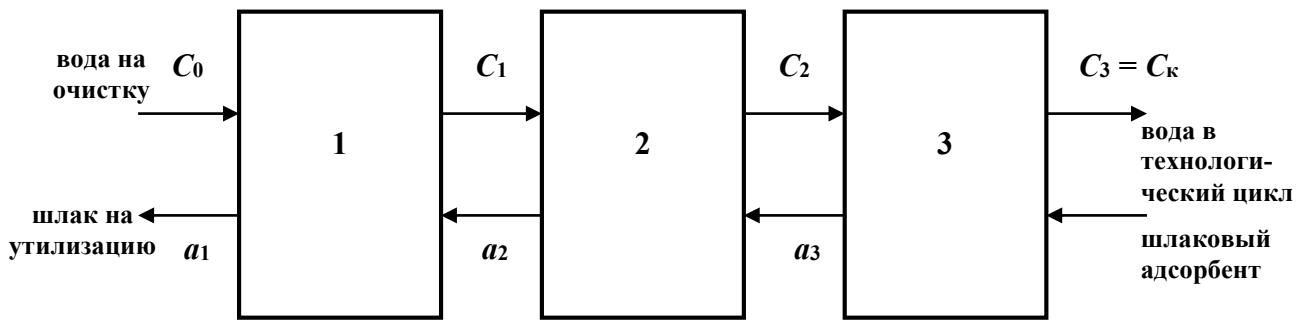


Рис. 1 – Схема противоточно-ступенчатой адсорбционной очистки сточных вод от ПАВ: (1-3) – адсорберы с отстойниками адсорбционного каскада;  $C$  – концентрации ПАВ;  $a$  – емкость адсорбента на каждой ступени очистки

Расчет дозы шлакового адсорбента приведен на примере очистки сточных вод от АПАВ – додецилсульфоната натрия, хотя применение данной схемы возможно и при очистке вод от КПАВ. На изотерме адсорбции (рис. 2) указаны концентрации: начальная ( $C_0$ ), конечная ( $C_k = \text{ККМ}$ ) и промежуточные для ступеней каскада, а также соответствующие этим концентрациям величины адсорбции  $a$  сорбента. Расчетные значения приведены в таблице 1. Согласно уравнениям для расчета входных концентраций сорбата на каждой ступени каскада [3] подобраны концентрации додецилсульфоната натрия (таблица 1), согласно которым масса адсорбента  $m$  одинакова для всех ступеней каскада ( $62 \text{ кг/м}^3$ ).

Таблица 1 – Концентрации додецилсульфоната натрия и масса АПАВ, поглощенного адсорбентом на каждой ступени адсорбционного каскада

№ ступени очистки	$C_{\text{АПАВ}}, \text{ г/дм}^3$	$a, \text{ мг/г}$
3 (конечная)	0,1569	0,862
2	0,2103	3,25
1	0,3585	4,73
0 (начальная)	0,45	–

Расчет массы шлакового адсорбента для ступеней противоточно-ступенчатой очистки сточных вод:

$$C_2 = ma_3 + C_3, \text{ отсюда } m = \frac{C_2 - C_3}{a_3} = \frac{0,2103 - 0,1569}{0,862} = 0,0619 = 61,9 \text{ г/дм}^3;$$

$$C_1 = ma_2 + C_3, \text{ отсюда } m = \frac{C_1 - C_3}{a_2} = \frac{0,3585 - 0,1569}{3,25} = 0,062 = 62 \text{ г/дм}^3;$$

$$C_0 = ma_1 + C_3, \text{ отсюда } m = \frac{C_0 - C_3}{a_1} = \frac{0,45 - 0,1569}{4,73} = 0,0619 = 61,9 \text{ г/дм}^3.$$

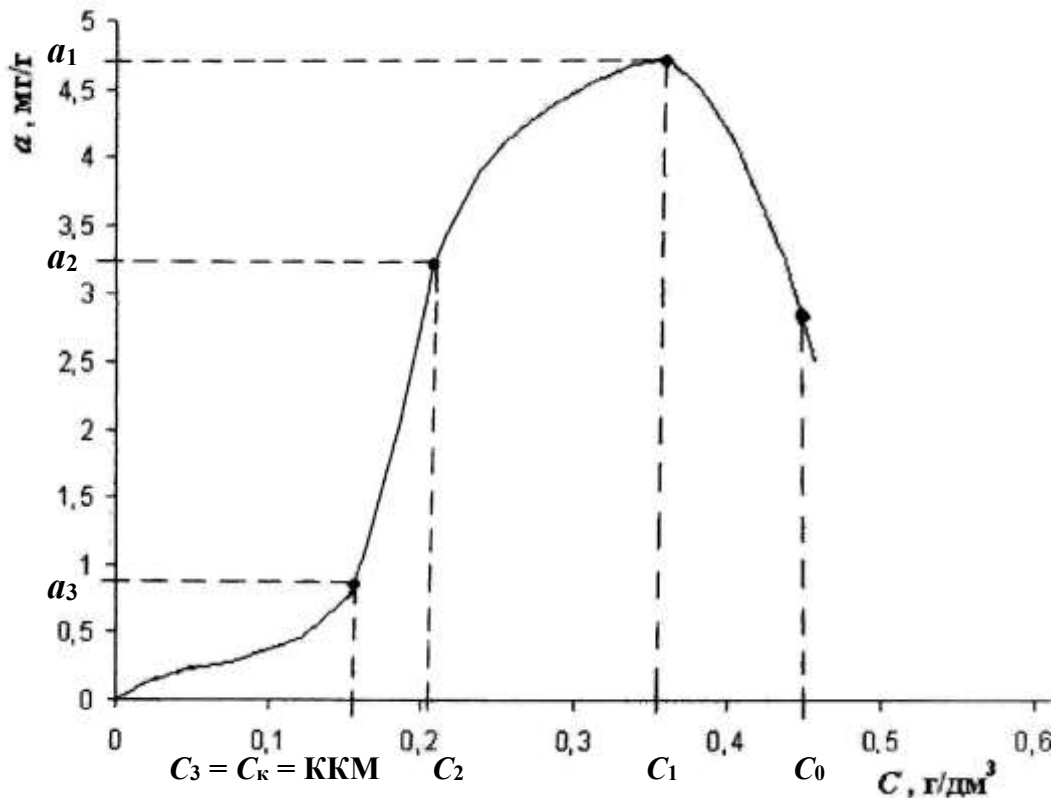


Рис. 2 – Изотерма адсорбции додецилсульфоната натрия с указанием рабочих точек, координаты которых использованы для проведения противоточно-ступенчатой адсорбционной очистки вод

При осуществлении противоточно-ступенчатой схемы очистки сточных вод расходуется меньшее количество адсорбента, чем при перекрестно-ступенчатой схеме при одинаковом количестве ступеней очистки (таблица 2).



Таблица 2 – Удельный расход шлакового адсорбента (металлургический шлак ПФНК) в зависимости от числа ступеней перекрестно-ступенчатой адсорбционной очистки сточной воды от АПАВ

Число ступеней	2		3			4			
Номер ступени	1	2	1	2	3	1	2	3	4
$C_0$ , мг/дм <sup>3</sup>	450	360	450	360	210	450	360	300	210
$C_k$ , мг/дм <sup>3</sup>	360	157	360	210	157	360	300	210	157
$a$ , мг/г	4,73	0,86	4,73	3,55	0,86	4,73	4,3	3,55	0,86
$m$ , кг/м <sup>3</sup>	19,03	236,05	19,03	42,25	61,63	19,03	13,95	25,35	61,63
$\Sigma m$ , кг/м <sup>3</sup>	255,08		122,91			119,96			
$V_v : V_{адс.}$	11,8		24,4			25			

Согласно массе адсорбента (62 кг/м<sup>3</sup>), используемого в противоточно-ступенчатой схеме очистки вод, рассчитано отношение  $V_v : V_{адс.} = 48,4$ , близкое к экономически целесообразному  $V_v : V_{адс.} \geq 50$  [4]. Время контакта шлака с очищаемым раствором  $t = 2-3$  часа. Отсюда поток жидкости  $W$  через адсорбер-смеситель объемом  $Q = 5$  м<sup>3</sup> равен:

$$W = \frac{Q}{t} = 1,7-2,5 \text{ м}^3/\text{ч.}$$

Преимуществами данного способа является возможность очистки сточных вод от ПАВ различной природы на уровне высоких начальных концентраций сорбата, уменьшение расхода сорбента по сравнению с перекрестно-ступенчатой схемой очистки сточных вод, использование дешевых сорбентов, решение проблемы накопления шлаковых отвалов при утилизации металлургических шлаков в сорбционных технологиях очистки сточных вод.

#### Список литературы:

1. Киселев А. В. Межмолекулярные взаимодействия в адсорбции и хроматографии / А.В. Киселев. – М.: Высшая школа, 1986. – 360 с.
2. Даценко В.В. Изучение химического и минералогического составов шлаков производства ферросплавов / В.В. Даценко, И.В. Грайворонская, Э.Б. Хоботова, В.Н. Баумер // Наукові праці ДонНТУ. Сер. Хімія і хімічна технологія. – 2010. – Вип. 14. – С. 132-142.
3. Когановский А.М. Адсорбция и ионный обмен в процессах водоподготовки и очистки сточных вод / А.М. Когановский – К.: Наук. думка, 1983. – 240 с.
4. Запольський А.К. Фізико-хімічні основи технології очищення стічних вод / А.К. Запольський, Н.А. Мішкова-Клименко, І.М. Астрелін, М.Т. Брик, П.І. Гвоздик, Т.В. Князькова: Підручник. – К.: Лібра, 2000. – 552 с.

УДК 691:504.064.2.001.18

**Ю.С. Калмыкова, Э.Б. Хоботова, А.Ю. Дубовик**  
**САНИТАРНО-ХИМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ДОМЕННЫХ ШЛАКОВ**  
**МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ КОМБИНАТОВ УКРАИНЫ**

*Определено содержание тяжелых металлов Mn и Ti в доменных шлаках ряда металлургических предприятий Украины. Пополнена база данных по токсичности промышленных отходов и выявлены пути негативного воздействия шлаков и стройматериалов с добавлением отходов на окружающую природную среду.*

*Ключевые слова: промышленные отходы, шлак, фракция, тяжелые металлы, строительные материалы.*

**Ю.С. Калмыкова, Е.Б. Хоботова, А.Ю. Дубовик**  
**САНИТАРНО-ХІМІЧНА ОЦІНКА ДОМЕННИХ ШЛАКІВ МЕТАЛУРГІЙНИХ**  
**КОМБІНАТІВ УКРАЇНИ**

*Визначено склад важких металів Mn і Ti у доменних шлаках металургійних підприємств України. Поповнена база даних по токсичності промислових відходів і з'ясовані шляхи негативного впливу шлаків і будівельних матеріалів з додаванням відходів на навколишнє природне середовище.*

*Ключові слова: промислові відходи, шлак, фракція, важкі метали, будівельні матеріали.*

**Yu. Kalmykova, E. Khobotova, A. Dubovik**  
**SANITARY AND CHEMICAL EVALUATION OF BLAST FURNACE SLAGS OF**  
**METALLURGICAL PLANTS OF UKRAINE**

*The content of heavy metals Mn and Ti in the blast-furnace slags of metallurgical enterprises of Ukraine was determined. The database of industrial waste toxic was supplemented. The ways the negative impact of slag and materials with the addition of waste on the environment were identified.*

*Keywords: industrial waste, slag, fraction, heavy metals, building materials.*

Выявление ресурсной ценности промышленных отходов (ПО) и их утилизация в различных технологических процессах актуальны по причине нехватки кондиционного сырья для отдельных производств и в результате необходимости решения экологических проблем промышленных регионов. Одним из направлений вторичного использования ПО является производство строительных материалов. Согласно номенклатуре строительных материалов [1] с указанием химических веществ, выделение которых следует контролировать при проведении эколого-гигиенической экспертизы стройматериалов с добавлением указанных отходов, определено, что в окружающую среду возможно химическое выделение следующих веществ: хрома, свинца, никеля, кадмия, железа, кобальта, магния, меди, алюминия, марганца, ртути, стронция, цинка, фтора, мышьяка, фосфора, сера и др. ПО, входящие в состав стройматериалов, не должны ухудшать эколого-гигиеническую характеристику последних. Доза ПО в материалах должна рассчитываться по наиболее токсичным ведущим компонентам отходов с учетом возможной суммации их действия, предполагаемого назначения стройматериалов и экологических условий их эксплуатации.

**Цель работы** – санитарно-химическая характеристика доменных шлаков предприятий Украины.

Для исследования выбраны гранулометрические фракции шлаков, показавшие высокую эффективность в качестве сырьевого компонента производства портландцемента. В работе использованы отвальные доменные шлаки ОАО «Днепропетровский металлургический комбинат им. Ф. Э. Дзержинского» (ДМК); ОАО «Запорожсталь»; ПАО «Мариупольский

металлургический комбинат имени Ильича» (ММК); ПАО «Алчевский металлургический комбинат» (АМК); ОАО «АрселорМиттал Кривой Рог» («АрселорМиттал»). В последнем случае, кроме отвального доменного шлака, исследован гранулированный доменный шлак.

Производство и применение строительных материалов с добавлением ПО может быть разрешено [1] после положительного санитарно-гигиенического заключения на базе изучения: токсикологической характеристики основных химических соединений, входящих в сырьевые материалы; миграции химических веществ в водную и воздушную среду; радиоактивности; токсического действия на организм животных; органолептических свойств материалов. Первым этапом проведения гигиенической экспертизы строительных материалов, изготовленных с применением ПО, являются санитарно-химические исследования. Их целью является обнаружение и количественное определение химических веществ, выделяющихся из строительных материалов, в объекты окружающей среды. В комплекс санитарно-химических исследований входит: 1) изучение химического состава компонентов, входящих в состав строительных материалов; 2) установление качественно-количественной характеристики веществ, способных мигрировать из строительных изделий в соприкасающиеся с ними среды (почва, вода, воздух); 3) оценка влияния различных физико-химических и эксплуатационно-климатических условий на эмиссию химических веществ из строительных материалов на уровень химического загрязнения воздушной среды зданий.

Проведен предварительный этап исследований строительных материалов, заключающийся в оценке потенциальной опасности ПО, утилизируемых в производстве минеральных вяжущих.

**Экспериментальные методы исследования.** Химический элементный состав шлаков, определенный методом электронно-зондового микроанализа с системой микрорентгеновского анализа INCA, показал присутствие во всех шлаках тяжелых металлов (ТМ): Mn и Ti, как сопутствующих элементов металлургических производств. Для получения наиболее полной информации о форме связанности Mn и Ti в шлаках проведены исследования с использованием трех экстрагентов: дистиллированной воды (рН 7,0-7,2); ацетатно-аммонийного буферного раствора (рН 4,8); 0,8 М азотной кислоты. Вытяжки получали путем часового взбалтывания проб шлаков с экстрагентами в соотношении 1:10, последующего отстаивания и фильтрации через бумажный фильтр (исходная вытяжка). Содержание ТМ в вытяжках определяли методом атомно-абсорбционной спектrophотометрии на приборе Z-8000 (Hitachi). Атомизацию проб проводили в пламени (при определении Mn) и в электротермическом атомизаторе (для Ti). Параллельно определяли валовое содержание ТМ в шлаках. Результаты исследований представлены в таблице 1. Содержание Ti ниже, чем Mn во всех видах вытяжек и шлаках, поэтому следует ожидать, что основной вклад в негативное воздействие ТМ шлаков на окружающую природную среду (ОПС) будет вносить Mn.

Сопоставление содержания элементов Mn и Ti в различных экстрактах позволяет характеризовать уровень опасности шлаков для ОПС. Водную вытяжку получали для оценки максимальной миграционной и биологической активности ТМ. Водные вытяжки изучаемых шлаков характеризуются очень малым содержанием Mn и Ti, следовательно, возможность неблагоприятного воздействия ТМ шлаков на ОПС невысокая.

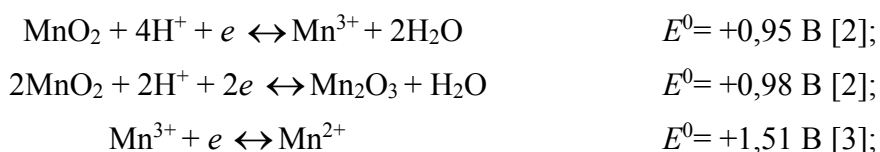
Наличие химических элементов в кислотной вытяжке указывает на труднодоступную форму содержания Mn и Ti в ПО и обычно характеризует валовое содержание их потенциального запаса. Из труднодоступной формы ТМ могут переходить в подвижную форму только под действием ряда физико-химических факторов: изменения кислотно-щелочного равновесия объекта складирования ПО, физико-химических свойств ПО или

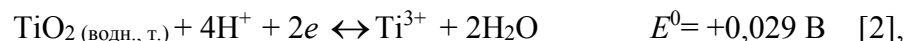
Таблица 1 – Содержание Mn и Ti в доменных шлаках и вытяжках из них

№	Вид вытяжки из шлака	Содержание тяжелых металлов в вытяжках ( $C_B$ ) и шлаках ( $C_{ш}$ )/ металлургический комбинат, фракция, мм			
		Mn		Ti	
		$C_B$ , мг/дм <sup>3</sup>	$C_{ш}$ , мг/кг	$C_B$ , мг/дм <sup>3</sup>	$C_{ш}$ , мг/кг
<b>1</b>	<b>«Запорожсталь», отвальный шлак, &gt;20 мм</b>				
1.1	0,8 М HNO <sub>3</sub>	4,5	45	0,13	1,3
1.2	Ацетатно-аммонийный буфер	97	970	2,2	22
1.3	Дистиллированная вода	<0,1	<1,0	<0,01	<0,1
<b>2</b>	<b>ММК, отвальный шлак, 2,5-5,0 мм</b>				
2.1	0,8 М HNO <sub>3</sub>	40	400	0,083	0,83
2.2	Ацетатно-аммонийный буфер	169	1690	2,3	23
2.3	Дистиллированная вода	<0,1	<1,0	0,013	0,13
<b>3</b>	<b>ДМК, отвальный шлак, средняя проба</b>				
3.1	0,8 М HNO <sub>3</sub>	2,1	21	0,073	0,73
3.2	Ацетатно-аммонийный буфер	141	1410	1,9	19
3.3	Дистиллированная вода	<0,1	<1,0	0,052	0,52
<b>4</b>	<b>АМК, отвальный шлак, &gt;5 мм</b>				
4.1	0,8 М HNO <sub>3</sub>	1,1	11	0,081	0,81
4.2	Ацетатно-аммонийный буфер	45	450	2,0	20
4.3	Дистиллированная вода	<0,1	<1,0	<0,01	<0,1
<b>5</b>	<b>«АрселорМиттал», отвальный шлак, средняя проба</b>				
5.1	0,8 М HNO <sub>3</sub>	8,0	80	0,022	0,22
5.2	Ацетатно-аммонийный буфер	741	7410	5,2	52
5.3	Дистиллированная вода	<0,1	<1,0	<0,01	<0,1
<b>6</b>	<b>«АрселорМиттал», гранулированный шлак, &gt;10 мм</b>				
6.1	0,8 М HNO <sub>3</sub>	205	2050	0,16	1,6
6.2	Ацетатно-аммонийный буфер	294	2940	4,2	42
6.3	Дистиллированная вода	<0,1	<1,0	0,074	0,74

строительных материалов на их основе, прохождения кислотных дождей и др. Для исследованных шлаков характерен незначительный переход Mn и Ti в кислотную вытяжку, что вызвано неполным растворением оксидов MnO<sub>2</sub> и TiO<sub>2</sub>, содержащихся в шлаках.

Адекватный прогноз потенциальной опасности ПО для ОПС обычно позволяет сделать ацетатно-аммонийная буферная вытяжка, приближенная к реальной кислотности почвенного раствора и кислотных дождей (рН 4,8). Содержание ТМ в буферных вытяжках из ПО должно быть ниже, чем в кислотной вытяжке (0,8 М HNO<sub>3</sub>), что не наблюдается для исследованных шлаков. Данное обстоятельство объясняется растворением оксидов Mn и Ti не за счет кислой среды буферного раствора (рН 4,8), а в результате протекания окислительно-восстановительных реакций в парах: Mn<sup>4+</sup>/NH<sub>4</sub><sup>+</sup> и Ti<sup>4+</sup>/NH<sub>4</sub><sup>+</sup>:





Также возможно окисление уксусной кислоты с образованием продуктов:  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ ,  $\text{CH}_3\text{OH}$  и др. со стандартными потенциалами полуреакций  $E^0 = +(0,1 \div 0,35)$  В. Реагирование шлака с компонентами ацетатно-аммонийного буфера подтверждается появлением коричневой окраски раствора и выделением пузырьков газа.

Таким образом, ацетатно-аммонийная вытяжка характеризует по существу общее содержание Mn и Ti в шлаках, включая их труднорастворимые формы. В условиях окружающей среды данные соединения могут частично переходить в подвижные формы только в исключительных случаях длительного воздействия кислых растворов, либо при наличии восстановительных функций у компонентов среды. Поэтому для санитарно-химической оценки доменных шлаков целесообразно использование содержания ТМ в кислотной вытяжке.

**Неблагоприятное воздействие ТМ шлаков на ОПС** охарактеризовано согласно [1] при сопоставлении уровня фактического содержания ТМ шлаков ( $C_B$ ) в водном и буферном экстрактах с их ПДК для воды водоемов (ПДК<sub>в</sub>) [4] и содержания токсикантов в шлаках ( $C_{ш}$ ) с их ПДК в почве (ПДК<sub>п</sub>) [5]. Так как исследованные шлаки реагируют с компонентами ацетатно-аммонийного буфера, то проводили сопоставление ПДК<sub>в</sub> с  $C_B$  для 0,8 М  $\text{HNO}_3$ . Критерием загрязнения ПО является кратность превышения нормативов ПДК<sub>в</sub> и ПДК<sub>п</sub>.

*Сопоставление  $C_B$  и ПДК<sub>в</sub>*. Концентрация Mn и Ti в водных вытяжках из исследованных шлаков ниже их ПДК<sub>в</sub> = 0,1 мг/дм<sup>3</sup> для водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования (таблица 2), что свидетельствует об отсутствии максимальной миграционной и биологической активности шлаков. Отношение  $C_B/\text{ПДК}_в$  для кислотных вытяжек варьирует для Mn и Ti по отдельным шлакам. Концентрация Ti превышает ПДК<sub>в</sub> только в двух вытяжках: из отвального шлака «Запорожсталь» и гранулированного шлака «АрселорМиттал». Для Mn отношение  $C_B/\text{ПДК}_в > 1$  для вытяжек из всех шлаков: минимальное – для шлака АМК (№ 4.1, табл. 1), максимальное – для гранулированного шлака «АрселорМиттал» (№ 6.1, табл. 1). Таким образом, при кислотных дождях возможно вымывание из шлаков Mn и его поступление в воды.

*Сопоставление  $C_{ш}$  с ПДК<sub>п</sub>* возможно только для Mn, так как Ti не нормируется в почве. В таблице 3 приведены ПДК<sub>п</sub> для подвижных и труднодоступных форм Mn для черноземных почв. Для сравнения использовали величину  $C_{ш}$  для кислотных вытяжек из шлаков (таблица 1). Соотношение  $C_{ш} > \text{ПДК}_п$  подвижн. форм характерно для шлаков ММК (№ 2.1, табл. 1) и гранулированного шлака «АрселорМиттал Кривой Рог» (№ 6.1, табл. 1). Для последнего образца шлака  $C_{ш}$  также превышает значения ПДК<sub>п</sub> = 700 мг/кг для труднодоступных форм и 1500 мг/кг – валовое содержание. Таким образом, согласно соотношению  $C_{ш}$  Mn и ПДК<sub>п</sub> Mn отвальные доменные шлаки в целом оказывают меньшее негативное влияние на загрязнение почвы, чем гранулированный доменный шлак «АрселорМиттал».

*Сопоставление  $C_B$  и ПДК<sub>п</sub>*. В реальных условиях из шлаков вымываются ТМ, пополняющие почвенный раствор. Для почв, находящихся в непосредственной близости от шлаковых отвалов, можно предположить, что концентрация Mn в почвенном растворе близка  $C_B$  кислотной вытяжки (таблица 1). Тогда согласно [8] можно оценить степень загрязнения почвы одним веществом (Mn). Оценка проводится в соответствии с таблицей 4 с учетом класса опасности компонента загрязнения (3 класс опасности для Mn), его ПДК и максимального

значения допустимого уровня содержания элемента ( $K_{max}$ ) по одному из четырех показателей вредности (таблица 3).

Для всех шлаков, за исключением гранулированного шлака «АрселорМиттал»,  $C_B < ПДК_{п \text{ подвижн. форм}}$ , что позволяет классифицировать слабую степень загрязнения почв. Для гранулированного шлака «АрселорМиттал» характерна средняя степень загрязнения

Таблица 2 – Гигиенические требования к качеству вод [6, 7]

Металл	ПДК <sub>хоз-пит.</sub> , мг/дм <sup>3</sup>	Сточные воды на биологическую очистку	Лимитирующий показатель вредности	ПДК <sub>р.х.</sub> , мг/дм <sup>3</sup>	Лимитирующий показатель вредности	Класс опасности
Mn	0,1	3,0	органолептический	0,01	токсический	3
Ti	0,1	0,1	общесанитарный	-	-	3

Таблица 3 – ПДК Mn в почве и допустимые уровни их содержания по показателям вредности [8]

Металл	Форма содержания	ПДК <sub>п</sub> с учетом фона, мг/кг	Уровни показателей вредности ( $K_1$ - $K_4$ ) и максимальный из них ( $K_{max}$ ), мг/кг				Класс опасности
			$K_1$ транслокационный	миграционный		$K_4$ общесанитарный	
				$K_2$ водный	$K_3$ воздушный		
Mn чернозем	Подвижные формы, извлекаемые ацетатно-аммонийным буфером	140	320	1860	-	140	3
Mn чернозем	0,1 Н H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	700	1600	9300	-	700	3
Mn	валовая	1500	3500	15000	-	1500	3

Таблица 4 – Критерии оценки степени загрязнения почв неорганическими веществами [8]

Содержание в почве (мг/кг)	Категория загрязнения почвы		
Класс опасности вещества	1 класс	2 класс	3 класс
> $K_{max}$	Очень сильная	Очень сильная	Сильная
От ПДК до $K_{max}$	Очень сильная	Сильная	Средняя
От 2 фоновых значений до ПДК	Слабая	Слабая	Слабая

почв:  $ПДК_{п\text{ подвижн. форм}} < C_v < K_{max} = 1500$  мг/кг.

Если учесть крайне неблагоприятные факторы внешней среды (частые кислотные дожди, наличие восстановительных факторов), то необходимо проводить аналогичное сопоставление для  $C_v$  вытяжки ацетатно-аммонийным буфером (таблица 1). В данном случае шлаковые отвалы металлургических комбинатов: ММ», ДМК и «АрселорМиттал» определяют среднюю степень загрязнения почв; «Запорожсталь» и АМК – слабую степень.

**Вывод.** Полученные результаты пополняют базу данных по токсичности ПО. Определено, что в состав доменных шлаков ряда металлургических предприятий Украины входят тяжелые металлы Ti и Mn. Доказано отсутствие максимальной миграционной и биологической активности шлаков. Показано, что при кислотных дождях возможно вымывание из шлаков Mn и его поступление в воды. Рекомендуются удаление шлаковых отвалов от водоисточников. Шлаковые отвалы могут приводить к слабой и средней степени загрязнения почв марганцем. Отвальные доменные шлаки в целом оказывают меньшее негативное влияние на загрязнение почвы, чем гранулированный доменный шлак «АрселорМиттал». Почвы сельскохозяйственного использования вблизи шлаковых отвалов металлургических комбинатов могут использоваться под любые культуры при условии контроля качества сельскохозяйственной продукции.

### Библіографічний список

1. Методические указания МУ 2.1.674-97. Санитарно-гигиеническая оценка стройматериалов с добавлением промотходов.
2. Турьян Я.И. Окислительно-восстановительные реакции и потенциалы в аналитической химии. – М.: Химия, 1989. – 248 с.
3. Добош Д. Электрохимические константы. Справочник для электрохимиков. М.: Мир. – 1980. – 365 с.
4. Гигиенические нормативы ГН 2.1.5.1315-03. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования.
5. Гигиенические нормативы ГН 2.1.7.2041-06. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве.
6. Вода питна. Гігієнічні вимоги до якості води централізованого господарсько-питного водопостачання. Наказ МОЗ України № 163/1940 від 15.04.97.
7. Гигиенические нормативы ГН 2.1.5.1315-03. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования.
8. Методические указания МУ 2.1.7.730-99. Гигиеническая оценка качества почвы населенных мест.



УДК 621.311.22:504.054

А.С. Левченко, М.І. Ігнатенко, Е.Б. Хоботова

**ЗАБРУДНЕННЯ ВАЖКИМИ МЕТАЛАМИ ҐРУНТІВ ПОБЛИЗУ ТЕПЛОВИХ  
ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ**

*Визначено особливості розповсюдження важких металів у катионогенній та аніоногенній формі у ґрунтах від викидів теплової електростанції. Вивчено вплив макроскладу ґрунту на рН середовища. Встановлено кореляційні залежності між рН і присутністю макро- і мікрокомпонентів в різних ґрунтах.*

*Ключові слова: ґрунти, важкі метали, рН, забруднення, викиди.*

**ЗАГРЯЗНЕНИЕ ТЯЖЁЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ ПОЧВ ВБЛИЗИ ТЕПЛОВЫХ  
ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ**

*Определены особенности распространения тяжёлых металлов в катионогенной и анионогенной форме в почвах от выбросов тепловой электростанции. Изучено влияние макросостава почвы на рН среды. Установлены корреляционные зависимости между рН и присутствием макро- и микрокомпонентов в различных почвах.*

*Ключевые слова: почвы, тяжёлые металлы, рН, загрязнение, выбросы.*

**THE HEAVY METAL POLLUTION OF SOIL NEAR THERMAL POWER PLANTS**

*The features of the distribution of cationic and anionic form of heavy metals in soils from thermal power plant emissions were determined. The influence of soil macrocomposition on medium pH was studied. The correlation relationship between pH and presence of macro- and microcomponents in different soils was determined.*

*Keywords: soils, heavy metals, pH, pollution, emissions.*

**Вступ.** За масштабами впливу на навколишнє середовище теплова енергетика посідає одне з перших місць. Сотні теплоелектростанцій (ТЕС) і теплоелектроцентралей спалюють мільйони тонн органічного палива. На їх частину приходиться приблизно 1/4 всіх шкідливих викидів. Теплоенергетика також дає 12 % всіх твердих промислових відходів. В основному це зола та шлаки. Останнім часом золу стали використовувати для різних цілей. Однак одним з недоліків використання золи є вміст в ній важких металів (ВМ).

Джерелом ВМ при роботі ТЕС є як тонкодисперсні частинки золи, так і зола, що надходить в золовідвали. Максимальна кількість димових викидів осідає в зоні 2,5-4 км від електростанцій. Зола, що видувається з золовідвалів, здатна створювати в ґрунті концентрації ВМ у кілька разів більші, ніж за рахунок викидів із труб. Саме ґрунт знаходиться у центрі трансграничного перенесення, міграції ВМ. Вивчення вмісту ВМ у ґрунтах необхідне для контролю за станом навколишнього середовища, охорони його від забруднення. При цьому фонова кількість ВМ служить точкою відліку [1].

Одним з найкрупніших забруднювачів навколишнього середовища в Харківській області є Зміївська ТЕС. Вона входить у систему ПЕО "Харківенерго" Міненерго України. На частку Зміївської ТЕС доводиться близько 60 % загальної маси промислових викидів Харківської області. Забруднення атмосфери Зміївською ТЕС відбувається в результаті викидів продуктів спалювання палива.

У якості основного палива на ТЕС використовується донецьке вугілля марки "АШ", середня калорійність якого складає 4608 ккал/кг, зольність – 31,2 %, вологість – 8,3 %. Для генерації пари встановлені енергетичні котлоагрегати ТП-100, обладнані двома індивідуальними одновентильаторними системами пилоприготування з проміжним бункером. Вугільний аеропил попадає в сепаратор, де крупні фракції відокремлюються і повертаються у

млин. Після сепаратора аеропил попадає в циклон, а потім скидається в топку. Очищення димових газів від золи здійснюється: на блоках 200 МВт у мокрих золоуловлювачах; на блоках 300 МВт у трипільних електрофільтрах. Ефективність існуючих золоуловлювачів становить усього 90,1 %, що не забезпечує необхідного ступеня очищення. Максимально-разові концентрації шкідливих речовин в атмосфері перевищують ГДК за золою – в 5,4 рази.

Додатковий внесок у забруднення атмосферного повітря вносить золовідвал ТЕС, з поверхні якого здувається 104,3 т пилу в рік, який осідає на ґрунт. Надходження ВМ із золовідвалу також можливо зі зливовим стоком при вилуговуванні ВМ із шлаків і змиванні високодисперсних фракцій зол. Золовідвал займає площу 350 га, а обсяг накопиченої золошлакової суміші становить близько 25 млн т. На території золовідвалу розміщується шлакозоловідстійник для відбору 400 тис. т у рік золошлаків.

**Завдання та мета дослідження.** Метою роботи було визначення особливостей розповсюдження ВМ від Зміївської ТЕС, процеси акумуляції ВМ у ґрунтах даної території, вплив рН на ці процеси та зміни рН під впливом макроскладу ґрунтів і надходження ВМ.

Для досягнення поставленої мети вирішені наступні задачі:

- 1) встановлення особливості розповсюдження викидів від Зміївської ТЕС і акумулювання в них окремих ВМ;
- 2) визначення залежності формування або змін рН від наявності у ґрунтах певних хімічних елементів;
- 3) вивчення залежності між складом забруднення і утворенням малорозчинних сполук у ґрунтах.

Основний принцип контролю забруднення ґрунтів – перевірка відповідності концентрацій установленим граничнодопустимим концентраціям (ГДК) та орієнтовно допустимим кількостям (ОДК).

**Результати дослідження.** Концентрації ВМ у водній витяжці з ґрунтів визначали атомно-емісійним спектральним аналізом, атомно-абсорбційним аналізом та методом капілярного електрофорезу. Для визначення складу твердої неорганічної частини ґрунтів використаний рентгенофазовий аналіз. Завдяки послідовному аналізу ґрунтів були визначені такі малорозчинні сполуки у зразках:  $Zn_2V_2O_7$ ,  $Zn_3(VO_4)_2$ ,  $Zn(VO_3)_2$ ,  $Pb(VO_3)_2$ ,  $4PbO \cdot V_2O_5$ ,  $Pb_3(VO_4)_2$ ,  $PbCrO_4$ ,  $PbCr_2O_7$ ,  $SrCrO_4$ ,  $SrCr_2O_7$ ,  $Sr(VO_3)_2$ ,  $Ni_2V_2O_7$ .

Територія для дослідження вибрана з урахуванням наявності різних ландшафтних комплексів, різноманітних ґрунтів і різних видів їх використання, а також відстані від об'єкту забруднення – Зміївської ТЕС.

Оскільки викиди ТЕС, що працює на твердому паливі, вміщують різноманітні ВМ, для досліджень були вибрані найбільш шкідливі, які є біологічно активними або належать до токсичних забруднювачів різного класу небезпеки: 1-й – Pb, Zn, Cd; 2-й – Co, Ni, Cu, Cr; 3-й – V, Sr [2, 3].

Кожний елемент у певних ґрунтових умовах утворює конкретні хімічні форми, що обумовлює їх рухливість або акумулювання у ґрунтах. Рухливі форми сприяють надходженню забруднювачів у рослини і пересуванню далі по харчовому ланцюгу. З перелічених елементів Cr і V є рухливими у вигляді кисневмісних аніонів, а саме: залишків хромової кислоти і біхромат-іонів, ванадієвих кислот (мета-, орто- і пірованадатів), а також  $VO^{2+}$ , що і є формою надходження ванадію у рослини.

Рухливість ВМ визначається у будь-якому ґрунті значенням рН, оскільки катіонні форми більш рухливі у кислому середовищі, а аніоногени – у ґрунтах з підвищеним значенням рН. Тому цілком справедливо, що при переході з одного середовища в інше при дослідженні поведінки ВМ у ґрунтах важливим чинником є особисті хімічні властивості даного елемента. У цьому аспекті розглянуто залежність рН від макроскладу ґрунтів і вплив деяких ВМ на рН

середовища (табл. 1). Найбільший коефіцієнт кореляції між рН ґрунту і мікроелементами спостерігається для Fe, Al, Si.

Таблиця 1 – Вплив складу ґрунтів на формування рН середовища

Фація	Місце відбору зразка	pH	Fe	Si	Al	Zr
№ 3	Кучугури борової тераси	4,97	2,5	28	0,5	0,05
№ 2	Високі заплави біля борової тераси	6,6	2,5	30	0,7	0,05
№ 4	Вирівняні ділянки центральної заплави	7,2	3,5	33	7,0	0,30
№ 6	Заболочені ділянки прируслової тераси	7,6	3,5	33	6,0	0,15
№ 5	Знижені ділянки центральної заплави	7,8	3,5	33	6,5	0,50
№ 1	Центральні заплави	7,9	3,5	33	7,0	0,20

Аналіз отриманих даних щодо вмісту ВМ у ґрунтах на території впливу викидів Зміївської ТЕС показав, що найбільш розповсюдженими забруднювачами території району є Cu, Sr, Co, V, Cr (табл. 2). Рівень забруднення визначався при порівнянні отриманих результатів вмісту елементів з кларковими значеннями для ґрунтів.

Таблиця 2 – Вміст важких металів у ґрунтах на території дії викидів ТЕС, мг/кг

Номер точки	Місце відбору зразка	Cd (5)*	Cu (23)*	Sr (130)*	Co (16)*	Zn (51)*	V (16)*	Ni (23)*	Cr (47)*	Pb (10)*
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	Збірний зразок м. Комсомольське	< 5	35	300	8	140	60	4	200	35
2	300-500 м від ТЕС	< 3	10	200	30	20	280	30	100	30
3	Городи біля м. Комсомольське	< 3	20	100	30	30	300	40	10	30
4	Поле ст. Овочева	< 3	20	200	30	30	300	30	80	20
5	Поля с. Благодатне	< 3	30	50	30	100	300	50	100	30
6	Поля хоз. Шебелінське	< 3	20	100	30	50	280	30	100	30
7	Дім відпочинку (> 8 км)**:									
	фація високої заплави	3	14	50	5	12	20	6	14	12
	фація прируслової заплави	4	25	250	16	35	100	30	90	14
	фація вершинної частини кучугури	3	30	100	6	30	50	15	25	10

Продовження табл. 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
8	с. Гинєївка (> 11 км): фація зниженої ділянки заплави	4	30	300	10	27	70	40	100	17
	фація вирівняної ділянки заплави	4	50	50	8	50	70	30	100	10
	фація заболоченого старичного зниження	4	50	80	7	50	32	27	70	14
9	с. Зідьки (> 13 км), пісок	< 5	6	30	2,5	90	7	4	10	6
10	с. Таранівка, 70 км від ж/д	< 5	16	100	4	50	30	7	30	50
11	м. Зміїв, (> 15 км), збірний зразок	< 5	20	30	2,5	140	10	6	20	9
12	с. Борова (> 25 км)	< 5	20	110	8	50	80	12	70	14

\* – кларкові значення вмісту ВМ у ґрунтах території дослідження [4];

\*\* – відстань від джерел викиду.

Таким чином, найбільш забрудненими є території, які розташовані у радіусі 10 км від ТЕС. Це співпадає з дослідженнями на інших об'єктах (природні територіальні комплекси р. Сіверський Донець, урболандшафти міст і селищ) [5, 6].

Для визначення ступеня забрудненості використовували коефіцієнт концентрації забруднення ґрунту

$$K_c = \frac{C}{C_{cp}} \text{ або } K_c = \frac{C}{ГДК}, \quad (1)$$

де  $C$  – загальний вміст забруднюючих речовин;

$C_{cp}$  – середній фоновий вміст забруднюючих речовин;

ГДК – гранично допустима концентрація забруднюючих речовин.

Відповідно до отриманих результатів (табл. 2) і розрахованим значенням коефіцієнта концентрування  $K_c$  відносно ГДК поблизу ТЕС всі ґрунти відносяться до сильнозабруднених. У наведеному ряді вказаний розкид значень  $K_c$ , а в дужках значення  $K_c$  на відстані 10 км від Зміївської ТЕС: V 0,05-2 (0,13); Co 0,5-6 (1); Cu 2-16,7 (4,7); Ni 1-12,5 (1,5); Pb 0,2-1,6 (0,38); Pb<sub>рухлив.</sub> 1-8,3 (2); Cr 1,7-33,3 (0,43); Zn 0,5-6 (0,52). Таким чином, на відстані 10 км ґрунт є сильнозабрудненим за міддю та рухливою формою свинцю. За Co і Ni він є середньозабрудненим, за іншими металами рівень забруднення ще менший. Однак сумарний рівень забруднення на відстані 10 км дуже великий.

На надходження ВМ у рослинні тканини впливають рН, окислювально-відновні умови, конкуренція між катіонами, гідроліз, утворення нерозчинних солей [7].

На основі отриманих даних проведено аналіз залежності між рН середовища і вмістом макро- і мікроелементів у ґрунтах (табл. 3).

Таблиця 3 – Залежність між рН середовища і вмістом у ґрунтах макро- і мікроелементів, мг/кг

Номер точки	Місце відбору зразка	pH	Al	Si	Sr	Zr	Cr	Zn
1	Поле с. Благодатне	6,06	6,5	32	50	30	100	100
7	Городи за м. Комсомольське (північ)	6,20	2,2	32	100	100	100	30
2	Поле с. Благодатне	6,30	6,5	32	50	30	95	100
4	Поле госп. Шебелінське	7,04	3,8	33	100	500	100	50
9	Городи вздовж траси на м. Комсомольське	7,20	2,2	34	200	200	100	20
3	Поле госп. Шебелінське	7,30	3,8	33	100	30	100	50
6	Поле ст. Овочева	7,33	3,8	32	200	300	80	30
5	Поле ст. Овочева	7,40	3,8	32	200	300	80	30
8	Центр м. Комсомольське	7,50	2,2	32	100	100	100	30
10	300 м від ТЕС м. Комсомольське	7,73	2,2	34	200	200	100	20

В залежності від рН (табл. 3) найбільше змінюється концентрація Al. Спостерігається стійке зниження його концентрації з ростом рН, коефіцієнт кореляції від рН 0,6-0,9. Високий коефіцієнт кореляції від рН для Si. Для інших елементів (Sr, Zr, Cr) кореляція не виявлена, або простежується нечітко (Zn). В останньому випадку можна відзначити тенденцію до зменшення  $C_{Zn}$  з ростом лужності середовища. Ця тенденція подібна до зміни вмісту іншого амфотерного металу – Al.

Існує кілька підходів, що забезпечують зниження рівня забруднення ґрунтів ВМ:

- зменшення об'ємів викидів;
- забезпечення використання золошлакових відходів;
- забезпеченням дискримінації ВМ у ґрунті.

*Перший підхід.* Основна кількість ВМ надходить у навколишнє середовище із продуктами згоряння. Намічена реконструкція блоку № 1 дозволить знизити його вплив на навколишнє середовище, підвищити економічність і надійність роботи. Планується реконструкція топкової камери з відкритої в "плечову" з газошільними екранами, прямоочними пальниками та крутонахилою холодною лійкою. При цьому потужність зростає на 14 %, а паропродуктивність на 10 % при забезпеченні високої екологічності процесу згоряння. Викиди золи знизяться в 27 разів.

Гази, що відходять, очищаються в скруберах Вентурі, звідки попадають у колектор чистого газу, димосос і, нарешті, у димар. Це приводить до щорічного викиду близько 84 тис. т золи, що становить ~ 37 % від усього об'єму викидів в атмосферу. Максимальна концентрація часток пилу у викидах котлоагрегату № 1 становить 41,8 г/м<sup>3</sup>. Для поліпшення ситуації пропонується замінити скрубери Вентурі на електрофільтри. Пилкові частки продуктів згоряння добре іонізуються і проводять струм. Ефективність очистки ( $\eta$ ) запиленого газового потоку в електрофільтрах можна оцінити за формулою Дейга

$$\eta = 1 - e^{-W_e \cdot F_{\text{пит}}} \quad (2)$$

де  $W_e$  – швидкість руху часток в електрополі, м/с;

$F_{\text{пит}}$  – питома поверхня осаджувальних електродів, що дорівнює відношенню поверхні осаджувальних елементів до витрати газів, що очищають,  $\text{м}^2 \cdot \text{с} / \text{м}^3$ .

У загальному випадку  $\eta$  електрофільтрів змінюється від 95 % до 99 %. Для скрубєрів Вентурі від 70 % до 99 %. Таким чином, електрофільтр може забезпечити більш стійку високу ефективність утримання пилових частинок.

*Другий підхід.* Золошлакові відходи Зміївської ТЕС надходять у золовідвал, що на цей момент заповнений на 95,8 %. Надходження ВМ у ґрунт із золовідвалу можливо при його запиленні та із зливовим стоком при вилуговуванні ВМ зі шлаків і змиванні високодисперсних фракцій зол. Місцем остаточного накопичення ВМ золошлаків є ґрунт.

Так як будівництво нового золовідвалу та реконструкція старого найближчим часом не передбачені, то проблему накопичення відходів необхідно вирішити шляхом їх утилізації в інших галузях промисловості. Найбільш доцільною є утилізація золошлаків у виробництві цементу. Золи ТЕС складаються в основному з  $\text{SiO}_2$  та  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Вміст у них  $\text{CaO}$  не перевищує 5 %. Через подібність хіміко-мінералогічних характеристик паливних і доменних шлаків не доводиться очікувати принципових розходжень у протіканні процесів виробництва і твердіння цементу, що містить золошлак. Склад використовуваних при виробництві цементу золошлакових відходів повинен відповідати встановленим вимогам [8].

Паливні золи та шлаки використовуються як активні добавки до цементу і як компоненти цементної сировинної суміші. Бетони на основі золошлаків характеризуються скороченням циклу пропарювання виробів удвічі. Вироби з додаванням золи морозостійкі, краще протистоять агресивному середовищу. Паливний гранульований шлак може розглядатися як менш водопоглинальна добавка до цементу у порівнянні з доменним. Золи використовують як мінеральну добавку в асфальтобетон і замість піску в керамзитобетоні.

*Третій підхід.* Дискримінація важких металів у ґрунті полягає в інактивації ВМ, в ослабленні їхньої атаки на живі організми, у зменшенні їхнього вмісту в сільськогосподарських культурах. До прийомів детоксикації надлишку ВМ у ґрунті відносяться внесення вапна і застосування органічних добрив.

При вапнуванні ґрунту надходження ВМ у рослини зменшується. Цьому може бути кілька пояснень:

- 1) внаслідок зростання рН важкі метали випадають із ґрунтового розчину в осад у виді гідроксидів, карбонатів і фосфатів;
- 2) у результаті зростання рН і вмісту в ґрунті  $\text{Ca}^{2+}$  зменшується здатність коренів рослин до поглинання ряду важких металів, зокрема Pb;
- 3) вапнування сприяє утворенню комплексів органічних речовин ґрунту з важкими металами [9].

**Висновки.** В результаті проведених досліджень рівня забруднення ґрунтів поблизу Зміївської ТЕС важкими металами встановлено, що:

- найбільш забрудненою є територія, розташована від джерела викиду в радіусі 10 км;
- найбільш поширеними забруднювачами є Cu, Sr, Co, V, Cr, що вважаємо цілком закономірним: V, Cr є аніоногенами, кислотні залишки утворюються в слабо лужних ґрунтах і з ВМ утворюють нерозчинні або малорозчинні сполуки, що проводить до їх накопичення. Це стосується Cu, Sr, Co;
- визначені кореляційні залежності між рН і макро- і мікрокомпонентами в різних ґрунтах. Найбільший коефіцієнт кореляції є між рН і Si, Al (0,6–0,9), вміст яких змінюється в залежності від місця відбору зразків ґрунту;
- для мікроелементів простежується залежність між рН і вмістом у ґрунтах Sr, Zn, що пов'язано зі зменшенням рухомості цих елементів у слаболужних і нейтральних ґрунтах;

– при наявності в ґрунті V і Cr утворюються такі сполуки:  $\text{SrCrO}_4$ ,  $\text{SrCr}_2\text{O}_7$ ,  $\text{Sr}(\text{VO}_3)_2$ ,  $\text{Zn}_2\text{V}_2\text{O}_7$ ,  $\text{Zn}_3(\text{VO}_4)_2$ ,  $\text{Zn}(\text{VO}_3)_2$ .

Для зниження рівня забруднення ґрунтів поблизу Зміївської ТЕС ВМ запропоновано: провести реконструкцію котлоагрегату, у результаті чого викиди зольного пилу, що містить ВМ, знизяться в 27 разів; установити електрофільтр для вловлювання золи з газів, що відходять; використовувати золошлакові відходи у виробництві портландцементу; періодично проводити вапнування ґрунтів на території поблизу Зміївської ТЕС з метою дискримінації ВМ.

#### Перелік посилань:

1. Платонов А.П. Основы общей и инженерной экологии / А.П. Платонов, В.А. Платонов. – Ростов Н/Д: Феникс, 2002. – 352 с.
2. СанПиН 42-128-4433-87. Предельно допустимые концентрации химических соединений в почве: Утв. М-вом здравоохранения СССР. – М., 1987. – 54 с.
3. ГОСТ 17.4.1.02-83. Охрана природы. Почвы. Классификация химических веществ для контроля загрязнения. – Введ. 01.01.84.
4. Почвы Украины и повышение их плодородия. – Киев: Урожай, 1988. – Т.1. – 292 с. – (ВАСХНИЛ. Юж. от-ние Ин-та почвоведения и агрохимии им. А.Н. Соколовского).
5. Техногенные потоки вещества в ландшафтах и состояние экосистем / Под ред. М.А. Глазовской. – М.: Наука, 1981. – 256 с.
6. Дончева А.В. Ландшафтная индикация загрязнения природной среды / А.В. Дончева, Л.К. Козакова, В.Н. Калущков. – М.: Экология, 1992. – 256 с.
7. Пендиас Кобата. Микроэлементы в почвах и растениях / Пендиас Кобата, Алина Пендиас Хенрик. – М.: Мир, 1989. – 439 с.
8. Гольдштейн Л.Я. Комплексные способы производства цемента / Л.Я. Гольдштейн. – Л.: Стройиздат, 1985. – 160 с.
9. Lagerwerff J.V. Lead, mercury, and, admium as environmental contaminants / J.V. Lagerwerff // Micronutrients in Agriculture. – 1972. – Madison, USA: Soil Sci. Soc. Am. Inc. – P. 593-636.

УДК 66.098.4:546.11:662.769.21

**Арутюнов Д. О., Пересипкіна Н. В.**

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»,  
факультет біотехнології і біотехніки

**ПЕРСПЕКТИВИ УТИЛІЗАЦІЇ МОЛОЧНОЇ СИРОВАТКИ З МЕТОЮ  
ОТРИМАННЯ ВОДНЮ**

*Запропоновано новий метод утилізації рідких відходів молокозаводів. Проведено пошук оптимального інокуляту для максимального утворення водню в анаеробних умовах.*

*Ключові слова: водень, молочна сироватка, молокозавод, інокулят, анаеробна ферментація.*

**Арутюнов Д. О., Пересыпкина Н. В.**

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический  
институт», факультет биотехнологии и биотехники

**ПЕРСПЕКТИВЫ УТИЛИЗАЦИИ МОЛОЧНОЙ СЫВОРОТКИ С ЦЕЛЮ  
ПОЛУЧЕНИЯ ВОДОРОДА**

*Предложен новый метод утилизации жидких отходов молокозаводов. Проведен поиск оптимального инокулята для максимального образования водорода в анаэробных условиях.*

*Ключевые слова: водород, молочная сыворотка, молокозавод, инокулят, анаэробная ферментация.*

**Arutiunov Dmytro, Peresyapkina Natalya**

National Technical University of Ukraine “Kyiv Polytechnic Institute”, Department of  
Biotechnology

**PROSPECTS OF WHEY UTILIZATION FOR HYDROGEN OBTAINING**

*New method of utilization of liquid waste from dairy plants is proposed. Search for optimal inoculum for ultimate hydrogen obtaining in anaerobic conditions is provided.*

*Key words: hydrogen, whey, dairy plant, inoculum, anaerobic fermentation.*

Молочна сироватка – побічний продукт, що утворюється при виробництві молочних продуктів. Сироватка на 93% складається з води і на 7% із сухих речовин. Основний об'єм сухих речовин сироватки складає лактоза (приблизно 70%), крім того, вона містить азотисті, мікро- і макросполуки, молочний жир, мінеральні солі, вітаміни, ферменти, органічні кислоти. В Україні виробляється 11,4 млн тонн молока і молочних продуктів протягом року. При цьому обсяг молочної сироватки, що утворюється, - 10,26 млн тонн.

Проблеми утилізації молочної сироватки займають чільне місце в процесі діяльності молокозаводів. Вона містить велику кількість органічних речовин, значення ХСК сироватки коливається в межах 50-55 г/л. У відповідності до «Правил приймання стічних вод підприємств у комунальні та відомчі системи каналізації населених пунктів України», стічні води молокозаводів мають бути попередньо очищені на території підприємства перед скидом до міської каналізації. Проте наразі в Україні основним способом утилізації молочної сироватки залишається скидання стічних вод молокозаводів у міську каналізацію без попереднього очищення або навіть несанкціонований вилив у ґрунт.

На сьогоднішній день основним способом попереднього очищення таких стічних вод є аеробно-анаеробне біологічне очищення з анаеробним очищенням на першій стадії і аеробним на другій. Проте цей метод має низку недоліків, основними з яких є високі експлуатаційні витрати на забезпечення аерації у аеротенках та на споруди по утилізації осадів, крім того, споруди аеробного очищення займають великі площі.



Тому ми пропонуємо якісно новий підхід до вирішення цієї проблеми – застосування анаеробної технології очищення із отриманням суміші газів з високим вмістом водню шляхом анаеробної темної ферментації.

Метою нашої роботи є пошук оптимальних умов для максимальної ефективності процесу анаеробної темної ферментації молочної сироватки з одночасним отриманням водню.

Вихід водню у процесі анаеробної темної ферментації варіює залежно від складу поживного середовища, інокуляту та умов ферментації [1].

У роботі був здійснений пошук оптимального інокуляту для максимального утворення водню в анаеробних умовах.

Було встановлено, що максимальне утворення водню (2,6 моль  $H_2$ /моль спожитої лактози) відбувалося при культивуванні асоціації, отриманої з екскрементів великої рогатої худоби.

Результати досліджень можуть бути використані для інтенсифікації анаеробної темної ферментації сироватки з отриманням водню. Майбутні дослідження будуть спрямовані на пошук оптимальних умов ведення процесу.

Література:

1. Hydrogen production by biological processes: A survey of literature / D. Das and T.N. Veziroglu // Int. J. Hydrogen Energy. – 2001. – № 26. – pp. 13 – 28.

УДК 5.502

Ополінський І. О., студент, Дичко А.О., к.т.н

### ЕКОЛОГІЧНИЙ АУДИТ УРБАНІЗОВАНИХ ТЕРИТОРІЙ

*Представлений механізм здійснення екологічного аудиту міських екосистем. Визначено складові екологічної безпеки урбоекосистем.*

*Ключові слова: урбанізація, аудит, екологічна безпека.*

*Представленный механизм осуществления экологического аудита городских экосистем. Определены составляющие экологической безопасности урбоекосистем.*

*Ключевые слова: урбанизация, аудит, экологическая безопасность.*

*Presented mechanism of environmental audit for urban ecosystems. Determined the composition of ecological safety for urban ecosystems.*

*Keywords: urbanization, auditing, environmental safety.*

**Вступ.** Урбанізація, змінюючи стан довкілля та спосіб життя людини, впливає на демографічні показники і захворюваність населення. Складовими шкідливого впливу міського середовища є: забруднення атмосферного повітря, питної води, електромагнітним, шумове та вібраційне забрудненням, забруднення побутовими відходами тощо [1,2].

**Завдання та мета дослідження.** Враховуючи сучасний стан екологічної безпеки міст та рівня захворюваності населення, для суспільства в цілому стає важливим отримання об'єктивних знань про стан факторів мікроклімату урбоекосистем, можливих наслідків їх впливу на організм людини та можливість зменшення дії або абстрагування від них шляхом використання сучасних технологій.

Для вирішення поставлених завдань доцільно використовувати принципи екологічної експертизи. Вона слугує ефективним механізмом держави і суспільства створення нормальних умов для функціонування екосистем і біосфери загалом та гарантування їх екологічної безпеки. Екологічна експертиза – це науково-практична діяльність спеціально уповноважених державних органів, еколого-експертних формувань та об'єднань громадян, що ґрунтується на міжгалузевому екологічному дослідженні, аналізі та оцінці передпроектних, проектних та інших матеріалів чи об'єктів, дія яких впливає або може негативно впливати на стан довкілля та здоров'я людей.

Основними принципами екологічної експертизи є: гарантування безпечного життя довкілля; збалансованість екологічних, економічних, медико-біологічних та соціальних інтересів; наукова обґрунтованість і незалежність, об'єктивність і гласність, варіантність і превентивність; законність [3].

Комплексу оцінку екологічної безпеки життя в місті необхідно проводити в два етапи. На першому етапі, враховуючи принципи екологічної експертизи, необхідно:

1. Створити план-схему досліджуваної території;
2. Провести біоіндикаційну оцінку прилеглих територій;
3. Розрахувати викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря постачальниками теплової та електричної енергії;
4. Оцінити впливи електромагнітного випромінювання, транспорту, шумового та вібраційного забруднень.
5. Розрахувати кількість відходів, що утворюються.

Використання методів біоіндикації дозволяє оцінити ступінь забруднення оточуючого середовища, здійснювати постійний контроль (моніторинг) його якості та змін. Головна мета

біоіндикації — діагностика стану екосистем шляхом встановлення здатності організмів до адаптації у відповідних умовах довкілля.

Шумове забруднення атмосфери – одна з форм хвильового, фізичного забруднення, адаптація організму до нього є неможливою. Шуми інтенсивністю 30-80 дБ не наносять шкоди людському організму. Водночас шуми інтенсивністю 85 дБ і більше призводять до фізіологічних і психологічних негативних наслідків на нервову систему, сон, емоції, працездатність.

Шум негативно впливає на організм людини: серцево-судинну та нервову системи, порушує сон, увагу, збільшує роздратованість, депресію, неспокій, подразнення, може впливати на дихання і травну систему; відволікання уваги від звичайних занять; зміни фізіологічних реакцій людини на стресові сигнали; вплив на психічне і соматичне здоров'я; дію на трудову діяльність і продуктивність праці [4]. Рівень шуму транспортного потоку визначається, в основному, складом, інтенсивністю та швидкістю потоку.

Не менш важливе значення для здоров'я і самопочуття людини має вібрація. Часто вібрації супроводжуються почутим шумом. Джерелами вібрації у містах є: рейковий, автомобільний транспорт, будівельна техніка, промислові установки.

Зазвичай вібрація розповсюджується від її джерела на відстань до 100 м. Найбільш потужне джерело вібрації – залізничний транспорт. У метро інтенсивна вібрація розповсюджується на 50–70 м. Приблизно кожний другий міський житель страждає від створюваного ним шуму.

Основні пріоритети в зниженні рівня акустичного забруднення: удосконалення гігієнічних нормативів, оцінки і розрахунку акустичних показників для різних джерел звуку; розроблення поточних та перспективних карт акустичного забруднення міст; зниження акустичного навантаження на населення і працівників транспортних засобів; розроблення та впровадження економічних важелів регулювання акустичного навантаження [5].

Ефективним заходом боротьби з шумом у містах є озеленення. Деревя, які посаджені близько одне від одного, оточені густими кущами, значно знижують рівень техногенного шуму і покращують міське середовище.

Проблеми твердих відходів, як і інші екологічні проблеми, щорічно загострюються. Застосування недосконалих технологічних процесів та недостатня комплексність використання сировини в промисловості, значне збільшення чисельності населення при поліпшенні якості життя викликає утворення величезної кількості твердих промислових та побутових відходів (ТПБВ). Тому актуальним є питання необхідності аналізу доцільності вирішення проблеми сміття за рахунок роздільного сортування та утилізації [6].

Сортування передує, зазвичай, будь-якій наступній операції знешкодження ТПБВ. Досить рідко тверді відходи можуть утилізуватися без попередньої обробки. При роздільному зборі ТПБВ використовують стаціонарні контейнери та контейнери на колесах. Виходячи з цього, пропонується використовувати контейнери роздільного збору паперу, скла, пластмаса, побутових органічних відходів. Для перших трьох існують пункти прийому, а останні доцільно використати як сировину для біогазової установки.

Найбільш ефективним методом біоенергетичної утилізації можна вважати анаеробне зброджування, в результаті якого отримують біогаз та високоякісне органічне добриво. Біогаз представляє собою суміш метану та вуглекислого газу з домішок сірководню, водню, аміаку та оксидів азоту. Після відповідного очищення біогаз використовують як джерело енергії як на виробництві, та і у побуті.

Будь-які енергозберігаючі заходи, які впроваджуються на етапах вироблення, транспортування і відпуску теплоти, спричиняють зменшення первинної кількості теплової енергії, яка використовується в джерелі вироблення енергії. Це, у свою чергу, призводить до

еквівалентного скорочення витрат палива та зниження кількості викидів. Такими енергозберігаючими заходами можуть бути: заміна ламп розжарювання на енергозберігаючі, встановлення датчиків руху, утеплення зовнішніх стін та стелі будівель, заміна вікон на нові металопластикові, встановлення радіаторних рефлекторів.

Основною відмінністю екологічної експертизи від аудиту є те, що в ході другого визначаються можливі шляхи вирішення виявлених екологічних проблем (після 1-го етапу). Тому на другому етапі використовуються принципи екологічного аудиту, а саме якісні та кількісні рекомендації з підвищення рівня екологічної безпеки.

**Висновки.** Отже, представлений метод оцінювання екологічної безпеки урбанізованих територій має сприяти запобіганню появі нових, обмеженню та ліквідації виявлених негативних джерел впливу на довкілля та здоров'я людей, дає змогу оцінити ступінь екологічної безпеки антропогенної діяльності на окремих територіях чи об'єктах, а також визначає шляхи вирішення виявлених проблем.

#### Список використаної літератури

1. Кучерявий В. П. Урбоекологія [Підручник] / Кучерявий В. П. - Львів: Світ, 2001. – 349 - 360 с.
2. Клименко Л.П. Техноекологія: Під-ник для студентів ВНЗ / Клименко Л.П., 2000 р., 256 с.
3. [Http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/45/95-вр](http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/45/95-вр) - Закон України «Про екологічну експертизу»;
4. Техноекологія: Під-ник для студентів ВНЗ Клименко Л.П., 2000 р., 256 с.
5. Евгенъев И.Е., Каримов Б.Б. Автомоб. дороги в окружающей среде. М.: Трансдорнаука, 1997.
6. The state of renewable energies in Europe – Euroobserver –Edition, 2008.

УДК 504.064

**Т.Б. Кудрявська, Ю. Лавриненко, А.О. Дичко**  
**СТРУКТУРНІ ЕЛЕМЕНТИ МЕТОДИКИ МОНІТОРИНГУ ЯКОСТІ ПОВІТРЯ**  
**УРБООКОСИСТЕМ**

*В роботі розглянута недосконалість сучасних методик моніторингу атмосферного повітря. Обґрунтовано необхідність застосування метода біоіндикації для визначення антропогенного навантаження на атмосферу та запропонована альтернативна Методика контролю якості повітря урбоєкосистеми.*

*Ключові слова: моніторинг, біоіндикація, урбоєкоцистема, екологічна безпека, повітря.*

**Т.Б. Кудрявская, Ю. Лавриненко, А.О. Дичко**  
**СТРУКТУРНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ МЕТОДИКИ МОНИТОРИНГУ КАЧЕСТВА**  
**ВОЗДУХА УРБООКОСИСТЕМ**

*В работе рассмотрено несовершенство современных методик мониторинга атмосферного воздуха. Обоснована необходимость применения метода биоиндикации для определения антропогенной нагрузки на атмосферу и предложена альтернативная Методика контроля качества воздуха урбоэкоцистеми.*

*Ключевые слова: мониторинг, биоиндикация, урбоэкоцистема, экологическая безопасность, воздух.*

**T. Kudryavska, Y. Lavrinenko, A. Dichko**  
**ELEMENTS OF AIR QUALITY MONITORING PROCEDURE**  
**URBOECOSYSTEMS**

*The paper discusses the shortcomings of modern techniques of air monitoring. The necessity of applying the method for determining the biological indication of anthropogenic load on the atmosphere and offered an alternative method for air quality control urboecosystem.*

*Key words: monitoring, bioindication, urboecosystem, environmental safety, air*

**ВСТУП.** Однією з невідмінних умов стійкого соціально-економічного розвитку є збереження природного середовища проживання людини і його відновлення після негативних впливів сучасного виробництва.

Для оцінки якості атмосферного повітря використовуються показники екологічного і санітарно-гігієнічного нормування, які були встановлені на основі токсикологічних дослідженнях з тестуванням окремих біооб'єктів, та не можуть враховувати змін токсичності забруднювачів за рахунок ефектів синергізму або антагонізму при одночасному дії антропогенних факторів. Ці нормативи не відображають залежності токсичної дії забруднення від фізичних факторів середовища, не враховують процеси природних трансформацій речовин у навколишньому середовищі або зникнення їх в ході детоксикації середовища від конкретних забруднювачів.

У зв'язку з цим на сьогоднішній день актуальності набувають роботи, спрямовані на створення системи інформативних біоіндикаторів і біомаркерів для адекватної оцінки стану довкілля та моніторингу урбанізованих систем.

**МЕТА.** Саме тому метою дослідження є розробка методики контролю якості повітря урбоєкосистеми.

**ЗАВДАННЯ.** Для досягнення цієї мети були поставлені наступні **завдання**:

1) виконати аналіз наукових і практичних досягнень у сфері моніторингу урбоєкосистем;  
2) довести доцільність використання біотичного підходу для оцінки екологічної безпеки території.

3) на основі методу біоіндикації розробити Методику контролю якості повітря урбоєкосистеми.

**РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ.** Сучасні методи проведення екологічного моніторингу дозволяють оцінити вплив антропогенних факторів на здоров'я населення лише у разі перевищення гранично допустимих рівнів забруднення, а забруднюючі речовини, що знаходяться в довкіллі в низьких концентраціях не відстежуються.

Очевидно, що діюча в даний період концепція, заснована на нормативах ГДК, не може дати об'єктивну інформацію про реальні рівні допустимого абіотичного впливу на екосистеми. Саме тому необхідна Методика, використовуючи яку можна проводити інтегральну оцінку реакції екосистеми на антропогенне втручання.

Як альтернативу методології ГДК для здійснення екологічного контролю можна запропонувати біотичний підхід. Цей підхід доводить існування причинно-наслідкового зв'язку між рівнями впливів на біоту і відгуком біоти. Згідно біотичного підходу, оцінка екологічного стану території повинна проводитися за комплексом біотичних показників, а не за рівнями абіотичних факторів. Завдання біотичного підходу - по-перше, провести оцінку екологічного стану за біотичними показниками, по-друге, виявити межі абіотичних факторів між областями нормального та патологічного функціонування природних об'єктів.

Запропонована Методика контролю якості атмосферного повітря урбоєкосистем складається з наступних етапів (рис. 1):

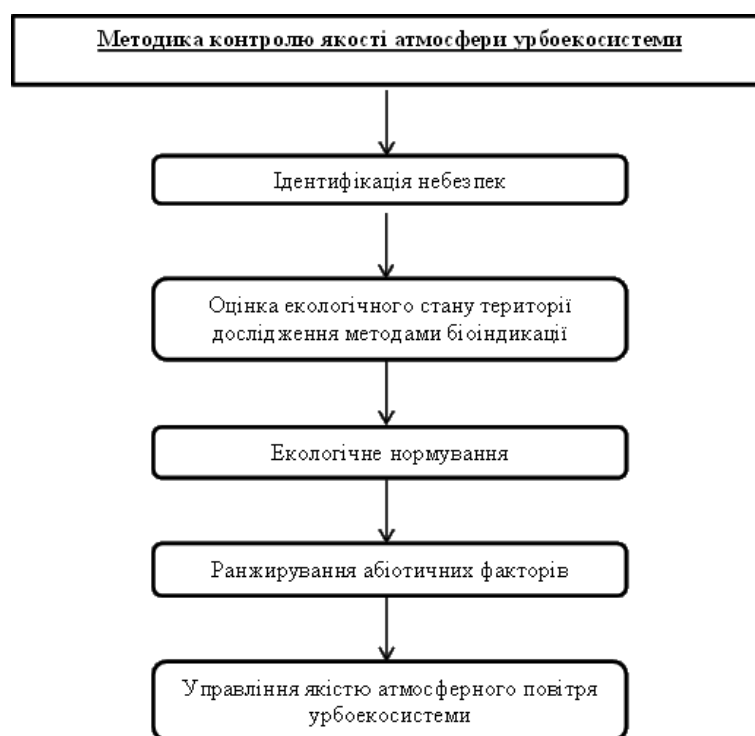


Рисунок 1 – Структурні елементи Методики контролю якості атмосферного повітря урбоєкосистеми

Перший етап – Ідентифікація небезпек – виявлення несприятливих факторів неживої природи, вплив яких може викликати екологічне неблагополуччя екосистеми, тобто даний етап включає в себе облік хімічних речовин, що забруднюють навколишнє середовище, визначення їх токсичності для екосистеми.

Другий етап – Оцінка екологічного стану території дослідження методами біоіндикації – визначення ступеня її екологічного неблагополуччя за шкалою "норма-патологія" згідно індикаторних характеристик співтовариств і окремих видів.

Третій етап – Екологічне нормування – визначення меж значень факторів, вихід за які перетворює екосистему з благополучної в неблагополучну.

Четвертий етап – Ранжирування абіотичних факторів – оскільки вплив кожного абіотичного фактору на якість атмосфери неоднаковий, тому проводять їх ранжирування та визначають найбільш вагомі.

П'ятий етап – Управління якістю атмосферного повітря урбоекосистеми - обґрунтування найкращих в даній ситуації рішень з усунення або мінімізації негативного впливу абіотичних факторів, а також оцінка ефективності і корегування заходів, що сприяють покращенню стану довкілля.

#### **ВИСНОВКИ:**

1. Проведений аналіз сучасні методик проведення екологічного моніторингу урбоекосистем.
2. Визначені переваги оцінки екологічної безпеки території методами біоіндикації, яка дозволяє адекватно відобразити рівень впливу середовища.
3. На основі запропонованої методики розглянуті основні етапи проведення контролю якості атмосферного повітря урбоекосистем. Дана методика виявляється досить гнучкою, тому що, по-перше, отримані нормативи по закінченні певного проміжку часу можуть коректуватися відповідно до адаптаційних процесів живих організмів, по-друге, застосування цих нормативів суворо обмежена регіональним контекстом, тобто їх значення справедливі тільки в межах тієї території, де були зібрані первинні дані для відповідних розрахунків.

УДК 5.502

Дичко А.О., Зайцев В.Л., Гаптар Ю.М.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», Київ

Мінаєва Ю.Ю.

Київський університет управління та підприємництва

### ОЦІНЮВАННЯ ЯКОСТІ СЕРЕДОВИЩА ПРОЖИВАННЯ

*Пропонується підхід до оцінювання якості довкілля, який дозволяє створити інтегральну оцінку середовища, що має якісний характер й враховує не стільки фактичний синергізм, скільки можливість його проявлення. Підхід може застосовуватися як для окремих підприємств, де має місце локальне погіршення довкілля, так і для цілих регіонів та міст.*

*Ключові слова: якість довкілля, токсичні забруднення, спектральна характеристика забруднень*

*Предлагается подход к оценке качества окружающей среды, который позволяет создать интегральную оценку среды проживания, который имеет качественный характер и учитывает не столько фактический синергизм, сколько возможность его проявления. Подход может применяться как для отдельных предприятий, где имеет место локальное ухудшение окружающей среды, так и для целых регионов и городов.*

*Ключевые слова: качество окружающей среды, токсичные загрязнения, спектральная характеристика загрязнений*

*An approach of evaluating the quality of environment, which allows to create an integrated estimation of environment that is qualitative in nature and takes into account not only the actual synergism as the possibility of its manifestation. The approach can be applied both to individual enterprises with a local environmental degradation and for entire regions and cities.*

*Keywords: environmental quality, toxic pollution, spectral characteristics of pollution*

Середовище проживання визначає багато у чому функціонування соціуму, його проблеми, пріоритети. Особливо це стосується такої специфічної форми людської цивілізації (а точніше – організації), як мегаполіси. Техногенний вплив на середовище проживання у мегаполісах (надкритичне скупчення забудівель, велика щільність населення, відчуження земельних ділянок в межах міст для прокладки шляхів, мереж електро- і теплозабезпечення, трас метрополітену і швидкісного трамваю, асфальтування і бетонування усієї поверхні вулиць, безперервне збільшення викидів усіх видів автотранспорту, металургійних, хімічних і інших індустріальних об'єктів, суттєве збільшення водоспоживання за рахунок артезіанських свердловин тощо) кардинально загострює екологічний стан довкілля і виводить мегаполіси за межі припустимих для нормального життя і функціонування показників якості життя (ЯЖ), яка є інтегральною характеристикою, що відображує кількісну оцінку умовам, в яких існують, функціонують, розвиваються й самовиражаються мешканці населених пунктів, або та чи інша конкретна особистість. Однією з складових ЯЖ є якість середовища проживання (ЯСП), яка залежить від таких чинників, як показники якості повітря, води, харчування, дозвілля, здоров'я, рівень безпеки і деякі інші. У практиці сьогодення для оцінки ЯСП у великих містах з розвинутою промисловістю використовують метод гранично припустимих концентрацій (ГПК) токсичних забруднювачів (ТЗ) будь-якої природи й походження. Однак цей метод дає адекватні наслідки тільки для випадків "чистого" середовища, куди надходить один ТЗ. При цьому вважається, що якщо ГПК цього ТЗ не досягнута, то ЯСП відповідає існуючим нормам.



На практиці має місце надходження множини ТЗ у середовище проживання, що призводить до виникнення проблеми їхнього взаємного впливу й підсилення ступеню токсичності кожного з ТЗ (або частини з них) у присутності інших ТЗ, тобто до проявлення ефекту синергізму. Якщо відома ступінь такого впливу, то можна, як і раніше, використати метод ГПК у сполучі з методом коефіцієнтів підсилення впливу. Реально приходиться мати справу з великими перевантаженнями довкілля й людини різноманітними ТЗ. З цієї точки зору показники ЯСП (навіть без урахування ефекту синергізму) у таких містах, як Дніпропетровськ, Донецьк, Запоріжжя і деякі інші, настільки відхиляються (у небажаний бік) від припустимих норм, що виникає питання, як, не зупиняючи виробництва, все-таки наблизити ЯСП до рівнів, які відповідають прийнятним у розвинених країнах життєвим стандартам.

Нижче пропонується підхід, який дозволяє вирішити до певної міри проблему обґрунтованого оцінювання фактичного стану навколишнього середовища як показника ЯСП. У його основу покладені припущення про наявність граничних рівнів ТЗ, з яких починає проявлятися їхній шкідливий вплив, а також про наявність ефекту синергізму, коли загальний вплив ТЗ сильніший, ніж проста сума впливів окремих ТЗ. Результат оцінювання ЯСП надається у вигляді "спектральної" характеристики, де вздовж осі абсцис розташовуються окремі ТЗ ("спектр" ТЗ), а вісь ординат служить для відносної кількісної оцінки кожного з ТЗ у одиницях відповідної (відносної) "фонової" величини (ТЗФ), як це зазначено на Рис. 1.

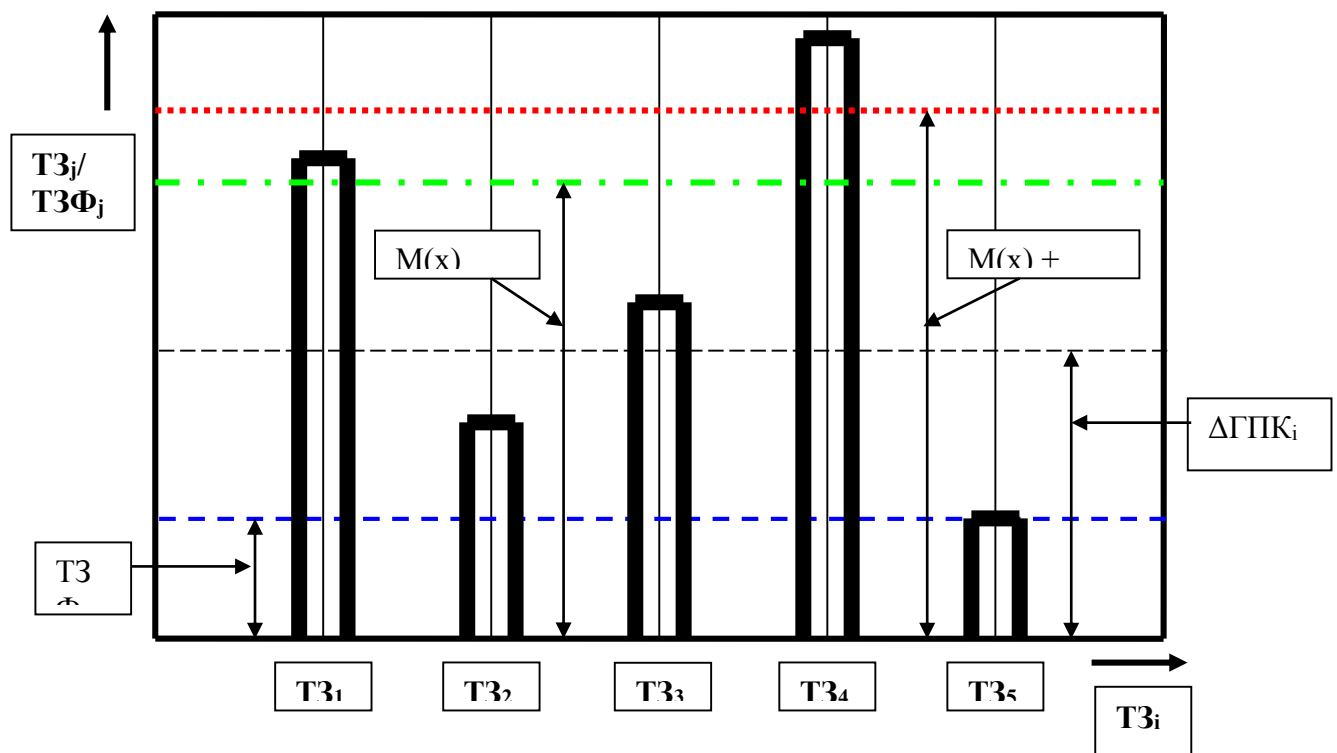


Рис. 1

Спектральна характеристика забруднень ( $TZ_i$ ) відносно  $TZ\Phi_i$ ,  $\Delta ГПК_i$ , а також відповідні  $M(x)$ ,  $s(x)$  та рівень середнього забруднення з урахуванням синергізму  $ns(x)$

Якщо усі ТЗ утримуються у концентраціях, які не перевищують ГПК, яка теж представляється у одиницях відповідної ТЗФ, відносна ЯСП визначається як математичне

очікування (середнє значення) відносної амплітуди забруднень  $M(x) = \frac{1}{N} \sum_1^N TЗ_i$ , плюс

середньоквадратичне відхилення від  $M(x)$   $s(x) = \sqrt{(1/N) \sum_i^N (x_i - M(x))^2}$ , тобто відносна  
 $ЯСП = M(x) + s(x)$ ,

де  $N$  - загальна кількість виявлених ТЗ,  $x_i$  - рівень забруднення (концентрація)  $i$ -го ТЗ (у одиницях ТЗФ).

Синергізм при цьому може бути визначений з виразу

$$n = 1 + \left[ \frac{L-1}{N} \right] \left[ 1 + \sum_i^N (x_i) \right],$$

де  $n$  - загальний коефіцієнт підсилення токсичності ТЗ у присутності низки ТЗ (тобто коефіцієнт збільшення СКВ);  $L$  - кількість ТЗ, у яких концентрація перевищує науково-обґрунтований або емпіричний поріг значущості  $\Delta ГПК$  (певну частку ГПК). При цьому реальна ЯСП, що враховує усе зазначене вище, знаходиться з виразу:

$$ЯСП = M(x) + ns(x).$$

Підхід, що пропонується, дозволяє створити деяку інтегральну оцінку ЯСП, яка має скоріше якісний, ніж кількісний характер й враховує не стільки фактичний синергізм, скільки можливість його проявлення. Покращання ЯСП при такому підході можливо, наприклад, за рахунок розробки (підбирання) сумісно із відповідними службами охорони здоров'я та харчування оптимального раціону, який сприяє виведенню ТЗ або їхньої компенсації. При цьому використовується "спектральна" характеристика раціону, де показано, які ТЗ і у якому ступені (у частках ГПК) виводяться з його допомогою (або компенсуються).  $\overline{ЯСП}$  цього спектру у оптимальному варіанті повинно "компенсувати" ЯСП спектру забруднень. Цей підхід може застосовуватися як для окремих підприємств, де має місце локальне погіршення ЯСП, так і для цілих регіонів міста, або й міста у цілому. Він може стати ефективним важелем впливу з боку міської адміністрації на діяльність промислових підприємств міста у руслі проведення природоохоронної політики, а також засобом покращення ЯСП мешканців шляхом розробки рекомендованих альтернативних раціонів, які зможуть у деякій мірі сприяти виведенню або руйнації (метаболізму) шкідливих ТЗ, проведенням науково-обґрунтованої політики озеленення міст і окремих районів, а також шляхом перемаршрутування транспортних потоків й планування новобудов, які б сприяли кращому "вентилюванню" мікрорайонів міст.

УДК: 538.1:621.039:681.3:311.214; 58 502.175

І.С. Єремєєв, А.І. Остапчук

**ОЦІНЮВАННЯ РИЗИКІВ БІОІНДИКАЦІЇ**

*Розглянуто ризики, пов'язані з проблемами ідентифікації забруднень повітря за допомогою біоіндикаторів. Описано процедури, які мають відношення до оцінювання ризиків, а також відношення між усвідомленням ризику, релевантністю та достовірністю даних. Для оцінювання ризиків та загроз рекомендуються евристики, що використовують лінгвістичні змінні, моделі ідентифікації та екстраполяційні процедури, а також метод гібридного моніторингу та теорему Байєса.*

*Ключові слова: ризики, біоіндикація, релевантність, достовірність, евристики, оцінювання, теорема Байєса.*

И.С. Еремеев, А.И. Остапчук

**ОЦЕНИВАНИЕ РИСКОВ БИОИНДИКАЦИИ**

*Рассмотрены риски, связанные с проблемами идентификации загрязнений атмосферного воздуха с помощью растений-биоиндикаторов. Описаны процедуры, относящиеся к оцениванию рисков, а также отношения между уяснением риска, релевантностью и достоверностью данных. Для оценивания рисков и угроз рекомендуются эвристики, использующие лингвистические переменные, модели идентификации и процедуры экстраполяции, а также метод гибридного мониторинга и теорему Байеса.*

*Ключевые слова: риски, биоиндикация, релевантность, достоверность, эвристики, оценивание, теорема Байеса.*

I.S. Yermeyev, A.I. Ostapchuk

**BIOINDICATION RISK'S EVALUATION**

*There are reviewed the risks concerned with bioindicators' air pollution identification problems. The procedures concerned with the risk evaluation are showed as soon as the relation between risk assessment, relevancy and data assurance. For the risks and menace evaluation it is recommended the heuristics using linguistic construction of these indices, identification models and extrapolation procedures as soon as the method of hybrid monitoring and Bayesian Theorem.*

*Key words: risks, bioindication, relevancy, trustworthiness, heuristics, evaluation, Bayesian theorem.*

Біоіндикатори є дієвим засобом визначення таких забруднень атмосфери, як діоксини сірки і азоту, фтор та озон. Причому біоіндикатори мають ту позитивну рису, що вони інтегрують вплив забруднень за весь час експозиції на відміну від вимірювальних приладів, які визначають забруднення у точці вимірювання у момент виконання цієї процедури. Негативною рисою біоіндикаторів є те, що вони піддаються впливу різних забруднень одночасно і їхня реакція не є «чистою», а скоріше, сумою реакцій на різні забруднювачі, що не завжди дозволяє виявити вплив конкретного забруднювача. Усе це ускладнює завдання ідентифікації забруднень і обумовлює наявність ризиків під час оцінювання стану середовища.

Зазначені ризики можуть бути кваліфіковані як такі:

- Ризик недооцінки впливу забруднювача (РНВЗ);
- Ризик переоцінки впливу забруднювача (РПВЗ);
- Ризик помилки у визначенні конкретного забруднення (ПВКЗ);
- Ризик загальної хибної оцінки стану довкілля (ЗХОС).

Для оцінювання ризику треба мати уявлення про загрози, які можливі (характерні) для тих, чи інших біоіндикаторів відносно певних умов оточуючого середовища, а також відчувати зв'язок між розумінням процесів, які викликають реакцію біоіндикатора, релевантністю реакції забрудненню та ступенем адекватності, вірогідності і однозначності цієї реакції. Цей зв'язок демонструється на рис.1, де послідовний перехід від окремого індикатора і одного забруднювача до природи і людини в цілому в умовах дії низки забруднювачів забезпечується певними процедурами екстраполяції, які повинні враховувати як певні детерміновані залежності, так і статистичні дані розподілу реакцій біоіндикаторів і відповідні моделі, що підлягають коригуванню шляхом застосування методів гібридного моніторингу та теореми Байеса., причому сутність гібридного моніторингу полягає у використанні ряду релевантних моделей для одночасної екстраполяції впливу забруднювачів і використанні тієї з моделей, у якій метрика, що характеризує відстань між реальним значенням забруднення та екстрапольованим його значенням мінімальна. А використання теореми Байеса при цьому допоможе скоригувати цю оптимальну модель на підставі нових даних спостережень.

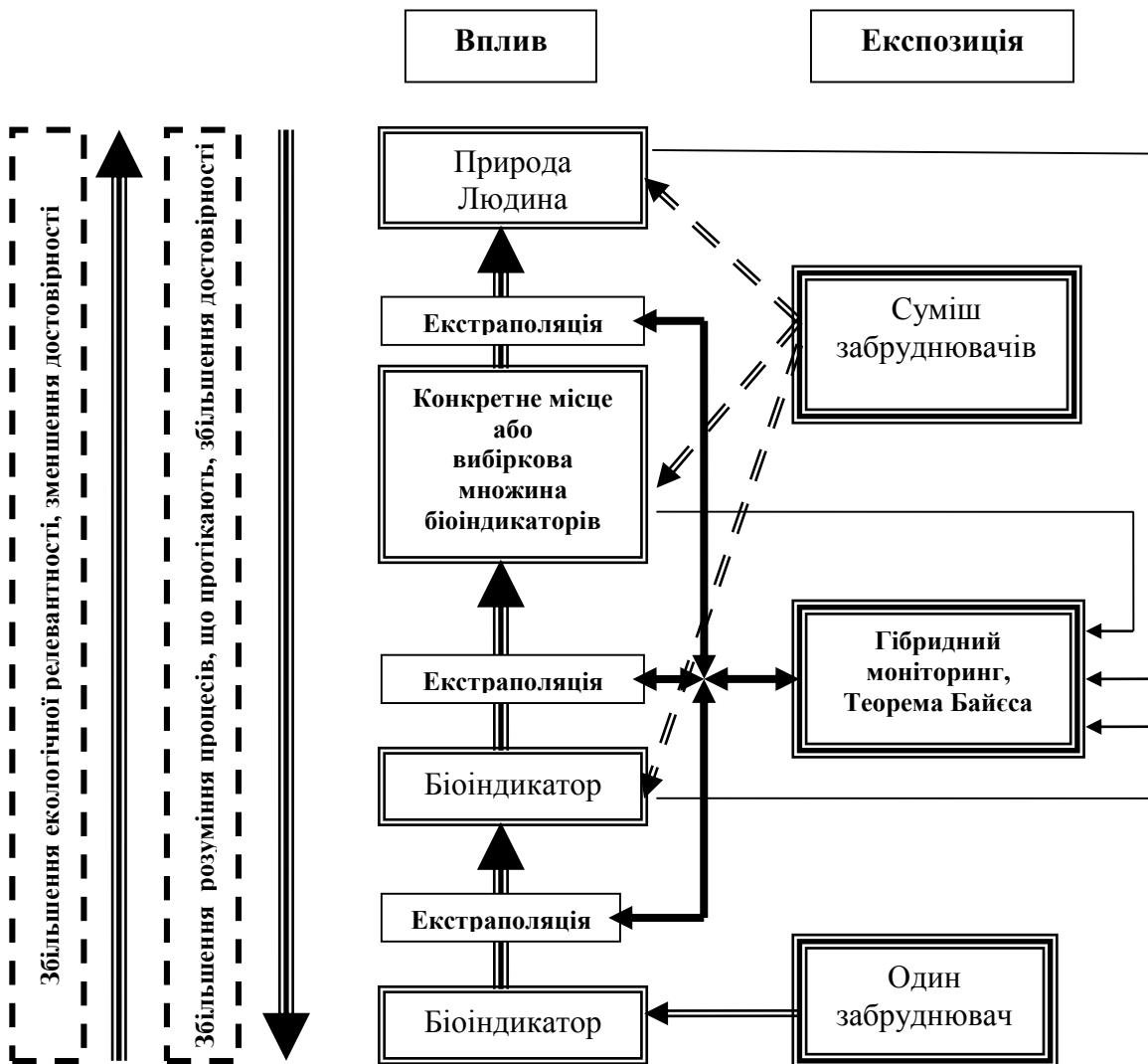


Рис.1  
Зв'язок між розумінням процесів, вірогідністю та релевантністю

Оскільки кількісні оцінки стосовно біоіндикаторів проблематичні, варто звернутися до лінгвістичного опису масштабів загроз та ризиків, прийнявши, наприклад, таку шкалу оцінок: «Відсутній» (0,0), «Незначний» (0,25), «Середній» (0,5), «Значний» (0,75), «Максимальний» (1,0), причому активність реакції індикатора на суму забруднювачів у цьому випадку можна розглядати (враховуючи сприйняття забруднювача сумарною поверхнею індикатора) як суму квадратів реакцій на кожний з забруднювачів, що дозволить виявити домінуючу реакцію та збільшити достовірність ідентифікації у цілому.

Підхід, що запропоновано, у поєднанні з використанням адекватних екстраполяційних процедур, які враховують специфічні ризики на різних рівнях, моделей ідентифікації та методів гібридного моніторингу у сполученні з використанням теореми Байєса дозволяє з достатнім ступенем вірогідності оцінювати ризики, що пов'язані з результатами біоіндикації.

УДК 624.39.329

Н.С. Ремез, д.т.н., проф., Д.А. Наавгуст, магістр

**МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВЗАЄМОДІЇ СЕЙСМОВИБУХОВИХ ХВИЛЬ З  
ОХОРОННИМИ ОБ'ЄКТАМИ З УРАХУВАННЯМ ЇХ ЧАСТОТНИХ  
ХАРАКТЕРИСТИК НА ПРИКЛАДІ КОЩІЙВСЬКОГО ГРАНІТНОГО КАР'ЄРУ**

*Проведено дослідження сейсмостійкості ліній електропередач та газопроводу, розміщених поблизу Кошійвського гранітного кар'єру, при проведенні вибухових робіт на базі математичного моделювання взаємодії сейсмовибухових хвиль з урахуванням частотних характеристик коливального процесу під час поширення сейсмовибухових хвиль.*

*Ключові слова: сейсмовибухова хвиля, частота коливань, охоронні об'єкти, математичне моделювання.*

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ  
СЕЙСМОВЗРЫВНЫХ ВОЛН С ОХРАНЯЕМЫМИ ОБЪЕКТАМИ С УЧЕТОМ ИХ  
ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК НА ПРИМЕРЕ КАЩЕЕВСКОГО ГРАНИТНОГО  
КАРЬЕРА**

*Проведено дослідження сейсмостійкості ліній електропередачі газопроводу, розположених вблизи Кащеевского гранитного карьера, при проведенні вибухових робіт на базі математичного моделювання взаємодії сейсмовзривних волн з урахуванням частотних характеристик коливального процесу в час поширення сейсмовзривних волн.*

*Ключевые слова: сейсмовзрывная волна, частота колебаний, охраняемые объекты, математическое моделирование.*

**MATHEMATICAL MODELING OF SEISMIC EXPLOSIVE WAVES TO  
PROTECTED OBJECTS BASED ON THEIR FREQUENCY CHARACTERISTICS OF  
THE EXAMPLE KOSCHIEVSKOGO GRANITE QUARRY**

*The research of seismic stability of power lines and gas pipeline located near Koschiyivskij granite quarry during explosive works based on mathematical simulation of seismic explosive waves considering the frequency characteristics of oscillatory process during propagation seismic explosive waves.*

*Key words: seismic explosive waves, frequency oscillation, objects to be protected, mathematical simulation.*

**Вступ.** Проблема взаємодії сейсмовибухових хвиль з елементами конструкцій (природні та інженерні) в ґрунтах є досить актуальною в даний час, так як такі об'єкти під впливом техногенних навантажень знаходяться в зоні ризику. Це може призвести до нерівномірного просідання фундаменту, додаткове навантаження в конструкціях будівлі, зниження їх надійності а також їх руйнування [1-4].

Отже раціональне проектування та експлуатації даних конструкції та прогнозування оцінки їх стійкості неможливе без точного знання впливу та характеру дії зовнішніх сил. Тому детальне вивчення характеру поведінки сейсмовибухових хвиль та виділення таких його характеристик, які в найбільшій ступені впливають на систему «ґрунт-основу-фундамент-споруда».

Вибухове дроблення середовища супроводжується випромінюванням пружних сейсмічних хвиль. Багаторазову дію сейсмічних навантажень на охоронювані об'єкти може призвести до тріщиноутворенню в елементах будівельних конструкцій і втрати несучої здатності останніх. При виборі безпечних режимів підривання виходять з того, щоб рівень

сейсмічної дії вибуху не перевищив гранично допустимого (критичного) значення, при цьому ґрунтуються на існуючих нормативних даних, фактичному стані об'єктів, що охороняються, терміни їх експлуатації, ступеня відповідальності і т.д [5].

**Завдання та мета дослідження.** Метою досліджень є комплекс теоретичних досліджень та чисельних експериментів процесів поширення та взаємодії сейсмовибухових хвиль з охоронними об'єктами для прогнозування їх сейсмостійкості.

Завдання дослідження:

1. Розрахунок сейсмобезпечної швидкості зміщення ґрунту в основі ЛЕП та поблизу газопроводу.

2. Розрахунок власних коливань об'єктів, що охороняються.

3. Чисельне дослідження напружено-деформованого стану газопроводу під час дії сейсмовибухових хвиль.

**Результати дослідження.** Загальноприйнятим критерієм сейсмічної небезпеки вибуху є швидкість зсуву ґрунту (або бетону) в основі об'єкту, що охороняється.

Для розрахунку будівель та споруд на сейсмостійкість і для прогнозування сейсмічного впливу потрібно мати достовірні данні про сейсмічне навантаження. При цьому важливо правильно оцінювати зміни інтенсивності сейсмічних коливань при їх передачі від ґрунту до фундаменту споруд і далі до всіх складових елементів споруд з урахуванням їх частотних характеристик.

Зазвичай для будівель і споруд небезпечною є довгоперіодична складова спектру сейсмоколивань. Це пояснюється домінуючою низькою частотою їх (1-7 Гц). Руйнування у цьому випадку відбувається в результаті збігу сейсмоколивань з власною частотою фундаментів і об'єктів. Особливо важливі дослідження спрямовані на вишукування способів впливу на формування сейсмічного спектра, що має мінімальну енергетичне навантаження на небезпечних частотах. До ефективних способу регулювання сейсмічної енергії в частотному діапазоні відносяться: застосування конструкції свердловинного заряду вибухової речовини (ВР) із різною концентрацією об'ємної енергії; застосування різних схем підривання в тому числі короткоуповільненого підривання (КУП) із заданим інтервалом уповільнення [6-8].

Запропоноване дослідження базується на висновках статей [5,8-10], і присвячено аналітичному опису процедури урахування впливу приєднаної маси протяжної в плані наземної споруди на інтенсивність поверхневого прояву заглибленої руйнуючої сейсмічної дії в масиві ґрунту, що моделюється середовищем, що має в'язкі і пружні властивості.

Під конструктивними характеристиками споруди мається на увазі протяжність в плані (розміри по довжині, ширині), поверховість (висота), конструкція елементів, що несуть. Перераховані характеристики безпосередньо впливають на величину приєднаної маси [7].

На рисунку 1 представлений розріз ґрунтового масиву характерний для даного об'єкта дослідження. Зосереджена зсувна дія, що змінюється за гармонійним законом, передається з боку жорсткішого шару, зокрема, скельної породи і впливає на охоронні об'єкти

Охоронними об'єктами, які розташовані в границях земельного відводу Коштівського гранітного кар'єру та потребують розрахунок розмірів небезпечної зони по дії сейсмічних, ударно-повітряних хвиль та розльоту окремих кусків породи при ведення вибухових робіт є:

- Газопровід діаметром 159 мм, робочий тиск  $P=55 \text{ кг/см}^2$ , тимчасовий опір сталі розриву 520 МПа, товщина стінки 4 мм, товщина присипки ґрунтом 1,0-3,7 м;

- Повітряна лінія напруги 330 кВ на металевих опорах;

- Повітряна лінія напруги 10 кВ на залізобетонних напругах.

Найкоротша відстань вказаних охоронних об'єктів від вибухового 1-го блока 480, 560 та 330 м відповідно. Повітряні лінії опираються на залізобетонних прямокутних підп'ятниках розміром 0,5\*0,5 м.

Критерії сейсмонебезпеки при вибухових роботах для об'єктів є швидкість зміщення ґрунту його основи.

Пошкодження будівлі відбувається в тому випадку, коли швидкість зміщення ґрунту в основі переважає допустиму величину швидкості зміщення для даної споруди, тобто коли  $U > U_{\text{доп}}$  [6-8].

Результати сейсмовимірювань від 3-х вибухів (блоки №№ 3,4,5) та допустимі швидкості коливань, розраховані за методикою [7] приведені в табл.1.

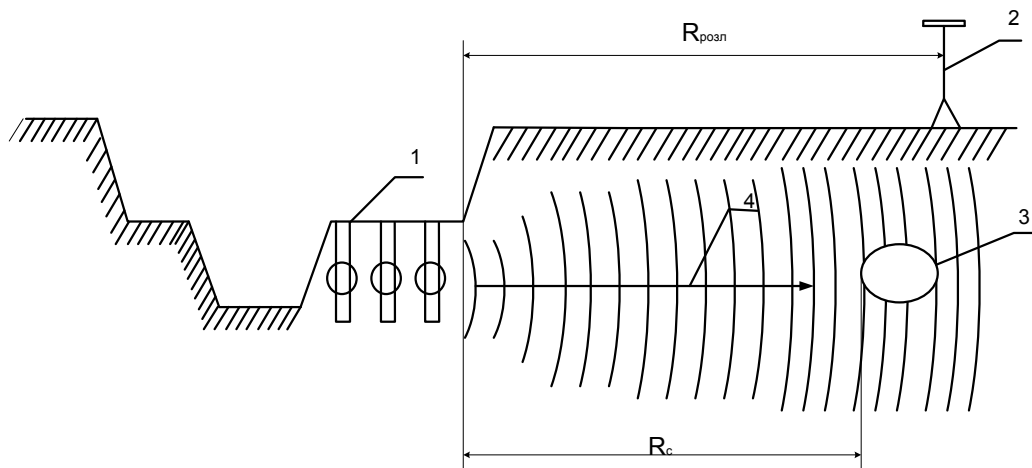


Рисунок 1 – Схема розташування охоронних об'єктів:

1 - свердловина з ВР; 2 - лінії електропередач; 3 - газопровід; 4 - поширення сейсмічних хвиль.

Таблиця 1 – Результати сейсмовимірювань та допустимі швидкості коливань

№	Місце встановлення датчиків	Відстань до вибухів м № блоків (маса ВР $Q_{\text{за,-}}$ $Q_{\text{гр,кг}}$ )			Максимальна швидкість коливань в см/с						Допустима інтенсивність	
		3 3000, 515	4 1304, 218	5 1380, 240	По складовим № блоку			Сумарна, см/с (бал) по блокам з №				
					3	4	5	3	4	5		
		см/с	бал									
1	на ґрунтовій основі біля опори ЛЕП 330 кВ	475	445	450	1,06	0,67	1,02	1,06 (IV)	0,67 (III)	1,02 (IV)	1,0 ґрун основ	доIV ґрун основ
	на каркасі опори ЛЕП 330 кВ				1,55	1,44	1,86	1,55 (V)	1,44 (IV)	1,86 (V)		
2	на ґрунтовій основі над магістральним газопроводом I	425	380	400	1,69	0,96	1,37	1,9 (V)	1,14 (IV)	1,59 (V)	3,0	V
	на ґрунтовій основі над магістральним газопроводом I				0,58	0,62	0,8					
3	на ґрунтовій основі над магістральним газопроводом II	440	395	415	0,71 4	0,45	0,79	2,29 (V)	1,15 (IV)	1,53 (V)	3,0	V



на ґрунтовій основі над магістральним газопроводом II				0,95	0,61 4	0,99 6				
на ґрунтовій основі над магістральним газопроводом II				1,22 5	0,86	1,31 2				

Аналізуючи вище зазначені дані можна зробити висновок що для підтримання сейсмостійкості охоронних об'єктів в результаті проведених досліджень можна рекомендувати допустиму швидкість зміщення ґрунту 3,0-6,0 см/с по сейсмічній шкалі для вибухів на приведеній відстані  $10-16 \text{ м/кг}^{1/3}$ .

Вплив масових вибухів на Кошівському гранітному кар'єру в результаті проведення двох вибухів, на відстані 380 м та 440 м відповідно від осередку вибуху наведені на рис. 2. Сейсмоприймачі встановлені на ґрунт у основи ЛЕП та на її конструкції на висоті 4 м, під час проведення вибухів їх розташування не змінювалося.

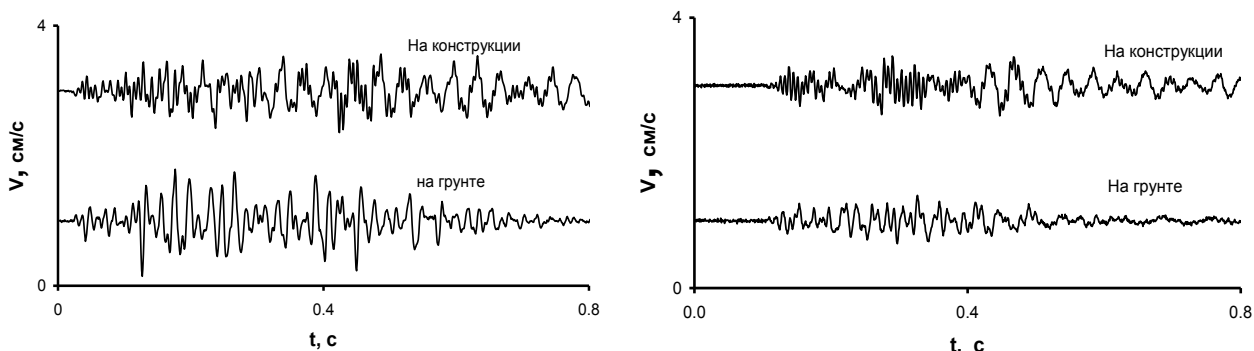


Рисунок 2 – Осцилограми на ґрунті поблизу опори ЛЕП, на опорі ЛЕП при першому і другому вибухах.

Таблиця 1 – Максимальні значення швидкості зсуву на конструкції опори та ґрунту

Місце установки сейсмоприймача	Вибух №1	Вибух №2
Конструкція опори	0.64 см/с	0.45 см/с
Ґрунт основи опори	0.85 см/с	0.37 см/с

Аналізуючи осцилограми та дані таблиці 2, можна помітити, що при вибуху №1 швидкість коливання ґрунту більше, ніж швидкість коливання конструкції опори, а при вибуху № 2 – навпаки. Аналізуючи приведені амплітудно-частотні характеристики (АЧХ), представлені на рисунку 3 та 4, можна відмітити, що для конструкції опори при вибухах №1 та №2 мають яскраво виражений пік амплітуди коливань на частоті 26,5 Гц, яка є частотою коливань власних (вільних) коливань конструкції опори ЛЕП.

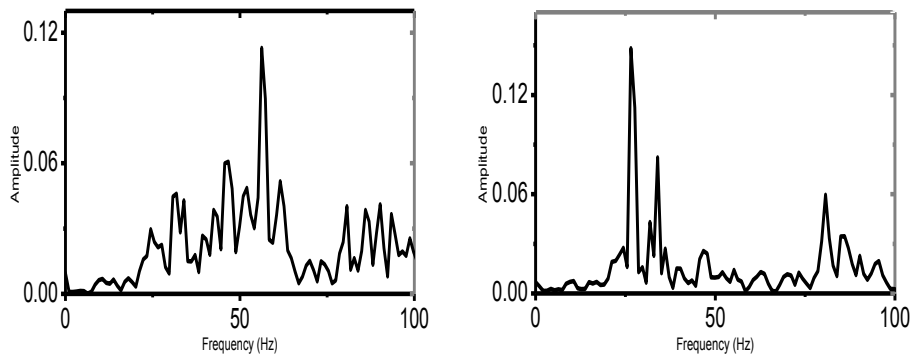


Рисунок 3 – АЧХ сейсмічних коливань, записаних сейсмоприймачем на ґрунті (а) і на конструкції опори (б) при вибуху №1.

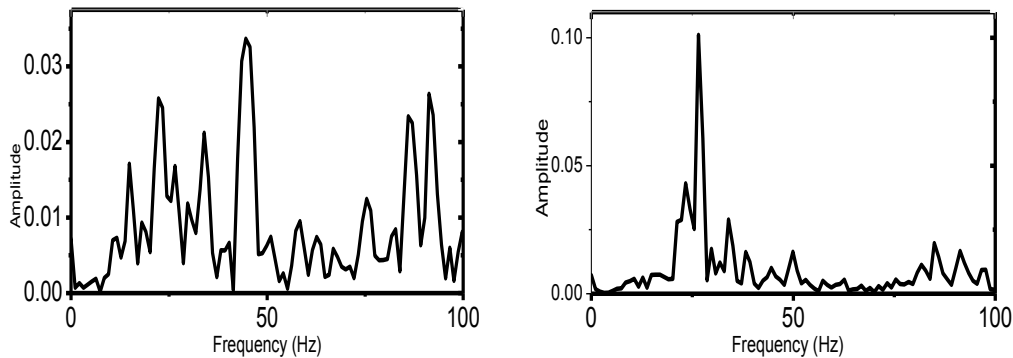


Рисунок 4 – АЧХ сейсмічних коливань, записаних сейсмоприймачем на ґрунті (а) і на конструкції опори (б) при вибуху №2.

При вибуху № 2 АЧХ сейсмічних коливань, зафіксованих в ґрунті в основі опори містить амплітудний максимум на частоті, яка є близькою до частоти власних коливань опори ЛЕП (22,5 Гц), тому проявився ефект резонансу між сейсмовибуховими хвилями та конструкцією опори ЛЕП, що призвело до збільшення швидкості коливань порівняно з швидкістю зміщення ґрунту в 1,22 рази.

Підземні трубопроводи (газопроводи) перевіряються на міцність в подовжньому напрямку. При цьому використовується метод граничних станів, сутність якого полягає в тому, що розглядається такий напружений стан трубопроводу, при якому подальша його експлуатація неможлива [10].

При розрахунку (перевірці) міцності трубопроводу враховуються такі навантаження і впливи:

1. Навантаження і впливи, що виникають при спорудженні, випробуванні та експлуатації трубопроводу (вони виражаються через поздовжні осьові напруги - МПа).
2. Навантаження від впливу сейсмічних сил (напруги, спрямовані уздовж поздовжньої осі трубопроводу,  $\sigma_{np} \cdot S$ , МПа).

До першої групи навантажень і впливів відносяться: робоче (нормативне) тиск продукту, що транспортується, температурний перепад у металі стінок труби, який

визначається як різниця між максимально або мінімально можливою температурою стінок при експлуатації і найменшою або найбільшою температурою, при якій фіксується розрахункова схема трубопроводу. До цієї групи відносяться навантаження і впливи, пов'язані з опадками і обдиманням ґрунту, зсувами, деформаціями земної поверхні в результаті гірничих робіт.

До другої групи навантажень і впливів відносяться сейсмічні сили, викликані землетрусами або вибуховими роботами. У цьому звіті досліджуються і враховуються сейсмічні дії, які можуть бути викликані масовими вибухами в Коціївському кар'єрі при його експлуатації [10,11].

Ступінь пошкодження трубопроводу від дії сейсмічних хвиль залежить від цілого ряду чинників: сили сейсмічної дії і напрямки поширення сейсмічних хвиль, геологічних і гідрогеологічних умов експлуатаційно-технологічних навантажень і впливів, конструкції трубопроводу і його стиків, характеристик матеріалу труб, ступеня зношеності трубопроводу [12].

Граничний стан магістрального підземного сталевго газопроводу ДККР буде характеризуватися нерівністю [10]

$$(\sigma_{np} \cdot N + \sigma_{np} \cdot S) \leq \psi_2 R_1, \quad (1)$$

де -  $\sigma_{np} \cdot N$  найбільші можливі напруги в трубопроводі від розрахункових експлуатаційних навантажень і впливів, МПа;  $\sigma_{np} \cdot S$  - найбільше можливе напруга в трубопроводі від сейсмозривних впливів, МПа;  $\psi_2$  - коефіцієнт враховує двовісне напружений стан металу труби, при розтягуючих осьових поздовжніх напругах, що відповідає значенню максимального позитивного температурного перепаду;  $R_1$  - розрахунковий опір металу труби (МПа).

Напруження в прямолінійних підземних магістральних газопроводах від дії сейсмічних сил, спрямованих уздовж поздовжньої осі газопроводу, визначаються за формулою [10]

$$\sigma_{np} = \frac{\pm 0,04 m_0 K_0 \cdot K_{II} \cdot a_c \cdot E_0 \cdot T}{V_p}, \quad (2)$$

де  $m_0$  - коефіцієнт защемлення газопроводу в ґрунті;  $K_0$  - коефіцієнт, що враховує відповідальність газопроводу;  $K_{II}$  - коефіцієнт повторюваності сейсмічної дії;  $a_c$  - сейсмічне прискорення ґрунту, см/с<sup>2</sup>;  $E_0$  - модуль пружності металу, МПа;  $T$  - переважаючий період сейсмічних коливань ґрунтового масиву, с;  $V_p$  - швидкість поширення об'ємної сейсмічної хвилі вздовж поздовжньої осі газопроводу, см/с;

Використовуючи умову сейсмостійкості підземного газопроводу та результати вимірювань параметрів СВХ в кар'єрі були обчислені сейсдобезпечної відстані які склали 550 м при максимально допустимій масі заряду 4000 кг

### Висновки

Було встановлено, що для підтримання сейсмостійкості охоронних об'єктів в результаті проведених досліджень можна рекомендувати допустиму швидкість зміщення ґрунту 3,0-6,0 см/с по сейсмічній шкалі для вибухів на приведеній відстані 10-16 м/кг<sup>1/3</sup>.

Згідно з проведеного аналізу частота 26,5 Гц є частотою власних (вільних) коливань конструкції опори ЛЕП. При проведенні вибуху № 2 спрацював ефект резонансного явища

між СВХ і конструкцією опори, що призвело до збільшення швидкості коливання в порівнянні з швидкістю зміщення ґрунту в 1,22 рази.

Використовуючи умову сейсмостійкості підземного газопроводу та результати вимірювань параметрів СВХ в кар'єрі були обчислені сейсдобезпечної відстані які склали 550 м при максимально допустимій масі заряду 4000 кг.

### Перелік посилань

1. Медведєв С.В. Сейсмика горных взрывов. М.:Недра – 1964. – 188с.
2. Мосинец В.П. Дробящее и сейсмическое действие взрыва в горных породах /В.П. Мосинец – М.:Недра, 1976. – 271с.
3. Цейтлин Я.И. Сейсмические и ударные воздушные волны промышленных взрывов / Я.И. Цейтлин, Н.И. Смолий – М.: Недра, 1981. – 192с.
4. Кузьменко А.А. Сейсмическое действие взрыва в горных породах / А.А. Кузьменко, В.Д. Воробьев, И.И. Денисюк и др. – М.: Недра, 1990 – 173с.
5. Богацкий В. Ф. Сейсмическая безопасность при взрывных работах / В. Ф. Богацкий, В. Х. Пергамент. – М. : Недра, 1978. – 128 с.
6. Единые правила безопасности при взрывных работах. – К. : Норматив, 1992. – 171 с.
7. ДСТУ 4704:2008. Проведення промислових вибухів. Норми сейсмічної безпеки. – Вид.офіц. – К.: Держспоживстандарт України, 2009 – 11 с.
8. Воробьев В.Д. Исследование сейсмостойкости охраняемых объектов при взрывах на карьерах / В.Д. Воробьев, Л.И. Демещук, В.Н. Кобасов и др. // Вісник НТУУ «КПІ». Серія «Гірництво»: Зб. наук. праць. – К.: НТУУ «КПІ». – 2007. – Вип. 15. – С.30-36.
9. Рулев Б. Г. Динамические характеристики сейсмических волн при подземных взрывах / Б. Г. Рулев // Сборник. Взрывное дело. – 1968. – № 64/21. – С. 109 – 158.
10. Айнбиндер А. Б. Расчет магистральных и промысловых трубопроводов на прочность и устойчивость / А. Б. Айнбиндер // Справочное пособие. – М. : Недра, 1991. – 287 с.
11. СНиП 2.05.06 – 85. Магистральные трубопроводы. – М. : Стройиздат, 1977. – 59 с.
12. Юсупов А. Влияние срока эксплуатации на сейсмическую уязвимость подземных трубопроводов / А. Юсупов // Проблемы механики. – 2007. – С. 78 -80.

Шабельник І. Ю., студ., Сергієнко М. І., ст. викл.

## ПРОБЛЕМА УТИЛІЗАЦІЇ МЕДИЧНИХ ВІДХОДІВ

Переробка та утилізація медичних відходів являється надзвичайно актуальною та складною проблемою. Кількість і склад відходів, які утворюються у лікувально-профілактичних закладах, коливаються залежно від рівня розвитку країни, від типу медичного закладу, від системи управління відходами, від рівня екологічної свідомості персоналу і суспільства загалом.

За даними Міністерства охорони здоров'я, склад твердих відходів, що утворюються у лікувально-профілактичних закладах приблизно однаковий (рис. 1). Основну частину твердих відходів становлять відходи, за складом аналогічні до побутових. Типовий склад твердих побутових відходів, що утворюються у медичних закладах, наведений на рис. 2. Медичні заклади створюють ~1% всіх твердих побутових відходів.

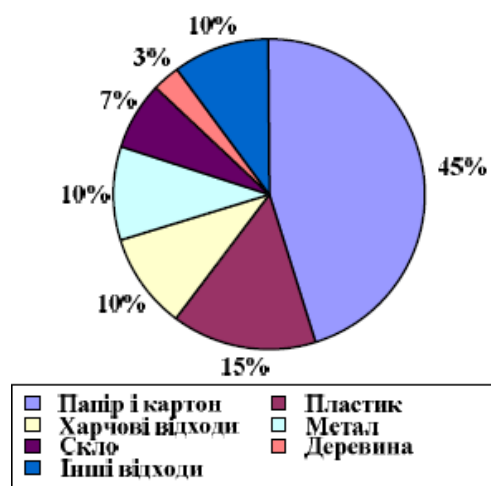
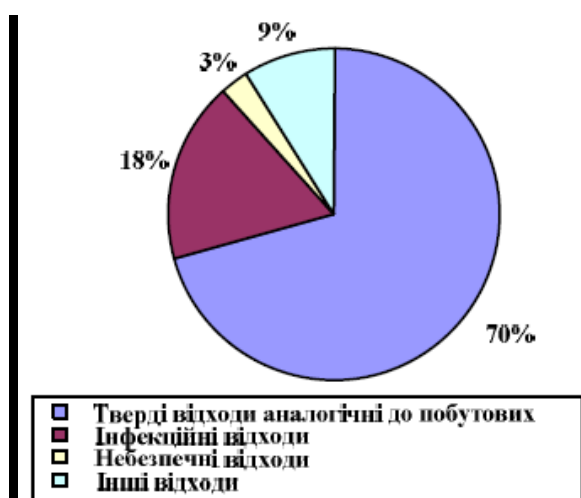


Рис. 1. Типовий склад твердих відходів лікарень

Рис. 2. Типовий склад твердих побутових відходів лікарень.

Інфекційні відходи усіх лікувально-профілактичних закладів теж приблизно однакові і мають подібну структуру (рис. 3). Кількість медичних відходів, яка утворюється щодня під час обслуговування одного пацієнта, залежить від типу лікувально-профілактичного закладу і в середньому становить у розвинутих країнах світу (США, Японія, Швеція):

Лікарні	3,2 кг/пацієнт/день
Поліклініки	2,3 кг/пацієнт/день
Приватні санаторії	1,4 кг/пацієнт/день
Лабораторії	0,2 кг/пацієнт/день

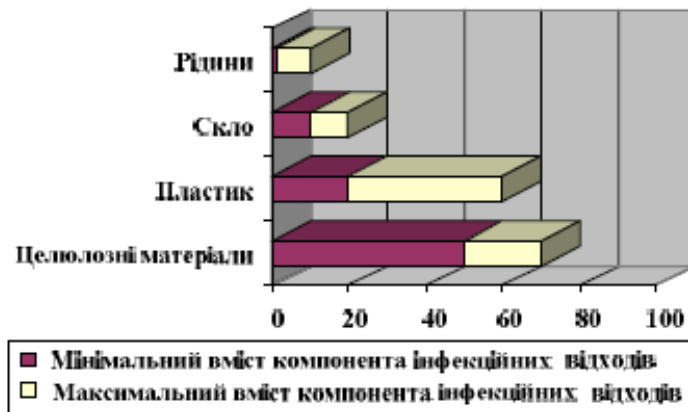


Рис. 3. Типовий склад інфекційних відходів, %.

Єдиної офіційної класифікації відходів, що утворюються у лікувально-профілактичних закладах не існує, тому кожна країна класифікує відходи по-різному (табл. 1).

Таблиця 1

**Класифікація медичних відходів у Швеції, Польщі та Україні**

Швеція	Польща	Україна
<p>Всі відходи ділять на дві основні групи:</p> <p>1) інертні:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- побутове сміття;</li> <li>- папір;</li> <li>- пластики;</li> <li>- метали;</li> <li>- біле скло;</li> <li>- прозоре скло;</li> <li>- громіздкі відходи;</li> <li>- батарейки.</li> </ul> <p>2) небезпечні:</p> <p>До небезпечних зараховують всі відходи, які володіють такими властивостями:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- токсичні;</li> <li>- канцерогенні;</li> <li>- мутагенні;</li> <li>- екотоксичні;</li> <li>- інфекційні;</li> <li>- легкозаймисті.</li> </ul>	<p>Відповідно до чинних Санітарних правил, відходи медичних закладів поділяються на:</p> <p>1) аналогічні до побутових;</p> <p>2) специфічні медичні відходи:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- анатомічні відходи;</li> <li>- відходи, що містять кров і рідини тіла;</li> <li>- хімічні відходи;</li> <li>- фармацевтичні відходи;</li> <li>- інфекційні відходи.</li> </ul> <p>3) спеціальні медичні відходи:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- радіоактивні відходи;</li> <li>- відходи, що містять важкі метали.</li> </ul>	<p>Залежно від профілю медичного закладу відходи мають різний склад і поділяються на п'ять класів:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) безпечні;</li> <li>2) небезпечні;</li> <li>3) надзвичайно небезпечні;</li> <li>4) відходи, що за складом близькі до промислових;</li> <li>5) радіоактивні відходи.</li> </ol>

В Україні сьогодні акумульовано 5 млрд. м<sup>3</sup> токсичних та високотоксичних відходів, з яких 20% є надзвичайно небезпечними для довкілля. Об'єм накопичених твердих відходів становить більше 20 млрд. м<sup>3</sup>. За офіційною статистикою, їх переробка може тривати 25–30 років.

Оскільки медичні відходи належать до небезпечних, то вони частково відображають поведінку з небезпечними компонентами медичних відходів, таких, як хімічні речовини, що

використовуються у медицині, відходи, що містять важкі метали, та інші окремо зібрані компоненти відходів.

Прогнозовані кількості утворення інфекційних медичних відходів наведено на рис. 4.

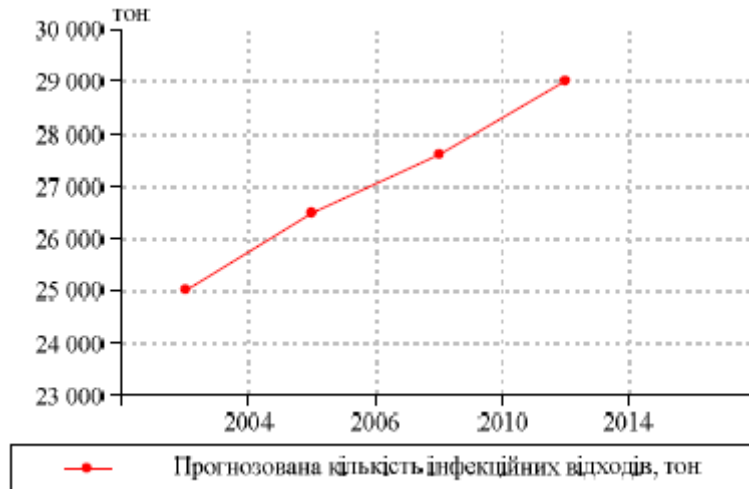


Рис. 4. Прогнозована кількість інфекційних медичних відходів.

Утворення і знешкодження небезпечних відходів на території України зображено на рис.5.



Рис. 5. Динаміка утворення і знешкодження небезпечних відходів на території України

Проаналізувавши рис. 5, зрозуміло, що більше ніж половина токсичних відходів, що утворюються в Україні, залишаються на території підприємств і ніяк не знешкоджуються. А це просто не може не чинити негативного впливу на довкілля і здоров'я населення. За даними Держкомстату України динаміка зміни кількості медичних закладів (лікарень і амбулаторно-поліклінічних закладів) має різний характер. Кількість лікарняних закладів щороку зменшується, але зростає кількість амбулаторно-поліклінічних закладів. У кількості лікарських закладів, що надають амбулаторно-поліклінічну допомогу населенню, ураховано всі медичні заклади, що ведуть амбулаторний прийом (поліклініки, амбулаторії, диспансери, поліклінічні відділення лікарняних закладів, лікарські пункти охорони здоров'я тощо).

На основі опитування працівників різних медичних закладів було встановлено, що кількість відходів, які утворюються в лікарні, становить приблизно 2 кг відходів з одного лікарняного ліжка за добу і приблизно 0.2 кг відходів припадає на кожного пацієнта амбулаторно-поліклінічних закладів, можна розрахувати приблизну загальну кількість медичних відходів, що утворюються на території України. Якщо врахувати, що кількість

інфекційних відходів, які утворюються у медичних закладах, становить 0,3 кг з кожного лікарського ліжка за добу (з урахуванням амбулаторно-поліклінічних закладів), можна отримати кількість інфекційних відходів, що утворюються щороку в Україні. Отримані результати можна подати у вигляді рис. 6.

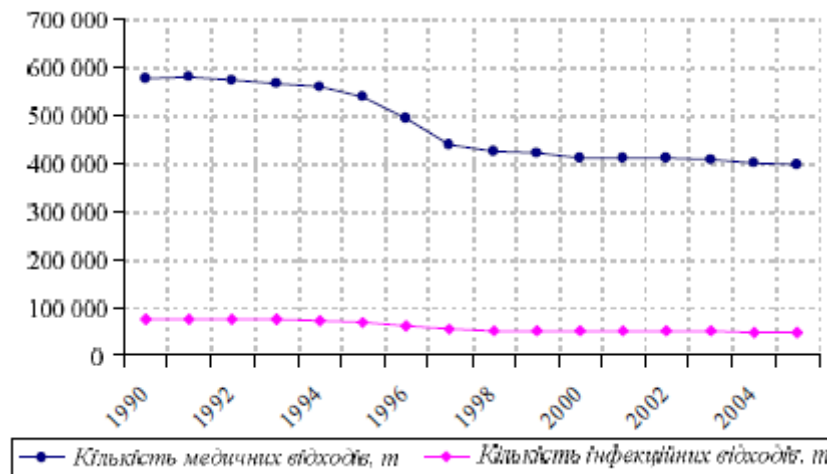


Рис. 6. Динаміка зміни кількості медичних відходів в Україні.

Проаналізувавши рис. 6, зрозуміло, що загальна кількість медичних і інфекційних відходів, зокрема, різко скорочується щороку. Причиною скорочення відходів не є їх мінімізація у джерелі утворення, а різке зменшення кількості населення, що проживає на території України (смертність переважає народжуваність, масовий виїзд громадян України на заробітки за кордон), зменшення кількості стаціонарних медичних закладів за рахунок зростання кількості амбулаторно-профілактичних закладів.

Отже, реальна кількість медичних відходів насправді не зменшується, а зростає їхня частка у твердих побутових відходах. Є підстави вважати, що реальна кількість медичних відходів може бути вдвічі більшою від розрахованої.

### Література:

1. Бернадинер І.М. Термическое знешкодження медичних відходів у Москві // Екологія і промисловість Росії. 2004. Август.
2. Кулагин Ю.О., Пальгунов П.П., Сериков Р.И. та інших. Дослідження й розробка комплексу на переробку інфікованих, токсичних і медичних відходів медичної служби ЗС РФ з урахуванням ГВК Тим.Н. М. Бурденка // НТО Мосводоканал НІІІ проект. М.: Мосводоканал НІІІ проект. 1996. № 10.
3. Бернадинер М. Н., Шуругин О.П. Вогнева переробка й знешкодження твердих побутових відходів. М.: Хімія, 1990.
4. Абрамов В.М. Видалення відходів лікувально-профілактичних установ. М.: Материк, 1998.
5. Сульдимирова В. Г., Зайцев О.М., Малишев НА та інших. Організація збирання клінічних відходів як із методів попередження внутрілікарняного інфікування // Здоров'я населення Криму і середовище проживання. 1996. № 6.
6. Лисичкин В.А., Шелепін Л. А, Боїв Б.В. Захід цивілізації чи рух до ноосфери // Екологія різнобічно. М.: ІЦГ Гарант, 1997.
7. Литвин В.Ю., Гинцбург О.Л., Пушкарьова В.І., Романова Ю.М., Боїв Б.В. Епідеміологічні аспекти екології бактерій. М.: Фармарус-принт, 1997.

УДК 628.35: 556.115



Садова Ю.М., Матасова О.О., Дичко А.О.

## ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДІВ ДЕСТРУКЦІЇ АКТИВНОГО МУЛУ

*Досліджено стічні води та мікроорганізми активного мулу станції очисних споруд з метою інтенсифікації процесу очищення промислово-побутових стічних вод з використанням деструкції біомаси. Застосування методів деструкції активного мулу у біологічній очистці стічних вод дозволяє підвищити ефективність вилучення забруднень та зменшити приріст біомаси.*

*Ключові слова: стічні води, активний мул, органічні речовини, деструкція біомаси, регенерація, пероксид водню.*

*Исследованы сточные воды и микроорганизмы активного ила станции очистных сооружений с целью интенсификации процесса очистки промышленно-бытовых сточных вод с использованием деструкции биомассы. Использование методов деструкции активного ила при биологической очистке сточных вод позволяет повысить эффективность извлечения загрязнений и уменьшить прирост биомассы.*

*Ключевые слова: сточные воды, активный ил, органические вещества, деструкция биомассы, регенерация, пероксид водорода.*

*Sewage and sludge microorganisms of wastewater treatment station in order to intensify the industrial and domestic wastewater treatment using biomass degradation were researched. Use of degradation of the activated sludge in biological wastewater treatment improves the pollution extraction efficiency and reduces biomass growth.*

*Key words: waste water, activated sludge, organic matter, destruction of biomass, regeneration, hydrogen peroxide.*

Вступ. Зростання міст, бурхливий розвиток промисловості, інтенсифікація сільського господарства, значне розширення площ зрошуваних земель, поліпшення культурно-побутових умов і ряд інших чинників все більше ускладнюють проблеми забезпечення водою. Загальна тенденція щодо погіршення ситуації з питною водою спонукає людство приділяти дедалі більшу увагу водоочисним технологіям. Проте цей процес неможливо розглядати як панацею, оскільки збільшення забруднюючих речовин, ускладнення їх хімічних сполук призводить до подорожчання водоочисних технологій.

Побутові та виробничі води містять значну кількість органічних речовин, які можуть загнивати, а також хімікати що є дуже небезпечними для людей та біоти. Під очищенням стічних вод мається на увазі їхня обробка різними методами з метою руйнування або вилучення з них мінеральних і органічних речовин до ступеня, що дозволяє скидати ці води у водойми і водотоки або повторно використовувати їх для виробничих та інших цілей [1].

Поширеними способами підвищення ефективності процесу біохімічного очищення стічних вод є попередня їх підготовка чи обробка; регулювання значень основних факторів очищення стоків; конструкційні зміни у біологічних реакторах; контроль за коливанням кількості активного мулу; покращення процесів нітрифікації/денітрифікації; використання коагулянтів, флокулянтів, сорбентів та інших активуючих речовин; вплив на мікроорганізми магнітного, електричного полів та ультразвуку; використання систем автоматичного управління та контролю біохімічним процесом; хімічний мутагенез та ін.

**Завдання та мета дослідження.** Метою дослідження є обґрунтування та розробка технології аеробного очищення стічних вод на базі експериментального дослідження процесу з використанням механічної, термічної та хімічної деструкції активного мулу.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- виявити особливості існуючих методів і технологій очищення стічних вод;
- дослідити ефективність очищення стічних вод від ХСК при застосуванні методів деструкції біомаси;
- розробка технології аеробного очищення стічних вод на базі експериментального дослідження процесу з використанням хімічної деструкції активного мулу.

**Результати дослідження.**

Для визначення складу стічних вод потрібно проведення великої кількості різноманітних аналізів - хімічних, фізико-хімічних, санітарно-бактеріологічних. Основними завданнями, які розв'язуються на основі аналізів, є:

- оцінка санітарно-токсикологічного стану стічних вод;
- визначення придатності стічних вод для конкретного виду споживання, ступеня і характеру забруднення стічних вод;
- пошук способу очищення води, а також визначення методів управління процесами очищення стічних вод і контроль роботи споруд;
- оцінка ефективності роботи окремих споруд і технологічної схеми очищення стічних вод в цілому;
- контроль стану водойми.

Існуючі очисні споруди з біохімічного очищення стічних вод мають ряд істотних недоліків, такі як недостатня ефективність очищення через збільшення кількості і концентрацій забруднюючих речовин; утворення значних об'ємів осадів; витрата великої кількості енергії та коштів при експлуатації; значні витрати часу на очищення; забудова великих територій під споруди та ін.

Інтенсифікація біохімічного очищення сприяє видаленню органічних речовин в середньому на 60...90% (БСК – 50...99%, ХСК – 55...93%, амонійного нітрогену – 35...99%), покращенню седиментаційних властивостей активного мулу, зменшенню на 30...80% його надлишку і на 50% мулового індексу та розширенню спектру забруднень, що видаляються.

Проведені експериментальні дослідження щодо можливості застосування методів деструкції активного мулу та їх вплив на очищення стоків. Були проаналізовані наступні методи деструкції: термоліз, застосування механічного дезінтегратора, руйнування біомаси шляхом окислення пероксидом водню.

Значна частина проведених досліджень показала, що концентрація завислих речовин та сухого залишку має низькі та допустимі значення. Ці дані свідчать про те, що активний мул в заданих умовах досліджень являється придатним для ефективного очищення забруднюючих речовин у стічних водах.

Результати експериментів показали, що ефективність очищення за ХСК становить:

- при застосуванні термолізу – 77% (без інтенсифікації - 85%);
- при застосуванні механічної дезінтеграції 93%, (без інтенсифікації - 91%);
- при застосуванні хімічної дезінтеграції 94% (тоді як без інтенсифікації - лише 88%).

Гідробіологічні дослідження показали, що в біореакторах працює так званий «біоконвеєр»: від бактерій, дрібних джгутикових, інфузорій до коловерток, черв'яків та інших організмів, за допомогою якого ефективно очищується стічна вода від органічних забруднень і регулюється чисельність популяцій гідробіонтів – біологічних очисників води.

Таким чином, порівнюючи вплив на ефективність видалення ХСК, азоту та фосфатів із стоків при застосуванні деструкції мулу, можна зробити висновок, що хімічна та механічна

дезінтеграція дає досить високі результати по зменшенню досліджуваних показників. На основі обробки даних, отриманих після проведення експериментів, можна підтвердити, що деструкція частини активного мулу внаслідок хімічної та механічної дезінтеграції виявилися досить ефективним способом підвищення якості очищення стічних вод. Адже, крім підвищення видалення ХСК до 94%, відбуватиметься значно менший приріст надлишкової кількості активного мулу в порівнянні з традиційними технологіями.

При розробці схеми відведення та очищення поверхневих стічних вод в залежності від конкретних умов (джерел забруднення, розмірів, розташування та рельєфу водозбірного басейну тощо) слід враховувати необхідність локалізації окремих ділянок виробничої території, на які можуть потрапляти шкідливі речовини, з відведенням стоку у виробничу каналізацію або після попереднього очищення в дощову каналізацію. У ряді випадків необхідно оцінювати доцільність роздільного очищення стоків з виробничих площ, що відрізняються за характером і ступенем забруднення території. Для очищення поверхневих стічних вод рекомендується передбачати прості в експлуатації і надійні в роботі споруди механічної та фізико-хімічного очищення. У всіх випадках слід застосовувати відстійні споруди. Локальне очищення виробничих стоків здійснюється на промислових підприємствах перед спуском їх у міську водовідвідну мережу.

Метод очищення та установки вибираються в залежності від характеристик стічних вод, особливостей цих установок та територій, на яких буде розташована очисна станція [2].

На основі проведених власних експериментальних досліджень, розроблено технологічну схему обробки стічних вод для інтенсифікації процесу біологічного очищення, яка відрізняється від існуючої тим, що в схему очищення включений процес регенерації активного мулу. Обробка біомаси активного мулу проводиться методом хімічної деструкції (окислення пероксидом водню), в результаті чого вивільняють ферменти, вітаміни та інші біологічно активні речовини із зруйнованих клітин мулу, що надходять в мулову суміш і, тим самим збільшують і посилюють біотрансформацію забруднюючих речовин у стоках, що забезпечує високу ступінь очищення і скорочення тривалості процесу, ніж при використанні необробленого активного мулу. Процес деструкції активного мулу здійснюється в регенераторі з обробкою частини активного мулу розчином пероксиду водню, інша частина залишається в первісному стані. Регенерована біомаса завантажується в аеротенк зі стічними водами. За допомогою цього видаляються з води домішки біологічного походження, гумусові речовини, молекулярні органічні речовини, фосфати та інші. Як було показано в роботі [3], під впливом пероксиду водню швидкість переважної більшості окислювально-відновних хімічних реакцій зростає, що призводить до інтенсифікації біохімічної очистки стічних вод. Технологічна схема процесу, в який включена регенерація біомаси шляхом окислення пероксидом водню, представлена на рис 1.

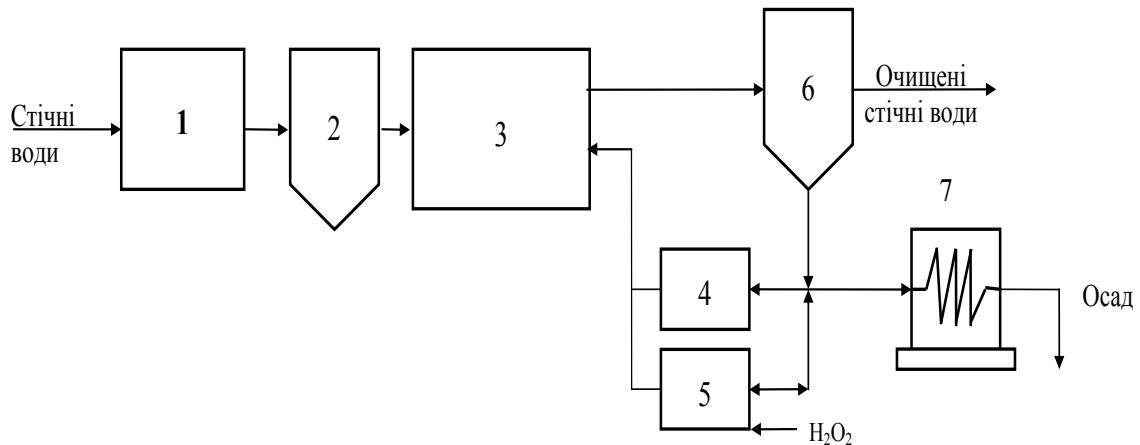


Рисунок 1 - Схема аеробного очищення промислових стоків:  
 1 – усереднювач, 2 - відстійник, 3 - аеротенк, 4 - регенератор мулу, 5 - регенератор мулу, обробленого  $H_2O_2$ , 6 - вторинний відстійник, 7 - ущільнювач мулу

За розробленою технологією мул з регенераторів (5) попередньо обробляється 35%-ним розчином перексиду водню.

**Висновки.** Розроблена технологія дозволить вирішити проблеми, пов'язані з поліпшенням екологічного стану навколишнього середовища, підвищити ефективність роботи очисних споруд (установок). Насамперед, це важливо для заводів, які мають незначну земельну площу для очисних споруд. Впровадження даної технології дозволить підвищити ефективність очищення стоків до 94%, а також зменшити витрати електроенергії на аерацію в 2-2,5 рази.

**Список використаної літератури.** 1. Канализация. Учебник для вузов. Изд. 5-е, перераб. и доп., / Яковлев С. В., Карелин Я. А., Жуков А. И., Колобанов С. К. - Москва: Стройиздат, 1975. - 632 с.

2. Богданов М.В. Використання міських стічних вод для технічного водопостачання: Оглядова інформація. - М.: НДІ економіки та житлово-комунального господарства АКХ ім. К.Д. Памфілова, 1992. - 44 с.

3. 138. Kim Y. Untersuchungen zur Stickstoffelimination von Industrieabwassern in einem Schwebbett-Bioreaktor mit Wasserstoffperoxid / Y. Kim // WasserAbwasserPraxis. – 1998. – Т.7, № 1. – Р. 33 – 35.

УДК 661:665.7

**І.В. Роїк, О.В. Кофанова**  
**ВИЗНАЧЕННЯ ФІЗИКО-ХІМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ АВТОМОБІЛЬНИХ**  
**БЕНЗИНІВ З ПРИСАДКАМИ**

**И.В. Роик, Е.В. Кофанова**  
**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА**  
**АВТОМОБИЛЬНЫХ БЕНЗИНОВ С ПРИСАДКАМИ**

**I.V. Roik, O.V. Kofanova**  
**DETERMINATION OF PHYSICAL AND CHEMICAL PARAMETERS OF**  
**AUTOMOBILE GASOLINE WITH ADDITIVES**

У сучасному світі наявність і доступність паливно-енергетичних ресурсів, ефективність їх використання певною мірою визначають сталий розвиток і енергетичну безпеку – важливу складову національної безпеки. Зростання світових потреб в паливі та енергії при існуючих ресурсних та екологічних обмеженнях зумовлює необхідність своєчасної підготовки нових енергозберігаючих технологій, здатних стабілізувати споживання органічного палива.

Якість автомобільного бензину визначається цілим рядом показників, у тому числі такими, як величина октанового числа, фракційний склад, наявність шкідливих домішок та ін. У свою чергу, використання палив низької якості призводить до порушення процесу підготовки паливо-повітряної суміші та погіршення режиму її згорання. У свою чергу, це спричиняє: зменшення об'єму камери згорання за рахунок утворення відкладів на поршнях, стінках циліндрів і клапанах двигуна; забруднення і засмічення паливної апаратури (карбюратора, інжектора, форсунок дизельного двигуна і т.д.); зниження повноти згорання, підвищення токсичності викидів і надмірної витрати палива тощо.

Одним із способів, що дозволяє покращити екологічність автомобільного транспорту як основного джерела забруднення атмосфери міст та підвищити надійність експлуатації двигунів внутрішнього згорання (ДВЗ) є введення присадок до вуглеводневого палива. Таким чином, в ОКБ «Шторм» ГНДЛ «Реактор» за участі кафедри інженерної екології було підбрано ряд присадок до вуглеводневого палива, до складу якої увійшли суміш іоногенних та неіоногенних поверхнево-активних речовин та антиоксиданти різної хімічної природи (просторово-екрановані фенол, алкілфенол та бісфенол, алкілфенольна основа Манніха, а також антиоксидант класу ароматичних амінів).

Основною вимогою до застосування присадок є відповідність палива з вмістом домішок стандартним значенням. Визначення відповідності фізико-хімічних властивостей бензину А-80 з присадкою нормам ДСТУ 4063-2001 проводилися згідно зазначених у ньому відповідних методик визначення показників. Результати лабораторних визначень деяких показників (густина, концентрації фактичних смол, кислотності тощо) наведені у табл.

Таблиця – Відповідність основних показників якості бензинів вимогам стандарту

Назва показника	Вміст присадки, % (об.)					Метод визначення
	Без присадки	0,1	0,15	0,2	Значення за ДСТУ	
Густина за температури 20 °С, кг/м <sup>3</sup>	708,2	708,3	708,4	708,4	700-760	ГОСТ 3900-85
Концентрація фактичних смол, мг /100 см <sup>3</sup> бензину	2,0	2,2	2,4	2,5	<5	ГОСТ 1567-97
Кислотність, мг КОН на 100 см <sup>3</sup> бензину	0,05	0,047	0,044	0,041	< 3	ГОСТ 5985-79
Випробування на мідній пластинці	+	+	+	+	Витримує	ГОСТ 6321-92

Отримані результати підтверджують можливість застосування даних присадок до бензинів. Проводиться комплекс стендових випробувань ДВЗ щодо визначення впливу присадок різної хімічної природи на склад відпрацьованих газів та витрату палива тощо.

УДК 539.375:622.35

К.К. Ткачук, Т.В. Гребенюк

**ДОСВІД ВИКОРИСТАННЯ ЗАОЩАДЛИВОГО СТАТИКО-ДИНАМІЧНОГО  
МЕТОДУ ВІДКОЛУ КАМ'ЯНИХ БЛОКІВ**

*Метод контролюваного навантаження – спочатку статичного навантаження і на його тлі – прикладання динамічного імпульсу дозволяє майже вдвічі збільшити відстань між джерелами навантаження в порівнянні зі статичною дією, значно понизити рівень динамічного навантаження, а отже, відчутно зменшити небезпеку пошкодження моноліту мікротріщинами.*

*Ключові слова: кам'яний блок, шпур, навантаження, напружений стан, тріщиноутворення, статико-динамічний метод.*

**ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭКОНОМНОГО СТАТИКО-ДИНАМИЧЕСКОГО  
МЕТОДА ОТКОЛА КАМЕННЫХ БЛОКОВ**

*Метод контролируемой нагрузки - сначала статичной нагрузки и на ее фоне - прикладывание динамического импульса позволяет почти вдвое увеличить расстояние между источниками нагрузки по сравнению со статическим действием, значительно снизит уровень динамической нагрузки, а следовательно, ощутимо уменьшит опасность повреждения монолита микротрещинами.*

*Ключевые слова: каменный блок, шпур, нагрузка, напряженное состояние, трещинообразование, статико-динамический метод.*

**BLOCKS STONE DESTRUCTION STATIK-DYNNAMIC ECONOMICAL METHOD USE  
EXPERIENCE**

*Method of the controlled loading - at first static loading and on his background - the appendix of dynamic impulse allows almost twice to increase distance between the sources of loading as compared to a static action, considerably to bring down the level of the dynamic loading, and thus, perceptibly to decrease the danger of damage of monolith cracks formation.*

*Key words: block stone, borehole, loading, stressed state, crack formation, static dynamic method.*

**Вступ**

Проведені в останні роки пошукові проектно-конструкторські роботи в НТУУ "КПІ", а також в інституті механіки ім. С.П.Тимошенка НАН України і пов'язані із створенням сучасних технологій видобутку гранітних блоків дозволили намітити як один з перспективних шляхів створення пристроїв для утворення направлених тріщин в свердловинах за допомогою штока з конусом і гвинтовою різьбою [1], або створення агрегатів з гумовими пружними елементами для отримання в шпурах значних статичних навантажень [2].

**Завдання та мета дослідження**

Для перевірки працездатності створеного обладнання та ефективності статико-динамічної технології видобутку гранітних блоків в реальних промислових умовах були проведені досліді по розколу блоків лабрадориту на кар'єрі «Пратпентроїмпекс» Сосниківського родовища. Міцнісна характеристика лабрадориту  $\sigma_p = 40$  МПа.

При проведенні експерименту використовувались блоки лабрадориту наступними параметрами: висота 0,9–1,1 м; ширина 1,0–1,2 м; довжина 2,1–2,7 м.

Поперек блоків на глибину 0,6 м були пробурені шпури діаметром 40 мм з кроком 170–200 мм.

Для створення в шпурах попереднього статистичного навантаження були застосовані агрегати з пружними гумовими елементами [2]. Агрегати мали активну довжину 250 мм і при створенні статистичного навантаження розвивали в шпурах тиск порядку 29-30 МПа, який фіксувався за допомогою гідравлічного динамометричного гайкового ключа [3], що згідно з розробленими автором вимогами складає порядку 75% від міцності породи. Зазначений тиск створював в шпурі розривне зусилля 100-110 кН (10-11 тс).

Динамічне навантаження в шпурах отримувалось за допомогою хімічних генераторів тиску (піропатронів «Літокол»), які мали різну потужність.

Після кожного експерименту фіксувалась отримана відстань між половинами розколотого блоку, так як саме цей технологічний параметр повинен забезпечити одразу після розколу можливість завести трос за допомогою підйомально-транспортних машин завантажити блоками автотранспорт.

В таблиці 1 наведені варіанти схем розташування шпурів з статичним і динамічним навантаженням.

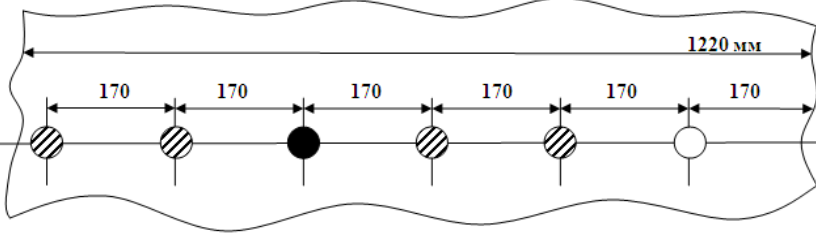
Для першого варіанту експерименту був обраний блок довжиною 2,1 м, шириною 1,02 м та висотою 0,9 м. Поперек блоку були пробурені п'ять шпурів діаметром 40 мм і глибиною 0,6 м.

Навантаження шпурів здійснювалося симетрично відносно вісі блоку (два шпури з динамічним і три шпури зі статичним навантаженням). Статичне навантаження становило порядку 29,5 МПа, а динамічне навантаження здійснювалося за рахунок підриву двох піропатронів «Літокол» ГТХ- 50.

Таблиця 1

№ п/п	Схема розташування шпурів	Статичний тиск в шпурі	Маса та тип піропатрону	Отримана відстань між половинами блоку
1		29,5 МПа ( $\sigma_p=40$ МПа)	ГТХ-50	190 мм
2		30 МПа ( $\sigma_p=40$ МПа)	ГТХ-50	140-230 мм



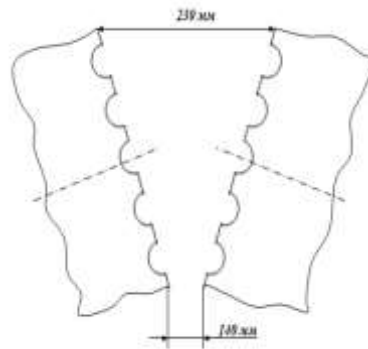
3		30,5 МПа ( $\sigma_p=40$ МПа)	ГТХ- 100	460 мм
---	--	-------------------------------------	-------------	--------

Після прикладання динамічного навантаження і розколу блоку відстань між половинами блоку становила 190 мм, що зі значним запасом достатньо для заведення тросу і використання підйомально-транспортних машин.

Для другого варіанту експериментів був використаний блок довжиною 2,3 м, шириною 1,04 м і висотою 1,1 м. Розташування п'яти шпурів (два з динамічним і три зі статичним навантаженням) було несиметричним відносно вісі блоку.

Статичне навантаження становило 30 МПа, а динамічне навантаження здійснювалося за рахунок підриву двох піропатронів «Літокол» (ГТХ-50) з мінімальною енергією вибуху.

Отримана відстань між половинами блоку становила 140-230 мм (див. рис.1).



*Рисунок 1. Формування тріщини розколу блоку при несиметричному розташуванні статичного і динамічного навантаження шпурів відносно вісі блоку.*

Третій варіант експерименту проводився з блоком довжиною 2,7 м, висотою 1,0 м, шириною 1,22 м. Поперек блоку було пробурено шість шпурів діаметром 40 мм і глибиною 0,6 м.

Чотири шпури були навантажені статичними тиском 30,5 МПа, один шпур мав динамічне навантаження, а шостий крайній шпур грав роль тільки концентратора напружень (див. схему в табл.1).

Слід зазначити, що динамічний імпульс в третьому варіанті експерименту забезпечувався більш потужним піропатроном «Літокол» (ГТХ-100).

В цьому експерименті після розколу була отримана максимальна відстань між половинами блоку, яка дорівнювала 0,46 м. Така значна відстань дозволяє зробити висновок, що використаний піропатрон «Літокол» (ГТХ-100) мав дуже великий запас по енергії вибуху.

Якість площини розколу у всіх перерахованих випадках відповідала вимогам якості.

Послідовність виконання окремих технологічних операцій статико-динамічного методу видобутку гранітних блоків (перший варіант, див. табл.1) представлена на рис.2–5.



*Рисунок 2. Технологічне обладнання для статико-динамічного методу.*



*Рисунок 3. Загальний вигляд агрегатів після досягнення статичного тиску порядку 30МПа.*



*Рисунок 4. Підключення електромережі до піропатрону «Літокол».*



*Рисунок 5. Загальний вигляд блоку, розколотого статико-динамічним методом.*

### **Результати**

Застосування малогабаритних агрегатів тиску [1,2] з масою до 3кг забезпечує на практиці створення високих статичних навантажень в шпурах і виключає електротравматизм або вплив природної тріщинуватості породи на роботу агрегату. Проведені розрахунки та експерименти показали, що такі агрегати здатні створити в шпурах статичний тиск до 40МПа, що цілком достатньо для видобутку гранітних блоків. Перспективним також слід вважати застосування для приводу таких агрегатів сили м'язів рук робітника, що має забезпечити невелику масу такого технологічного устаткування, простоту конструкції та безпеку експлуатації.

Після прикладання статико-динамічного навантаження на гірський масив було отримано відкол блоку, та доведено, що поєднання методів контрольованого навантаження – спочатку статичного навантаження і на його тлі – прикладання динамічного імпульсу дозволяє майже вдвічі збільшити відстань між джерелами навантаження в порівнянні зі статичною дією, значно понизити рівень динамічного навантаження, а отже, відчутно зменшити небезпеку пошкодження моноліту мікротріщинами.

### **Висновки:**

1. Підтверджена працездатність агрегатів, що гарантує його використання для статико-динамічної технології видобування блочного каменю, що підтверджується актами впровадження.
2. Попереднє статистичне навантаження частини шпурів статистичним тиском, забезпечило формування якісної площини розколу блоків, параметри якої повністю відповідають вимогам стандарту.
3. Статико-динамічний метод дозволив збільшити відстань між шпурами, тим самим зменшити затрати на буріння шпурів.
4. Ефективність розробленого технологічного обладнання та запропонованого статико-динамічного методу видобутку кам'яних блоків перевірена в реальних виробничих умовах на гранітному кар'єрі.

ЛІТЕРАТУРА

1. Патент 69699 UA, МПК E21C, 37/04. Пристрій для утворення направлених тріщин в свердловинах/ П.З. Луговий, К.К. Ткачук, Т.В. Гребенюк, С.П. Орленко, опубл. 10.05.2012, Бюл. № 9.
2. Патент 71552 UA, МПК E21C, 37/10. Пристрій для розколу монолітних блоків/ К.К. Ткачук, К.Н. Ткачук, І.О. Фоменко, О.І. Фоменко, Т.В. Гребенюк, В.Г.Кравець, опубл. 10.07.2012, Бюл. №13.
3. Фоменко О.І. Підвищення ефективності технологічного процесу розколу гранітних блоків / О.І. Фоменко, К.К. Ткачук // Збірник наукових праць НТУУ «КПІ». Серія «Гірництво». К.: - 2009. - №18. – с.56-61.  
УДК 622.235

**В.П. Савчук**, здобувач, **Ткачук К.К.**, д.т.н., доц.

### **УДОСКОНАЛЕННЯ ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ КУБОВИДНОГО ЩЕБЕНЮ**

*Удосконалено енергозберігаючу технологію виготовлення кубовидного щебеню шляхом підвищення ефективності вибухового руйнування гірської маси, на основі створення у масиві керованої структури поля напружень з переважанням розтягуючої і зсувної складової, що реалізується за допомогою використання зустрічно спрямованого розвитку вибуху.*

*Ключові слова: вибух, гірська маса, дроблення, кубовидний щебінь, масив, поле напружень, схеми підривання, технологія.*

**В.П. Савчук**, соискатель, **Ткачук К.К.**, д.т.н., доц.

### **УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕЙ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КУБОВИДНОГО ЩЕБНЯ**

*Усовершенствована энергосберегающая технология изготовления кубовидного щебня путем повышения эффективности взрывного разрушения горной массы, на основе создания в массиве управляемой структуры поля напряжений с преобладанием напряжений растяжения и сдвига, что реализуется с помощью встречно направленного развития взрыва.*

*Ключевые слова: взрыв, горная масса, дробление, кубовидный щебень, массив, поле напряжений, схемы взрывания, технология.*

**V.P. Savchuk**, applicant, **Tkachuk K.K.**, doctor of technical sciences, docent

### **IMPROVING THE ENERGY SAVING TECHNOLOGY OF CUBIFORM RUBBLE MANUFACTURING**

*The energy saving technology of cubiform rubble manufacturing by increasing the efficiency of explosive destruction of rock mass and through the creation of a managed structure stress field in array with a predominance of tensile and shear stresses which is implemented using the oppositely directed blast was improved.*

*Key words: blast, rock mass, crushing, cubiform rubble, solid, stress field, blasting circuits, technology.*

**Вступ.** Найбільший об'єм при розробці нерудних будівельних матеріалів займає виробництво щебеню із скельних вивержених порід. Проте ці породи майже в два рази міцніші і абразивніші ніж породи осадового походження, а тому вимагають підвищених витрат енергії на вибухове руйнування при видобуванні та подальшій механічній переробці.

Нині потреба в щебені має тенденцію зростання, особливо у високоякісному щебені кубовидної форми. Потреба в такому щебені зумовлена будівництвом автомобільних доріг європейського рівня, злітних смуг аеродромів, основ для будівництва швидкісних залізниць та ін. Слід відзначити значні можливості України в сировинній базі для отримання такого щебеню. Проте отримання кубовидного щебеню супроводжується і значними витратами, пов'язаними як з розробкою родовища, так і механічною переробкою. Враховуючи це, єдиним ефективним методом розробки згаданих родовищ є вибуховий спосіб, до якого при виробництві кубовидного щебеню висуваються високі вимоги не лише в забезпеченні якісного дроблення, але і одночасно зниженні міцності кусків підірваної гірської маси.

На сучасному етапі розвитку підривних робіт це завдання залишається невирішеним, хоча це єдиний спосіб подальшого підвищення ефективності роботи подрібнювально-сортувального устаткування при виробництві кубовидного щебеню. У зв'язку з цим актуальним науково-практичним завданням є удосконалення технології вибухового

дроблення гірської маси на основі сучасних досягнень в області механізму руйнування гірських порід.

**Метою** роботи є удосконалення енергозберігаючої технології виготовлення кубовидного щебеню шляхом підвищення ефективності вибухового руйнування гірських порід.

**Результати дослідження.** Загальна задача оптимального управління вибухом полягає у виборі такого способу розміщення зарядів в масиві і режиму їх дії в часі, при якому б задовольнялися певні технічні і економічні критерії. Як математичний запис досліджуваних процесів була прийнята система рівнянь динаміки однорідного ізотропного пружного тіла. Основоположною, при цьому, була передумова, що структура лінійної деформації зумовлює в кореляційному сенсі параметри дроблення. В якості оптимальних розглядалися схеми підривання, що забезпечують оптимальність просторово-часової структури поля напружень. Показником останніх є критерійні функції, що набувають екстремальних значень у випадку, коли забезпечений достатній вихід енергії деформації і рівномірність її розподілу в об'ємі масиву і за часом. Пошук оптимальних схем підривання здійснювався як пошук точок екстремуму цільової функції в просторі регульованих параметрів. В залежності від ступеня складності задачі, точніше - керованої системи, доцільні і передбачені різні схеми пошуку - від простого перебору до випадкового крокового пошуку.

З метою встановлення закономірностей вибухового дроблення порід при різних схемах підривання було проведено лабораторні дослідження з дотриманням основних критеріїв подібності, що дозволило отримати досить об'єктивні і достовірні результати. Аналіз дослідження впливу режимів (схем) підривання свердловинних зарядів на процеси руйнування піщано-цементних блоків дозволив оцінити результати вибуху та показав, що в тих випадках, коли забезпечується рівномірний розподіл максимальних розтягуючих зусиль і напружень у трьох взаємно перпендикулярних площинах, досягається максимальне дроблення цього масиву з найбільш рівномірним розподілом гранулометричного складу підірваної гірської маси.

Фронт хвилі напружень при різному напрямі ініціації зарядів сусідніх свердловин в ряді має протилежний напрям по осі зарядів (рис.1). При підриванні свердловинних зарядів з однаковим напрямом ініціації має місце хвиля стискання. У той же час при підриванні свердловинних зарядів з різним напрямом ініціації - хвиля розрідження. Збільшення часу дії вибуху на масив, що руйнується, за рахунок переважання розтягуючої і зсувної складових, призводить до знеміцнення підірваної гірської маси.

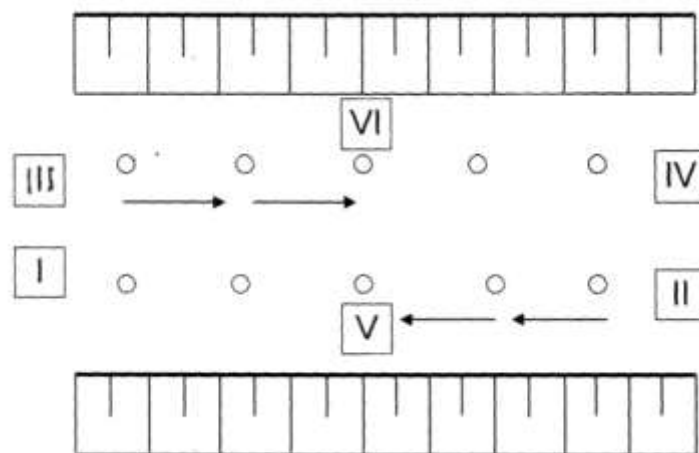


Рис. 1. Схема зустрічно-спрямованої ініціації рядів свердловинних зарядів: I - VI місця розташування датчиків; ———> - напрям розвитку вибуху

Встановлено, що висока ефективність різноспрямованої ініціації зарядів, яка дозволяє створити в масиві складно-напружений стан з переважанням розтягуючих і зсувних складових, сприяє як дробленню, так і знеміцненню підірваної гірської маси, що особливо важливо при подальшому механічному дробленні з метою виготовлення кубовидного щебеню.

Проведені промислові випробування по створенню керованої структури поля напружень у висаджуваному в повітря масиві підтвердили висновки теоретичних і лабораторних досліджень ефективності такого способу руйнування. У результаті проведених промислових вибухів із різноспрямованою ініціацією зарядів встановлена їх висока ефективність, що полягає у високоякісному дробленні при істотному (25-30 %) знеміцненні кусків гірської маси.

Усереднені результати лабораторного моделювання показані на рис. 2. Як видно з рисунку, зміна напрямку ініціації вибухової речовини (ВР), за інших рівних умов, призводить до зміни виходу негабариту: при ініціації в одному напрямі він вищий, ніж при ініціації зарядів в різних напрямках.

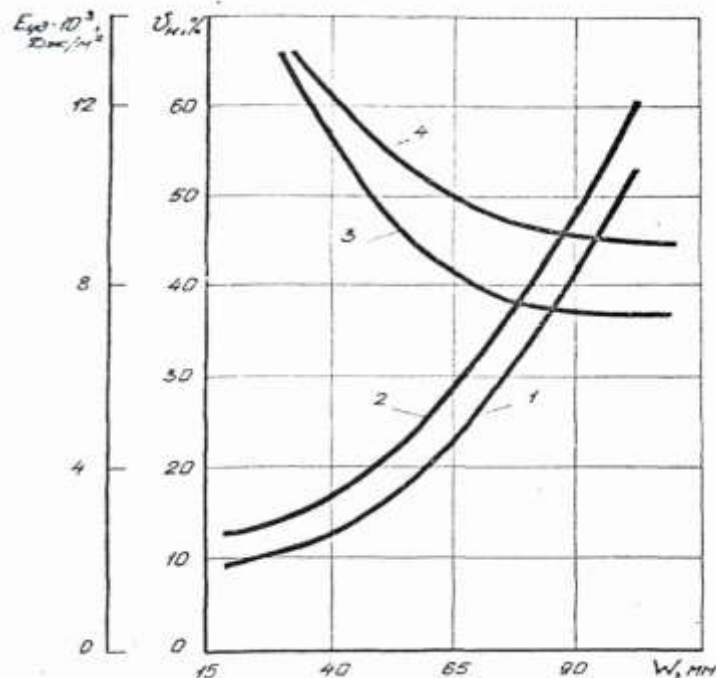


Рис. 2. Залежності виходу негабариту (1 і 2) і питомих витрат енергії вибуху на одиницю знову утвореної поверхні (3 і 4) від величини лінії найменшого опору: 1,3 - почергова ініціація зарядів ВР; 2,4 - ініціація зарядів ВР в одному напрямі

Як показав досвід промислових експериментів, реалізацію цього способу руйнування доцільно здійснювати шляхом використання нових неелектричних засобів ініціації зарядів типу «Нонель» у поєднанні з більш екологічно чистими новими емульсійними ВР типу «Анемікс» і «Україніт».

Рекомендований метод вибухового руйнування масиву сприяє підвищенню ефективності усього технологічного циклу отримання кубовидного щебеню. При цьому за рахунок зниження міцності кусків відбитої гірської маси продуктивність подрібнювального устаткування в ланцюзі: дробарки СМД- 110 і КІД- 1200 збільшується майже в 1,5 рази.

Економічний ефект від впровадження системи: вибуховий відбій - подрібнювальний комплекс складає близько 500 доларів США за 1 годину роботи подрібнювального комплексу.

**Висновки.** В роботі вперше вирішено актуальну науково-практичну задачу удосконалення енергозберігаючої технології виготовлення кубовидного щебеню шляхом підвищення ефективності вибухової підготовки гірської маси, на основі створення у висаджуваному в повітря масиві керованої структури поля напружень з переважанням розтягуючої і зсувної складової, що реалізується за допомогою використання зустрічно спрямованого розвитку вибуху. Це забезпечує інтенсивне дроблення підірваної гірської маси з одночасним зниженням її міцності (знеміцнення кусків).



УДК 622.242

Евтеева Л.И., соискатель.

Крючков А.И., к.т.н., доцент, научный руководитель

**ДИНАМИКА ИЗМЕНЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА СОПРОТИВЛЕНИЯ ГОРНОЙ ПОРОДЫ ПРИ КОПАНИИ КОВШОМ ЭКСКАВАТОРА**

*Аналитические и экспериментальные исследования свидетельствуют о заметном росте коэффициента сопротивления грунта копанью при увеличении скорости копания. Учет влияния скорости копания на сопротивление забоя копанью позволяет реально оценить как производительность копания, так и энергетические затраты на этот процесс.*

*Ключевые слова: коэффициента сопротивления грунта, сопротивление забоя копанью.*

*Аналитичні та експериментальні дослідження свідчать про помітне зростання коефіцієнта опору ґрунту копанню при збільшенні швидкості копания. Облік впливу швидкості копания на опір забою копанню дозволяє реально оцінити як продуктивність копания, так і енергетичні витрати на цей процес.*

*Ключові слова: коефіцієнта опору ґрунту, опір забою копанню.*

*Analytical and experimental studies show a marked increase of the coefficient of resistance of the soil by increasing the speed of digging. Accounting of the effect on the rate of digging face resistance allows a realistic assessment of the performance of digging, and the energy costs of the process.*

*Keywords: coefficient of resistance of the soil, the resistance slaughter digging.*

Эксплуатационная производительность экскаватора в значительной мере зависит от производительности копания (черпания) горной породы ковшем экскаватора. Установлено, что характеристики процесса копания зависят от свойств горных пород, от конструкции рабочего органа экскаватора, от кинематики и динамики взаимодействия ковша экскаватора с горным массивом. На основе экспериментальных исследований Н.Г. Домбровский [1] предложил суммарную силу копания на ковше экскаватора при его внедрении в массив определять по формуле

$$P_K = K_F \cdot S, \quad (1)$$

где  $K_F$  – коэффициент сопротивления горной породы копанью, Па;  $S$  – площадь поперечного сечения снимаемой стружки, м<sup>2</sup>.

При расчетах для конкретной горной породы величина  $K_F$  принимается как правило постоянной, хотя экспериментальные и теоретические исследования [2] показали ее зависимость от скорости копания  $V_K$ .

Целью исследования является сочетание метода расчета удельного динамического сопротивления пород копанью при различных скоростях копания с классификацией горных пород [3], в основу которой положено значение  $K_F$ , в предположении, что оно не зависит от скорости копания.

С использованием теории предельного напряженного состояния и метода В.В. Соколовского показано, что динамический коэффициент сопротивления грунта копанью с учетом влияния скорости копания на силу резания и силу сопротивления заполнению разрушенной горной породой ковша, рассчитывается по выражению [2]:

$$K_F^{\partial} = \left[ K_F + \frac{\sin \delta \sin \theta}{\sin(\delta + \theta)} \cdot \gamma V_K^2 \right] \left[ 1 + \frac{\sin \delta}{\sin(\delta + \theta)} \cdot \frac{V_K}{\sqrt{\tau^* / \gamma}} \right], \text{ Па}, \quad (2)$$

где  $K_F$  – статическое значение коэффициента сопротивления копанию (при  $V_K \rightarrow 0$ ), Па;  $\delta$  – угол резания;  $\theta$  – угол между траекторией резца и направлением движения кусков грунта;  $\gamma$  – плотность грунта, кг/м<sup>3</sup>;  $\tau^*$  – предельное значение касательного напряжения, Па;  $V_K$  – скорость копания, м/с.

Соответствующие расчеты выполнены для ряда экскаваторов типа ЭКГ и ЭГ. Результаты расчетов для экскаватора ЭКГ-5А приведены в табл. 1 в соответствии с формулой

$$K_F^0 = K_F + K_1 V_K + K_2 V_K^2 + K_3 V_K^3. \quad (3)$$

Таблица 1. Коэффициенты уравнения  $K_F^0 = f(V_K)$  для экскаватора ЭКГ-5А

Категории пород	$K_F$ , МПа (по Белякову)	$K_1$	$K_2$	$K_3$
2	0,12	0,0123	0,0005	0,0002
	0,20	0,0093	0,0005	0,0002
3	0,20	0,0162	0,0023	0,0001
	0,28	0,0206	0,0025	0,0003
4	0,28	0,0324	0,0003	0,0003
	0,38	0,0206	0,0002	0,0002
5	0,38	0,0367	0,0007	0,0003
	0,50	0,0263	0,0002	0,0002
6	0,50	0,054	0,0005	0,0001
	1,0	0,020	0,0028	0

Результаты расчетов свидетельствуют о том, что традиционные значения коэффициента сопротивления копанию для различных категорий пород совпадают с расчетными только при небольших скоростях копания ( $V_K = 0 \dots 1$  м/с), а при больших скоростях сопротивление возрастает от 1,5 до 3 раз в зависимости от категории пород.

Проведенные исследования позволили сделать следующие выводы. 1. Аналитические и экспериментальные исследования свидетельствуют о заметном росте коэффициента сопротивления грунта копанию при увеличении скорости копания более 1 м/с. 2. Учет влияния скорости копания на сопротивление забоя копанию позволяет реально оценить как производительность копания, так и энергетические затраты на этот процесс.

### Литература

1. Домбровский Н.Г. Экскаваторы / Н.Г. Домбровский. – М.: Машиностроение, 1969. – 261 с.
2. Ветров Ю.А. Расчет сил резания и копания грунтов / А.Ю. Ветров. – Киев.: Издательство Киевского университета, 1965. – 166 с.
3. Беляков Ю.И. Выемочно-погрузочные работы на карьерах / Ю.И. Беляков. – М.: Недра, 1987.–268с.

УДК 504:346.544.4

А. О. Дичко, к.т.н., Л. М. Онос, магістр

## РОЗРОБКА РЕКОМЕНДАЦІЙ ПО ПІДВИЩЕННЮ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ РОБОЧОЇ ЗОНИ МАЛЯРНОЇ ДІЛЯНКИ НА ЗАВОДАХ

*Виконано огляд заходів зі зменшення викидів в атмосферне повітря з робочої зони малярної ділянки на підприємствах. Встановлено, що новітня вдосконалена установка гідрофільтра дозволяє мінімізувати шкідливий вплив на навколишнє середовище.*

*Ключові слова: малярна ділянка, лакофарбові матеріали(ЛФМ).*

*Выполнен обзор мероприятий по уменьшению выбросов в атмосферу из рабочей зоны малярного участка на предприятиях. Установлено, что новейшая усовершенствованная установка гидрофильтра позволяет минимизировать вредное воздействие на окружающую среду.*

*Ключевые слова: малярный участок, лакокрасочные материалы (ЛКМ).*

*Overview of measures to reduce air emissions from the paint section of the working area in the workplace. It has been established, that latest advanced setup hidrofiltr to minimize harmful effects on the environment.*

*Key words: paint plot, paint materials (PM).*

**Вступ.** Нинішню екологічну ситуацію в Україні можна охарактеризувати як кризову, що формувалася протягом тривалого періоду через нехтування об'єктивними законами розвитку і відтворення природно-ресурсного комплексу України. Відбувалися структурні деформації народного господарства, за яких перевага надавалася розвитку в Україні сировинно-видобувних, найбільш екологічно небезпечних галузей промисловості. Важливою умовою впровадження принципів збалансованого розвитку є гармонізація стратегій розвитку ресурсних галузей, а також економіки, охорони довкілля, раціонального використання природних ресурсів та здоров'я населення. Важливою проблемою є дотримання екологічних вимог при експлуатації підприємств, споруд та при інших видах діяльності.

Викиди в атмосферу несприятливо впливають перш за все на людину та на навколишнє природне середовище, а найбільш важкі форми прояву спостерігаються на промислових майданчиках та прилеглих до них територіях. Саме тут виникають найбільш високі концентрації шкідливих речовин в атмосферному повітрі, котрі перевищують гранично допустимі концентрації в два – п'ять, а нерідко і в більше разів, і саме на цих територіях акумулюється їхня основна маса ґрунтом та поверхнею водоймищ. У зв'язку з цим особливо гострою є проблема запобігання забруднення атмосфери міст, де зосереджена більша частина населення та промисловості[1].

**Актуальність теми:** Атмосферне повітря є одним з основних життєво важливих елементів навколишнього природного середовища.

Згідно ЗУ «Про охорону атмосферного повітря» від 03.06.2004 який спрямований на збереження та відновлення природного стану атмосферного повітря, створення сприятливих умов для життєдіяльності, забезпечення екологічної безпеки та запобігання шкідливому впливу атмосферного повітря на здоров'я людей та навколишнє природне середовище, фактичний вміст забруднюючих речовин у відхідних газах не повинен перевищувати нормативний.

**Основний матеріал.** Забруднення атмосфери виникає практично на всіх етапах виробництва, незалежно від того, які використовують механізми.

Як показує практика роботи малярної дільниці, шкідливі речовини виділяються в таких

випадках:

- при знежиренні поверхонь органічними розчинниками перед фарбуванням;
- при підготовці лакофарбових матеріалів (ЛФМ);
- при нанесенні ЛФМ на поверхні виробів;
- при сушінні лакованих і фарбованих поверхонь.

Технологічний процес фарбування деталей включає наступні операції:

- підготовку поверхні до фарбування (знежирення, ґрунтування);
- нанесення лакофарбового матеріалу (ЛФМ);
- сушку пофарбованого виробу.

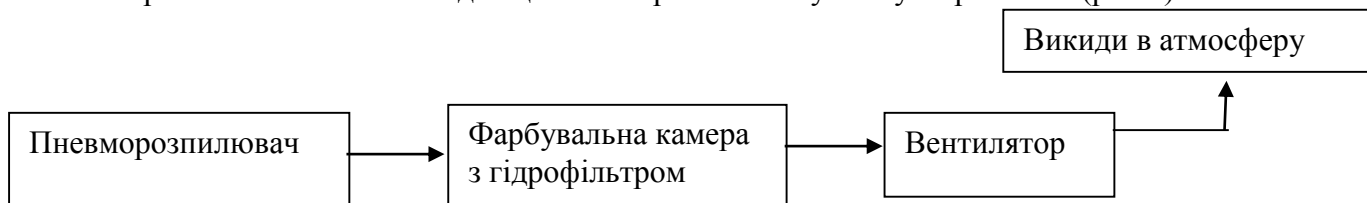
Основними джерелами загазованості повітря робочих зон та атмосфери є змішувачі ЛМФ, фарбувальні камери, сушарки, ванни з розчинами для знежирення.

Концентрація шкідливих речовин, що виділяються з фарбувальних камер, залежить від характеристики ЛФМ, витрати й способу їх нанесення.

Сучасна малярна ділянка повинна бути обладнана таким чином:

- шліфувальні машинки ручні, електричні та пневматичні;
- інструменти для нанесення фарб і лаків;
- устаткування для змішування фарб;
- для очищення деталей: рушники і м'який обтиральний матеріал, спеціальні рушники для збору пилу;
- для подачі стисненого повітря: компресор, фільтр і редуктор;
- устаткування для нанесення фарб і лаків;
- фарбувальні камери;
- сушильні камери.

Основний метод фарбування - пневматичне розпилення, тобто ЛФМ в дозованій кількості рівномірно подаються на поверхню у вигляді рідкого матеріалу фарборозпилювачем. Пневморозпилювач забезпечує високу ступінь розпилення ЛФМ, однак його використання пов'язане з підвищеними втратами на туманоутворювання (рис.1)



**Рисунок 1- Схема установки очистки повітря, що видається при малярних роботах**

З урахуванням вищевикладеного, можна зробити висновок, що фарбувальні ділянки відносяться до шкідливих виробництв, що в свою чергу, вимагає вживання заходів по забезпеченню нормативних параметрів повітряного середовища РЗ.

Основними рекомендаціями для зменшення шкідливого впливу в атмосферу є встановлення новітнього екологічного гідрофільтру, для якого будуть характерні такі ознаки, як висока продуктивність, ефективність та довговічність в експлуатації:

**Мета роботи-** розробка проекту реконструкції на основі підвищення екологічної безпеки малярної ділянки.

**Задачі дослідження:**

- виконати аналіз попередніх досягнень по проектуванню підприємств;
- розробка рекомендацій по зниженню викидів в атмосферу при роботі малярної ділянки;

Опис роботи обладнання

Кожна установка удосконаленого гідрофільтру монтується на свій приямок, з'єднаний каналом з заглибленим басейном. Зверху на приямок через настановну раму монтується установка очистки повітря. Повітря, забруднене фарбувальним аерозолем, спонукуване притягуючо-витяжною системою вентиляції, зтягується від джерела забруднення в басейн, проходить над поверхнею води і потрапляє в установку для очищення. Басейн служить буферною ємністю для необхідного обсягу фільтруючого матеріалу-технічної води, а також для первинного накопичення забруднювача. В промивному каналі цього гідрофільтру у його передній і задній стінок встановлені площини. Вода подається на верхню площину, з якої стікає на нижче лежачу, і т. д. Таким чином, виходить кілька водяних завіс, які перетинають повітря, що видаляється з камери і проходить промивний канал знизу вгору (рис. 2).

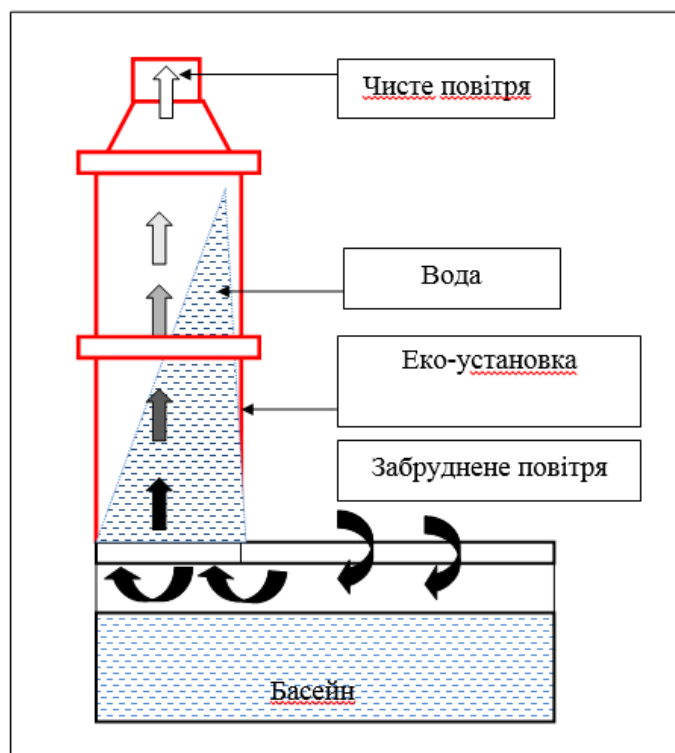


Рисунок 2- Принцип роботи установки

Для установки очистки повітря потрібна ємність (басейн) з метою накопичення уловленого матеріалу або забруднювача. Гідрофільтр монтується зверху на ємність. Забрудне повітря зтягується (подається) через вільний простір в басейні, проходить ступені гідрофільтрів для очищення повітря і, очищене, викидається витяжним вентилятором. Одночасно оборотна вода з ємності забирається циркуляційним насосом і подається в гідрофільтри для очищення повітря. Після взаємодії з забруднювачем, вода зливається разом з ним назад в басейн (накопичувач) і цей цикл повторюється безперервно[2].

На рис. 3 схематично зображена камера малярної дільниці після встановлення даного гідрофільтру.

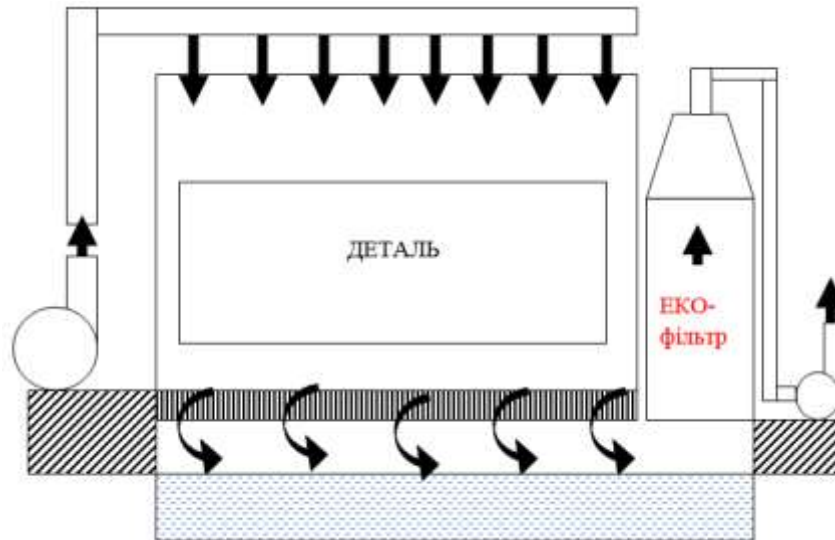


Рисунок 3- Фарбувальна камера з еко- гідрофільтром

Розглянемо на прикладі одного з заводів переваги даної установки.

Переваги і плюси цієї розробки - це необхідна продуктивність (до 30 000 куб.м / год на одну установку, при модульному нарощуванні - більше), постійний (не змінюється протягом строку експлуатації) ступінь очищення, простота в обслуговуванні і можливості адаптації ( табл.1).

Таблиця 1 – Ефективність еко- гідрофільтра для очистки повітря

Продуктивність по повітрю м <sup>3</sup> /год	Очистка повітря	Степінь очистки,%
20000 30000	від фарбового аерозолю	98,4
	від ацетону	99,2
	від ксилолу	96,6

Розглянемо малярну ділянку , по якій спостерігаються перевищення викидів в атмосферу по наступних речовинах: ксилол, ацетон, аерозоль ,порівнюючи з дозволеними (табл.2)[3].

Таблиця 2- Перелік забруднюючих речовин малярної ділянки, що перевищують допустимі значення

№ п/п	Назва речовини	Дозволений обсяг викидів, мг/м <sup>3</sup>	Обсяг викидів на заводі , мг/м <sup>3</sup>	Клас небезпеки
1	Ксилол	6,300	9,2496	3
2	Аерозоль	3,276	3,8495	4
3	Ацетон	2,613	3,3979	4

Після реконструкції заводу розрахуємо концентрацію для кожної з речовин мг/м<sup>3</sup>:

$$E = \frac{C_{1(кс)} - C_{2(кс)}}{C_{1(кс)}} \times 100\%, \quad (1)$$

де  $C_{1(кс)}$  - викид ксилолу до реконструкції, мг/м<sup>3</sup>;  
 $C_{2(кс)}$  - викид ксилолу після реконструкції, мг/м<sup>3</sup>;  
 $E$  - ефективність гідрофільтра, %.

$$0,966 \times \frac{9,2496 - C_{2(кс)}}{9,2496}; \quad C_{2(кс)} = 0,33 \text{ мг} / \text{м}^3.$$

$$E = \frac{C_{1(ац)} - C_{2(ац)}}{C_{1(ац)}} \times 100\%, \quad (2)$$

де  $C_{1(ац)}$  - викид ацетону до реконструкції, мг/м<sup>3</sup>;  
 $C_{2(ац)}$  - викид ацетону після реконструкції, мг/м<sup>3</sup>;

$$0,992 \times \frac{3,3979 - C_{2(кс)}}{3,3979};$$

$$C_{2(кс)} = 0,027 \text{ мг} / \text{м}^3.$$

$$E = \frac{C_{1(аер)} - C_{2(аер)}}{C_{1(аер)}} \times 100\%, \quad (3)$$

де  $C_{1(аер)}$  - викид аерозолю до реконструкції, мг/м<sup>3</sup>;  
 $C_{2(аер)}$  - викид аерозолю після реконструкції, мг/м<sup>3</sup>;

$$0,984 \times \frac{3,8495 - C_{2(аер)}}{3,8495};$$

$$C_{2(аер)} = 0,06 \text{ мг} / \text{м}^3.$$

Отже, встановлення еко-гідрофільтру зменшить викиди шкідливих речовин з малярної ділянки в кілька разів.

Використовуючи отримані дані встановлюємо залежність між продуктивністю фільтра і концентрацією шкідливих речовин (рис.4).

Залежність кривих апроксимується рівняннями лінійного виду, відповідно:

$$\begin{aligned} C_{кс} &= -2,24\Pi + 11,941, \\ C_{аер} &= -0,8619\Pi + 4,7336, \\ C_{ац} &= -0,756\Pi + 3,764. \end{aligned}$$

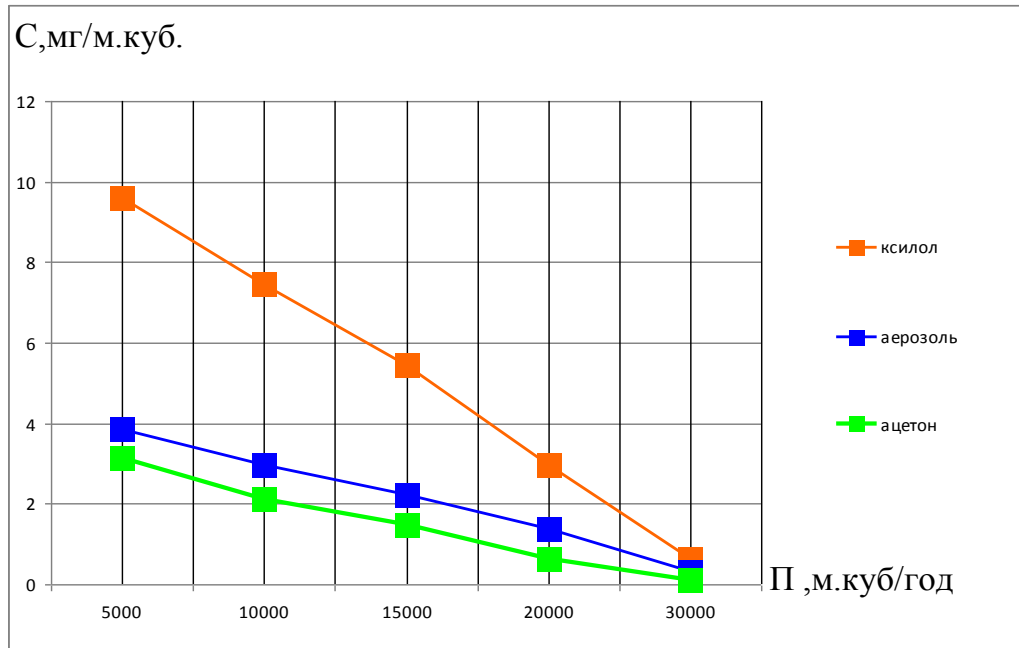


Рисунок 4- Залежність концентрацій речовин від продуктивності фільтра.

**Висновки та рекомендації.** Негативну роль на навколишнє середовище здійснюють майже всі процеси, пов'язані з виробництвом, бо всі вони супроводжуються виділенням великої кількості забруднюючих речовин. Це дає поштовх до впровадження певних заходів, щодо зменшення цієї дії.

Перевагами нововведення є : високі потужні характеристики при обмеженому робочому просторі. Продуктивність конвеєра складає від 20000 до 30000 м<sup>3</sup> за годину; Ефективність очищення досягає до 99,2%.

Реконструкція дасть можливість не тільки окупитися, але й значно зменшить негативний вплив на робочу зону малярної ділянки.

Для стимулювання впровадження природоохоронних заходів доцільно було б розробити та затвердити Постанову Кабінету Міністрів України про впровадження спеціальних екологічних рахунків заводу, куди б перераховувалося 70-80 % платежів за екологію. Ці кошти мали б витратитися лише за дозволом керівного органу або на реалізацію відповідних заходів, або на оплату кредитів, витрачених на впровадження сучасних екологічних технологій.

1.Джиригей В.С. Екологія та охорона навколишнього середовища./Джиригей В.С. - К.: Т-во "Знання", КОО, 2006. - 319 с.

2. Другос Ю.С. Методы анализа загрязнений воздуха. / Другос Ю.С., Беликов А.Б., Дьякова Г.А., Тульчинский В.М. - М.: Химия. - 1984. - 394 с.

3. Интернет ресурс :[www.vesta-perm.narod.ru](http://www.vesta-perm.narod.ru).

4. Интернет ресурс:<http://vostokpromecologiya.ru/ekovesta>.

5. Луконенко В.Т. Определение антропогенного воздействия производственного процесса на воздушную среду./ Луконенко В.Т., Несоленов Г.Ф. - Самара: Самарский гос. агрокосм.

ун-т, 1994. - 44 с.

6. ОНД - 86. Методика расчета концентрации в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий.



УДК.622.24.05

М.І. Сергієнко, Н.І Жукова, ст.викл.

### **ЕФЕКТИВНІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ СУЧАСНОЇ БУРОВОЇ ТЕХНІКИ НА КАР'ЕРАХ УКРАЇНИ**

*Проведений аналіз та наведені результати досліджень ефективності застосування бурових станків на кар'єрах України. Встановлені залежності продуктивності буріння свердловин від способу руйнування, типу та параметрів породоруйнівного інструменту і міцності гірських порід .*

*Ключові слова : кар'єр, гірські породи, спосіб руйнування, міцність гірських порід, буровий станок, пневмоударний інструмент, ефективність буріння.*

Н.И. Сергиенко, Н.И Жукова, ст.преп.

### **ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ СОВРЕМЕННОЙ БУРОВОЙ ТЕХНИКИ НА КАРЬЕРАХ УКРАИНЫ**

*Проведенный анализ и приведены результаты исследований эффективности применения буровых станков на карьерах Украины. Установлены зависимости производительности бурения скважин от способа разрушения, типа и параметров породоразрушающего инструмента и прочности горных пород.*

*Ключевые слова: карьер, горные породы, способ разрушения, прочность горных пород, буровой станок, погружной пневмоударных инструмент, эффективность бурения.*

N.I. Sergienko, N.I. Zhukova, senior lecturer

### **EFFICIENCY GAINS OF MODERN DRILLING EQUIPMENT FOR QUARRY OF UKRAINE**

*The analysis and results of research the effect of rigs in the pits of Ukraine. Dependences performance drilling on the method of destruction, the type and parameters destroy tools and strength of rocks.*

*Key words: quarry, rocks, the way of destruction, the strength of rocks, drilling machine, submersible, air percussion instrument performance.*

**Вступ.** Одним з основних технологічних процесів на кар'єрах є буровибухові роботи. Ефективність їх виконання залежить в першу чергу від продуктивності бурового обладнання. Бурові верстати повинні забезпечувати високу продуктивність та низьку собівартість, необхідні діаметр та глибину буріння, мати незалежний індивідуальний привід, високу мобільність і швидкість пересування. На кар'єрах України працює багато різноманітної бурової техніки, від ефективності і продуктивності якої залежать основні показники роботи підприємства, стан охорони праці та промислової безпеки.

Надзвичайно великі витрати і низька ефективність бурових робіт пояснюються переважним застосуванням на кар'єрах України ресурсоемних бурових станків та низькоефективного породоруйнівного інструменту. За останні роки продуктивність бурових верстатів стабілізувалася, а умови гірського виробництва різко ускладнилися. Відбувається безперервне збільшення витрат на буріння, які в міцних породах досягають 30-35% від загальних витрат по видобутку корисних копалин [1].

Важливим є також питання боротьби з виділенням при бурінні великої кількості мілкодисперсного пилу, який впливає на здоров'я обслуговуючого персоналу та забруднення навколишнього середовища.

**Мета роботи** є проведення досліджень і порівняльна оцінка основних технологічних та технічних параметрів діючого та перспективного бурового обладнання на кар'єрах України при виконанні бурових робіт.

**Результати досліджень.** Найбільш широке застосування на відкритих гірничих роботах отримав шарошечний спосіб буріння свердловин за допомогою спеціальних станків шарошечного буріння – СБШ. Станки призначені для буріння вертикальних і похилих скважин діаметром  $d_c = 160-320$  мм і глибиною до 35 м. в породах з коефіцієнтом міцності  $f = 6 - 18$ . Переважне застосування шарошкового буріння призвело до істотного зниження можливості керування параметрами буропідричних робіт. Так, наприклад, застосування свердловин діаметром більше 200 мм в міцних породах не призводить до зниження питомих витрат. В породах з підвищеним опором руйнуванню більш ефективні показники досягаються при свердловинах діаметром 150-190 мм. Застосування ж у цих умовах свердловин діаметром 215-250 мм призводить до збільшення лише витрат ВР на 20-40% [1].

Основними недоліками станків СБШ є велика маса і мала стійкість доліт в важкобуримих породах, високий рівень шуму, вібрації та викиди пилу, аварійність, складність обслуговування, невисока швидкість пересування. Розробка нових, високоефективних вибухових речовин дала можливість вдосконалення бурової техніки для буріння свердловин з діаметрами від 100 до 180 мм., що значно підвищує продуктивність та значно зменшує енергоємність процесу.

Одним з перспективних та ефективних напрямків є застосування верстатів з ударно-обертальним способом буріння з використанням заглибних пневмоударників. При ударно-обертальному способі буріння, руйнування породи проводиться за рахунок впливу ударних навантажень при невисоких осьових тисках і частотах обертання, у зв'язку з чим верстати мають значно меншу в порівнянні з шарошечними масу [2].

При ударно-обертальному способі буріння, з використанням заглибних пневмоударників, на інструмент діє циклічне ударне навантаження при невеликих зусиллях подачі і крутного моменту. Підведена при цьому до вибою потужність  $N_y$ , визначається:

$$N_y = \frac{0,45 \cdot \pi \cdot R^2 \cdot P_c \cdot V_y}{2 \cdot (1 + \tau)} = A \cdot v, \text{ Вт}$$

де  $P_c$  - середній тиск в камері пневмоударника, Па;  $V_y$  - передударна швидкість, м/с;  $\tau$  - відношення часу прямого ходу пневмоударника до часу зворотного ходу ( $\tau = 1,4 - 1,6$ );  $R$  – радіус долота, м;  $A$  – енергія одиничного удару, Дж;  $v$  - частота ударів, Гц.

Підвищення продуктивності буріння визначається збільшенням тиску і передударної швидкості. При пневмоударному бурінні осьова сила притиску пневмоударника до вибою не робить істотного впливу на ефективність руйнування породи. В зв'язку з цим проблема буріння похилих свердловин заглибними ударними машинами знімається. При цьому необхідна сила натиснення  $G$  (Н) на ударну машину визначається з виразу:

$$G = \frac{2 \cdot A \cdot v}{V_y \cdot \eta}, \text{ Н}$$

де  $\eta = 0,5 - 0,7$

Показник знімання потужності  $W$  (Вт) з одиниці осьового зусилля:

$$W = \frac{N}{G}, B_T$$

Останнім часом на кар'єрах України почали застосовувати бурові верстати шведського гірничомашинобудівного концерну "Atlas Copco", оснащені пневмоударниками для ударно-обертального буріння [3].

Ефективність буріння станками "Atlas Copco" забезпечується потужними заглибними пневмоударниками або гідроударниками, конструкції і типорозміри яких дозволяють бурити свердловини діаметром  $d_c$  від 35 до 250 мм. з глибиною буріння до 54 м. в гірських породах середньої міцності і міцних. Установка комплектується змінними буровими штангами довжиною 5 - 7 м., з автоматичним їх нарощуванням. Конструкція базової машини і бурового станка дозволяє бурити як вертикальні, так і свердловини з кутами нахилу 0-90 градусів (Рис.1).



Рис.1 Буровий станок "Atlas Copco" для буріння на кар'єрі свердловин: а – вертикальних, б – горизонтальних.

Загальний вигляд та конструкція заглибного пневмоударника яким оснащений буровий станок " Atlas Copco " показані на рис.2 Штирові породоруйнівні коронки 5 ( рис. 2) застосовуються для буріння в різних гірничо-геологічних умовах, міцних і абразивних порід. Коронки армовані високоякісними твердосплавними вставками, що представляють собою сплав карбиду вольфраму і кобальту. Коронки оснащені як сферичними, так і балістичними штирями, що забезпечує високу швидкість буріння, мінімальне відхилення свердловин від заданого, високу зносостійкість породоруйнівного інструменту.



Рис 2. Загальний вигляд і конструкція заглибного пневмоударника бурового станка "Atlas Copco".

Робоче обладнання верстата, включаючи компресор, змонтовано на одній платформі. Наявність гусеничного ходу і невеликі габарити забезпечують достатню для обмежених умов мобільність та маневреність. Оснащеність верстата дизельним приводом дає можливість автономно експлуатувати його на невеликих робочих майданчиках і в умовах, де відсутня система електропостачання. Режимні параметри буріння які забезпечують високу продуктивність є частота обертання, енергія удару і тиск повітря в пневмоударнику.

**Результати досліджень.** Проведений аналіз досліджень ефективності застосування бурових станків Atlas Copco на зарубіжних кар'єрах та кар'єрах України показує їх високу продуктивність та ефективність роботи, що свідчить про їх перспективне застосування. В табл.1 і на Рис.3 наведені основні порівняльні характеристики експлуатації бурових верстатів СБШ -250, СБУ-125, ROC-L8 на кар'єрах, і їх технічна швидкість буріння  $V_B$  в породах різних категорій буримості  $K_B$ .

Таблиця 1

Показники	Бурове обладнання		
	СБШ -250	СБУ-125	ROC L8 "Сорсо"
Продуктивність, м/год.	15	10	30-45
Діапазон міцності порід, f	12-18	12-14	16-20
Встановлена потужність, кВт.	398	80	317
Діапазон буріння (гор./верт.), град	0-30°	0-30°	0-55°
Швидкість переміщення, км/год	0.78-1.2	1.0	3.4
Глибина буріння, м	32	25	54
Діаметр бурових свердловин, мм	250, 270	125-160	35 - 250
Маса, т	75.0	8.0	16.8
Робочий орган, тип	Шарошечне долото	Пневмоудар. заглибний П-125	Пневмоудар. заглибний Сорсо-64
Зусилля подачі, кН	300	20	40

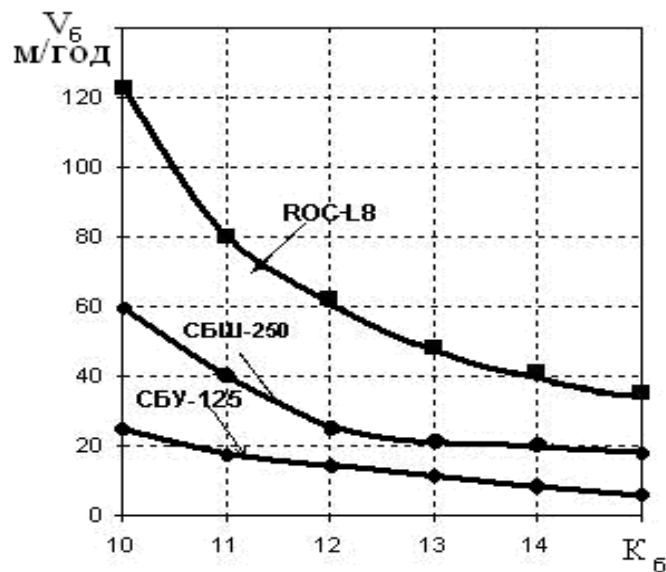


Рис. 3. Залежність механічної швидкості буріння від категорії порід по буримості

З графіка видно, що швидкість буріння верстатами "Atlas Sorco" з заглибними пневмоударниками ROC-L8 в два-три рази вище - СБШ-250МН, і в 3 - 4 рази вище швидкості буріння верстатами СБУ - 125.

Результати експлуатації верстатів "Atlas Sorco" з заглибними пневмоударниками підтвердили їх ефективність при бурінні свердловин в широкому діапазоні міцності і буримості гірських робіт.

**Висновки.** Заглибний пневмоударник "СОРСО" є більш перспективний в застосуванні ніж бурові станки СБШ, завдяки більш високій продуктивності, ефективності використання,

потужності приводного двигуна. Більш висока мобільність та швидкість переміщення знижують технологічні втрати часу. Вони мають значно меншу масу і шумовий вплив як на працюючих робітників, так і на навколишнє середовище. Вони більш мобільні і дозволяють бурити не тільки вертикальні, а і свердловини під кутом нахилу 0 – 90 градусів. Станки забезпечують високу точність буріння з діаметром свердловин від 35 до 180 мм, і глибиною до 54 м. Верстат обладнаний пристроєм автоматичного регулювання режимами буріння.

Недоліком є висока початкова вартість бурової машини і високі вимоги до якості робочої рідини системи гідропривода

Система продувки свердловин приводить до більш високого очищення від бурового шламу, що також якісно впливає на коефіцієнт корисної дії вибухових робіт та зменшує техногенне навантаження на навколишнє середовище.

### Література

1. Катанов Б. А. Современное состояние и перспективы развития бурового оборудования/ Б.А.Катанов// Горное оборудование и электромеханика.-2006.- № 12. - С 25–27.
- 2.Танайно А.С. Состояние и перспективы ударно-вращательного бурения взрывных скважин на карьерах/А.С. Танайно, А.А. Липин // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых.- 2004. - №2. - С. 82–84.
3. Подэрни Р. Ю. Станки вращательного бурения взрывных скважин на открытых горных работах за рубежом / Р.Ю.Подэрни // Горное оборудование и электромеханика. - 2006.- № 12. - С 25–27.

УДК 504:628.1

Мороз І. М., магістр, Дичко А. О., к. т. н., доцент

**ОСНОВНІ ПРОБЛЕМИ ЗАБРУДНЕННЯ ВОДНИХ ОБ'ЄКТІВ.  
ОЦІНКА ЗАХОДІВ ДЛЯ ЗНЕЗАРАЖЕННЯ ВОДИ В СУЧАСНОМУ  
ВОДОПОСТАЧАННІ**

*Визначено основні аспекти сумісного впливу забруднених ґрунтових та неочищених поверхневих стічних вод на якість питної води м. Старокостянтинів. Зроблено аналіз методів знезараження питної води та обґрунтовано метод озонування.*

*Ключові слова: водний об'єкт, поверхневі стічні води, водозабір, водовідведення, питна вода, методи знезараження, озонове обладнання.*

*Определены основные аспекты совместного влияния загрязненных грунтовых и неочищенных поверхностных сточных вод на качество питьевой воды. Сделан анализ методов обеззараживания питьевой воды и обоснован метод озонирования.*

*Ключевые слова: водный объект, поверхностные сточные воды, водозабор, водоотведения, питьевая вода, методы обеззараживания, озонное оборудование.*

*The main aspects of the joint influence of contaminated groundwater and untreated waste water into surface water quality. The analysis methods of disinfection of drinking water and reasonable method of ozonation.*

*Keywords: groundwater, surface waste water, water intake, drainage, drinking water, methods of disinfection, ozone equipment.*

**Вступ.** З перших років формування України як незалежної держави, базуючись на світовому досвіді, Верховною Радою прийнято ряд законодавчих актів, направлених на створення екологічно-безпечних умов життєдіяльності суспільства. Загальновідомою небезпекою для суспільства є стан питної води, через яку засвідченнями ВООЗ, виникає ряд захворювань, виникнення епідемій і інших загроз життю людей. Все це вказує на те, що вода створює прямий зв'язок здоров'я суспільства і екологічного стану внутрішніх водойм держави, тому зусилля суспільства створити безпечні умови існування є сучасною світовою проблемою, над якою працюють вчені всіх розвинутих держав.

Однією з причин незадовільної якості питної води є масивне забруднення поверхневих водойм - основних джерел питного водопостачання у зв'язку зі скидами в них у великих кількостях неочищених вод.

Вирішення проблеми забезпечення населення питною водою нормативної якості можливе шляхом одержання якісної питної води на водопровідних станціях шляхом впровадження новітніх ресурсо- та енергозберігаючих технологій очистки води та обладнання, а також за рахунок будівництва станцій доочистки в цілому для конкретного населеного пункту. Актуальним є впровадження установок бюветного типу для окремих мікрорайонів, лікувальних, дошкільних та шкільних закладів із застосуванням технології, яка дозволяє доочищати водопровідну воду від алюмінію, заліза, марганцю, а також токсичних, хлорорганічних споруд за рахунок використання сучасних методів, а саме: сорбції, фотокаталітичного окислення, знезараження ультрафіолетовим випромінюванням [1].

**Завдання:**

- 1) виконати аналіз прогресивних рішень по зниженню екологічної дії на здоров'я людей;
- 2) дослідити технологічну схему водопідготовки та водовідведення Старокостянтинівського КП "Водоканал";
- 3) визначити спектр забруднюючих речовин, що скидаються у водні об'єкти;
- 4) запропонувати заходи по підвищенню якості питної води.

**Метою статті є** підвищення ефективності очистки питної води за рахунок впровадження озонового способу знезараження.

**Результати дослідження.** Діяльність людини щодо використання водних ресурсів неминуче призводить як до позитивних, так і до негативних наслідків. Одним із проявів негативного впливу людини на водні ресурси є їх забруднення, засмічення та виснаження. В свою чергу розвиток промисловості, збільшення кількості міського населення, інтенсифікації і хімізації сільськогосподарського виробництва зумовили різке збільшення водокористування і скидання стічних вод. У водотоки і водойми почали надходити стійкі забруднювачі (нафтопродукти, відходи хімічних, целюлозно-паперових, текстильних та інших виробництв, отрутохімікати, мінеральні добрива з полів, продукція побутової хімії та інше), які залишаються у воді навіть після самоочищення. Внаслідок цього якість води погіршується, вона стає непридатною для питного водопостачання, в ній гинуть живі організми; в ряді випадків вода непридатна навіть для технічного водопостачання. Відбувається не стільки кількісне, стільки якісне виснаження водних ресурсів, тому що при скиданні 1 м<sup>3</sup> неочищених стічних вод забруднюється 40-60 м<sup>3</sup> чистої природної води [ 4 ].

Найбільшим забруднювачем є промисловість. Значно забруднюють водотоки та водойми дощові й снігові води, які змивають виробничий і побутовий бруд із промислових площадок і міських вулиць, вимивають мінеральні добрива (особливо з великим вмістом фосфору та азоту) і отрутохімікатів із сільськогосподарських угідь. Важливо також відзначити вплив на поверхневі та підземні води нафти та нафтопродуктів, що потрапляють у них при транспортуванні, роботі машинних механізмів. Наприклад, одна крапля масла утворює пляму діаметром 30-150 см, а 1 т покриває плівкою близько 12 км<sup>2</sup>, ізолюючи і утруднюючи газообмін води з атмосферою, що призводить до загибелі риби та водосідаючих птахів.

Небезпечними забруднювачами також є фенольні сполуки, синтетично поверхнево-активні речовини (СПАР).

Усі ці вище описані речовини взаємодіючи у воді (розчинник) утворюють складні сполуки, які шкідливі для усього живого на планеті. Від сильного біологічного забруднення живуть та „проквітають” бактерії, інфекції та віруси, боротьба з якими здійснюється за допомогою хлорування. А при хлоруванні органічні сполуки утворюють діоксини, які наносять значний вплив на здоров'я людини.

Очищення питної води - спосіб підготовки питної води з метою поліпшення її показників безпечності та якості механічними, хімічними, фізичними та біологічними методами (освітлення, пом'якшення, знесолення, знезалізнення, знезараження тощо).

Результати лабораторних досліджень питної води перед виходом в розподільчу мережу м. Старокостянтинів показали, що на протязі 2012 року якість питної води не змінювалась, крім вмісту заліза від 0, 8 до 0,9 мг/дм<sup>3</sup>. Тому актуальним на підприємстві "Водоканал" буде провести очистку питної води методами знезалізнення.

Залізо - типовий і широко поширений тип забруднень води. Підвищений вміст заліза в питній воді не тільки погіршує її запах і смакові якості, але і впливає на здоров'я людини. Надлишок заліза може



привести до захворювань печінки і нирок, викликати розлад кишкової діяльності, почервоніння і сухість шкіри, зниження імунітету і гормональні розлади.

Для очищення води від надлишку заліза існує декілька методик, необхідно всі їх проаналізувати і визначити переваги і недоліки цих способів [1].

*Видалення заліза за допомогою зворотного осмосу.* Принцип цієї технології полягає в наступному: у установці для очищення води зворотним осмосом використовуються особливі полімерні мембрани з діаметром отворів близько 1 нм. (одна мільярдна частина метра), через яку під тиском подається вода. Діаметр отворів в мембрані настільки малий, що через пори можуть проникнути тільки молекули води, інші речовини молекули, що мають розмір, більш ніж молекула води проникнути через мембрану не можуть.

На виході системи вода виявляється такою, що практично дистилує. Це достоїнство і недолік одночасно. Переваги - тому що ступінь очищення наближається до 100%. Недолік - вживання води, що дистилує, як питна приводить до демінералізації організму людини і втрати безлічі необхідних речовин. Вживати таку воду для пиття небезпечно для здоров'я.

Ще одним недоліком установок на основі зворотного осмосу є їх низька продуктивність і високе енергоспоживання на одиницю об'єму - для того, щоб прокачати через мембрану достатню кількість води потрібний могутній насос, споживаючий більше електроенергії. Мембрана є витратним матеріалом, який вимагає заміни після закінчення терміну служби, а вартість самої мембрани достатньо велика. Якщо природну воду без підготовки фільтрувати через систему зворотного осмосу, то мембрана дуже швидко вийде з ладу із-за появи на її поверхні осаду нерозчинних речовин [3].

Отже, для збільшення терміну експлуатації мембрани потрібно очищати воду механічними і іншими типами фільтрів. Вивід - установки зворотного осмосу має сенс використовувати для отримання тільки технічної води і лише в тому разі, якщо використання інших методів очищення, по якихось причинах, неможливе.

*Знезалізнення води реагентними методами.* При цьому способі у воду в процесі її очищення додаються хімічні реагенти, що окисляють залізо. Як правило, для цієї мети використовують перманганат калія ( $\text{KMnO}_4$ ) або гіпохлорит натрію ( $\text{NaOCl}$ ). Обидва цих речовини є сильними окислювачами, вони окисляють залізо, що міститься у воді, переводячи його в нерозчинну форму, яка надалі осідає на механічному фільтрі.

Перевагами цього методу є відносна простота технічного рішення. Недоліків набагато більше. По-перше установка для очищення води методом дозування хімічних реагентів містить в своєму складі ємності з власне реагентами - зовсім не нешкідливими речовинами, які при неправильному використанні можуть завдати істотної шкоди здоров'ю людини. По-друге - реагенти необхідно регулярно додавати в систему - а значить, їх треба купувати і зберігати. Основний недолік цього методу очищення води пов'язаний з сезонними коливаннями змісту шкідливих речовин в природній воді. Навесні і восени вміст шкідливих речовин у воді значно більше, чим влітку і зимою. В результаті дозатор установки додає у воду, що очищається, або дуже мало реагенту - і тоді в ній залишається надлишок заліза, або дуже багато - і замість заліза у воді залишається сам реагент, що не прореагував із залізом, - шкідлива для людського організму хімічна речовина. В результаті застосування цього методу очищення воду можна використовувати для технічних цілей, але не як питна - запах все одно залишається, вода не знезаражена. Тому реагентний метод очищення не знаходить широкого застосування у наш час [5].

*Очищення води від заліза каталітичним фільтром.* Принцип роботи установки очищення води заснованою на каталітичному фільтрі: засипка ємності, що фільтрує, містить речовину сприяюче окисленню заліза у воді за допомогою розчиненого в рідині кисню повітря. Залізо окислюється до нерозчинної форми, осідає на механічному фільтрі і віддаляється з системи зворотною промивкою. Достоїнства

методу очевидні - для процесу очищення не потрібні додаткові реагенти, у воду не додаються шкідливі для здоров'я речовини, не потрібне технічне обслуговування і заміна витратних матеріалів. Мінуси теж є і їх досить. Установа з каталітичним фільтром вимагає попередньої підготовки води: видалення інших шкідливих речовин (наприклад сірководню), які завжди присутні в природній воді. Якщо ці речовини не видалити - вони приведуть до псування каталізатора і буде потрібно його заміну - задоволення не з дешевих. Також потрібна попередня аерація води, кисню розчиненого у воді без цієї процедури не хватить для повноцінного проходження реакції окислення. Для знезараження води в системах з каталітичним фільтром використовується УФ-лампа. Термін служби лампи обмежений і складає не більше року. Скло лампи в процесі експлуатації каламутніє, його потрібно періодично очищати, а це не просто.

Ще один недолік - у випадку якщо в початковій воді міститься екстремальна кількість заліза (більше 30 мг/м<sup>3</sup>), а такі концентрації не рідкість - система не зможе очистити воду від заліза навіть при додатковій аерації. У зв'язку з тим, що системи з каталітичним фільтром для окислення заліза використовують марганець, то концентрація марганцю в очищеній воді підвищується і в результаті може піднятися вище за ГДК. І ще - системи очищення води на каталітичних фільтрах мають складну, багатоступінчасту конструкцію, яка складається як з каталітичних, так і із звичайних фільтрів, завантаження яких в більшості випадків вимагає заміни, - це додаткові витрати на обслуговування установки. Складність конструкції може привести до частіших виходів системи з ладу - ще додаткові витрати на ремонт установки очищення води і збитки від її простою[5].

*Очищення води від заліза озоном.* Принцип дії: генератор озону створює озон з атмосферного повітря, яке подається в ємність з водою безнапірним методом. Озон окисляє залізо розчинене у воді і переводить його в нерозчинну форму, потім осад віддаляється з фільтру при зворотній промивці. Надлишок озону потрапляє у фільтр - деструкція і розкладається до кисню. Достоїнства системи озонного очищення води очевидні - немає витратних матеріалів, не потрібне додаткове обслуговування установки, мінімальні витрати електроенергії, одночасно відбувається очищення і знезараження води. Установка озонного очищення води від заліза здатна справлятися з екстремальними концентраціями заліза у воді (до 30 мг/л і більш). Недоліків у цієї технології в порівнянні з описаними методами не існує[5].

Установа системи очищення води озоном дозволяє ефективно очищати артезіанську, водопровідну і поверхневу воду від всіх можливих окислюваних розчинених в ній забруднень, найбільш поширеними з яких є: залізо, марганець, сірководень, хлор, хлорорганічні з'єднання, азот амонійний, нафтопродукти, солі важких металів, і ін. Крім того, системи очищення води озоном знижують до мінімуму такі показники, як: каламутність, кольоровість, присмак, запах, показники БПК, ХПК, перманганатна окислюваність. Ідеальна якість очищення і знезараження води озоном, недосягне при застосуванні інших методів очищення питної води, за рахунок високої окислювальної здатності і обмеженого часу життя озону.

За результатами роботи даної установки, згідно приведеній нижче таблиці 1, знизилась концентрації заліза, мутності, показники кольоровості, запаху до значень значно нижче ГДК.

Таблиця 1 – Результати роботи станції знезалізнення

Показники	Мутність, мг/дм <sup>3</sup>	Кольоровість, в градусах	Присмак, в балах	Запах, в балах	Залізо, мг/л
Св. №11	1,5	10,7	1,0	2/2	0,9
Розвідна мережа	0,15	7,5	відсутній	0/0	0,1

Графічно зміну показника заліза в питній воді показано на рис. 1.

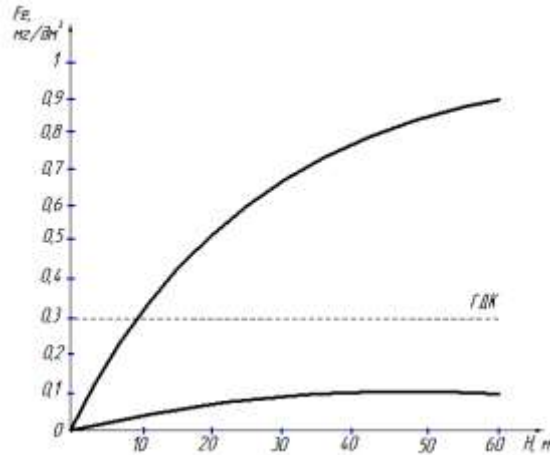


Рисунок 1 – Вміст заліза у питній воді до і після встановлення установки

Отже, встановивши устаткування на основі озонного очищення, ми отримуємо: питну воду високої якості, очищену від всіх непотрібних включень, стерилізовану, з пониженим до європейської норми (3 мг/екв.) вмістом солей. До того ж у воді відчутно зростає кількість розчиненого кисню, що робить воду особливо приємною на смак і корисною для всього організму [2].

**Висновки.** Господарська питна вода повинна мати високі органолептичні, хімічні та санітарно-біологічні властивості. Для отримання води з такими властивостями застосовуються різні хімічні методи обробки природних вод.

Після проведеного аналізу існуючих методів знезараження питної води, був вибраний, обгрунтований і рекомендований метод озонного очищення.

Достоїнства системи озонного очищення води:

- не має витратних матеріалів;
- не потрібне додаткове обслуговування установки;
- мінімальні витрати електроенергії;
- одночасно відбувається очищення і знезараження води.

Вибір і обгрунтування ресурсозберігаючого устаткування для знезараження води, особливо в умовах виникнення надзвичайних ситуацій на джерелі водопостачання, є важливою сучасною науковою і техніко-економічною задачею, що має прикладне значення для організації безпечного водопостачання населення України доброякісною питною водою.

#### Список використаної літератури

1. Білявський Г.А., Фурдуй Р.С. „Основи екологічних знань” підручник, К. „Либідь” 1997 – 288 ст.
2. Данилишин Б.М., Дмитрієва О.О. Державна цільова екологічна „Програма упорядкування водовідведення в населених пунктах України” як основний документ перспективного розвитку водокористування в Україні - // Водоочисні технології. - №3 (19). – 2006. - С. 17-22.
3. Кульський Л.А., Строкач П.П. Технологія очистки природних вод.– Киев:Вища школа, 1986.– 350 с.
4. Левківський С.С., Падун М.М. „Рациональне використання і охорона водних ресурсів” підручник, К. „Либідь” 2006 – 279 ст.
5. Малишко С.А. Технологии обеззараживания воды//Вода і водоочисні технології. – 2002.– №2-3.– с. 47-49.

УДК 674.8

**Жукова Н. І., Сергієнко М.І, ст. викл., Кутра К. Е. студент**  
**ПЕРСПЕКТИВНІ ШЛЯХИ УТИЛІЗАЦІЇ ВІДХОДІВ ДЕРЕВИНИ**

*Висвітлено шляхи утилізації відходів деревини. Пропонується виготовлення паливних гранул з відходів деревини як енергетичного ресурсу з подальшим їх спалюванням для отримання теплової енергії. Наведено їх порівняння з іншими енергетичними джерелами. Також розглянуто можливість виготовлення «сендвіч-панелей» (SIP-панелі) з відходів деревини та їх використання в сучасному будівництві.*

**ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ПУТИ УТИЛИЗАЦИИ ДРЕВЕСНЫХ ОТХОДОВ**

*Рассмотрены пути утилизации отходов древесины. Предлагается изготовление топливных гранул из отходов древесины как энергетического ресурса с последующим их сжиганием для получения тепловой энергии. Проведено их сравнение с другими энергетическими источниками. Также рассмотрена возможность изготовления «сэндвич-панелей» (SIP-панели) из отходов древесины и их использование в современном строительстве.*

**PROMISING WAYS OF WOOD WASTE UTILIZATION**

*The ways of waste disposal timber. Offered production of fuel pellets from wood waste as an energy resource and their subsequent combustion to produce heat energy. Their comparison with other energy sources kami. Also consider the possibility of making a "sandwich panels» (SIP-panels) of wood waste and their use in modern construction.*

З кожним роком в Україні все гостріше постають питання енергозбереження, ефективного використання ресурсів та утилізації відходів. Розвиток промисловості і зростання споживання енергії спричиняє швидке зростання кількості і різноманітності відходів.

На сьогодні розвиток світової енергетики має бути спрямований на максимально можливе заміщення викопного палива альтернативними поновлюваними джерелами енергії, а також підвищення економічної ефективності їх використання. Одним із таких джерел є відходи деревини.

За даними зарубіжних фахівців, відходи деревообробки становлять у середньому 60% [1, 5, 6]. Переробка вторсировини деревообробної промисловості розв'язує питання утилізації відходів.

Відходи, що утворилися в результаті обробки деревини, пов'язані або з наявними властивостями та її якістю і технологією виробництва (технологічно обґрунтовані відходи), або із порушенням технологічних процесів та збоями в роботі обладнання (необґрунтовані відходи). Їх можна поділити на такі основні групи:

- горбиль і хвости підгорбильних дощок;
- кускові: обрізки (поздовжні і поперечні), які утворюються під час розпилюванні деревини і в деревообробці (торцеві зрізи колод і дощок), обрізки фанерних кряжів, сухих заготовок і деталей;
- фанерні і плиткові: обрізки шпону, клеєної фанери, деревоволокнистих і деревостружкових плит;
- всі види стружок, одержуваних при обробці заготовок і деталей на верстатах в деревообробних виробництвах;

- деревний пил і всі види тирси, отриманих під час розпилювання та розкроювання пиломатеріалів, клеєної фанери, а також в результаті оброблення заготовок і деталей на верстатах в деревообробних виробництвах; деревний пил, що отримується при шліфуванні деталей на верстатах і в інших процесах виробництва;

- шматки кори, одержувані в результаті окорювання круглого лісу в лісопилному, фанерному і целюлозно-паперовому виробництвах [2].

Загальний об'єм використання деревини у 2012 р. становив 22 млн. м<sup>3</sup>, з яких 9,24 млн. м<sup>3</sup> (42 %) становили вироби, 12,76 млн. м<sup>3</sup> – деревні відходи [3].

В останні роки розроблений ряд нових технологій переробки деревних відходів, до яких відносяться виробництва:

- плит типу ДСП;
- виробництво бруса;
- облицювальних плит;
- газифікація;
- стінових каменів і теплоізоляційних матеріалів;
- паливних брикетів [4].

Найбільш перспективними з економічної та з екологічної точки зору можна вважати метод виготовлення з відходів деревини паливних гранул (пеллет), а також один з найновіших способів використання вторсировини деревообробної промисловості – виготовлення термоізоляційних панелей (SIP-панелей).

Одним із видів альтернативного палива є паливні гранули (пеллети). Це найбільш екологічно чистий вид палива. Він не лише не забруднює навколишнє середовище, а й вирішує проблему утилізації деревних відходів. В країнах Європи це джерело енергії почало швидко розвиватися, і нині понад 200 підприємств виготовляють паливні гранули (рис. 1).

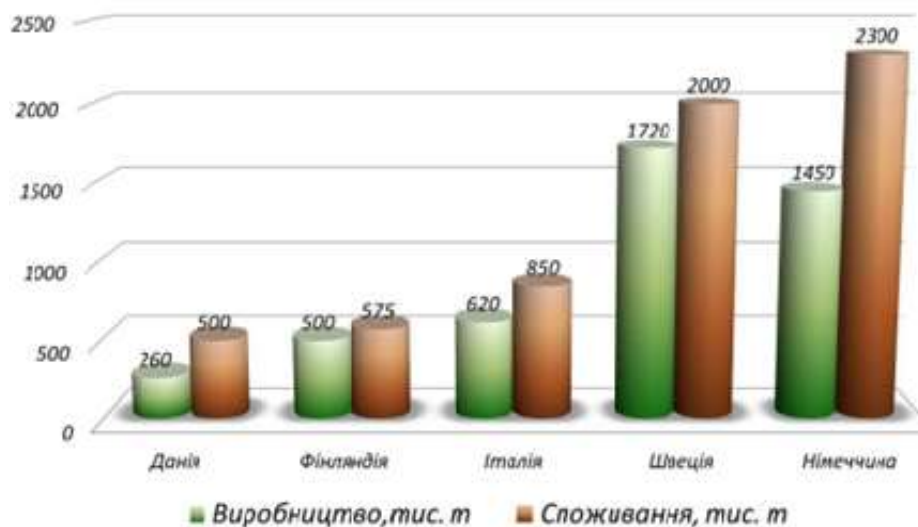


Рисунок 1 – Основні країни-виробники і споживачі пеллет в Європі

Виробництво гранул в Україні наведено на рис.2.

Деревні паливні гранули (pellets) – це пресований виріб циліндричної форми з висушених відходів деревини, таких як, стружка, обріз, деревне борошно (рис. 3).

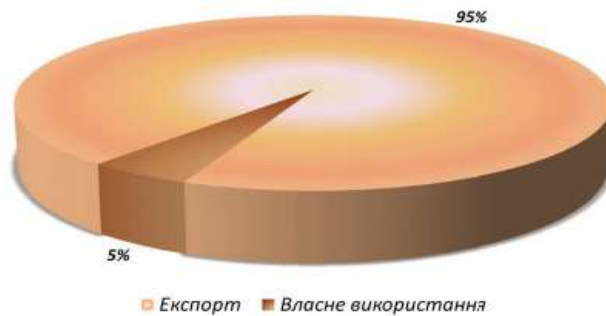


Рисунок 2 – Виробництво гранул в Україні



Рисунок 3 – Деревні пеллети

Характеристики гранул наведено в табл. 1.

Таблиця 1 – Основні показники, що характеризують деревні гранули

Показник	Значення
Теплота згоряння	4,9 кВт·год/кг
Щільність	1,2 – 1,3 т/м <sup>3</sup>
Діаметр	4 – 10 мм
Довжина	20 – 40 мм
Вміст вологи	7 %
Вміст золи	2 %
Вміст сірки	0,1 %
Вміст пилу	10 %

Теплотворна здатність такого палива є достатньо високою – 4,9 кВт·год/кг, що в 1,5 рази більше, ніж у деревини і близька до теплоти згоряння вугілля. Так, наприклад, внаслідок

спалювання 2000 кг паливних гранул виділяється стільки ж теплової енергії, як при спалюванні 957 м<sup>3</sup> газу, або 1000 л дизельного палива, або 1370 л мазуту.

Розвиток будівельних технологій потребує нових будівельних матеріалів, що відповідають сучасним вимогам з енергозбереження та екобезпеки. Однією з таких технологій є виробництво «сендвіч-панелей» (SIP-панелей).

SIP-панелі (рис. 4) є універсальним продуктом, незамінним для сучасного будівництва. Вони відрізняються унікальними властивостями і характеристиками: міцністю, низькою масою і високою несучою здатністю, швидкістю і зручністю монтажу, високими тепло- і звукоізоляцією, вологостійкістю і вогнестійкістю.

У сучасному виробництві для стінок «сендвіча» використовуються плити ОСП/OSB або «орієнтовано-стружкові плити». Як утеплювач застосовується спінений пінополістирол (пінопласт) щільністю 15, 25, 35 кг/м<sup>3</sup>. Характеристики SIP-панелей наведено в табл. 2.

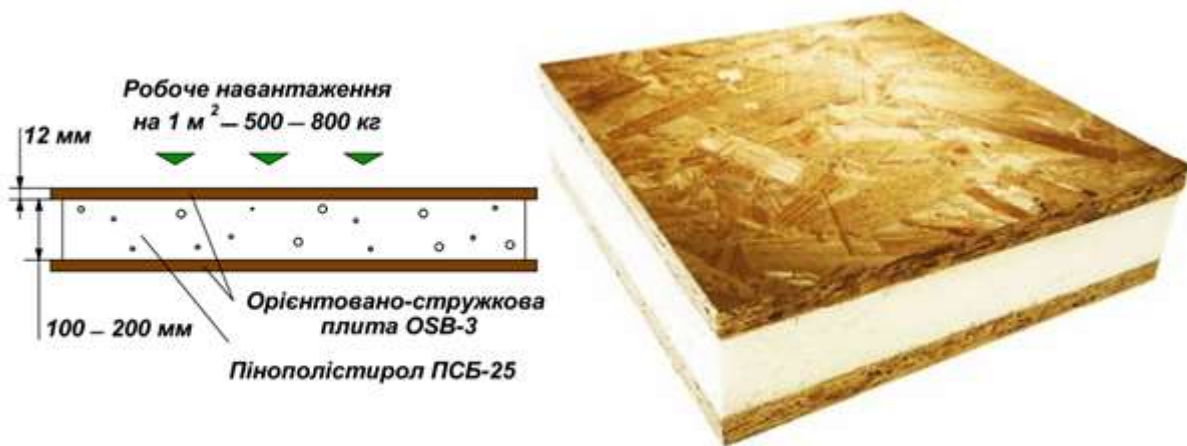


Рисунок 4 – Конструктивні особливості SIP-панелей

SIP-панелі придатні до використання в усіх кліматичних зонах. Панелі мають високі теплоізоляційні властивості та розраховані на температурні коливання від – 50 до + 50 °С. Щоб досягти таких само низьких тепловтрат, цегляна стіна повинна бути в 15 разів товща (2 – 3 метри) або додатково утеплюватися (рис.5).

Таблиця 2 – Характеристики SIP-панелей

Показник	Значення
Міцність	5-10 кг/см <sup>2</sup>
Щільність	30-50 кг/м <sup>3</sup>
Теплопровідність	0,03-0,09 Вт/(м·К)
Морозостійкість	20-50 циклів
Усадка	0,5-1 % мм/м
Водопоглинання	5-10 %

На прикладі ДП МО України «Київський деревообробний завод» було проведено порівняльну характеристику еколого-економічної ефективності впровадження розглянутих вище технологій утилізації деревних відходів.

Завод використовує 2200 м<sup>3</sup> деревини на рік. Частка відходів (тирса, стружка, обрізки, деревне борошно) становить 350 т/рік і використовується в якості палива в котловому агрегаті ДКВР 4/13, призначеному для теплопостачання сушильного господарства. Величина викидів оксидів азоту в атмосферне повітря перевищує нормативні значення. Для зменшення антропогенного навантаження на довкілля було запропоновано методи утилізації відходів деревини.

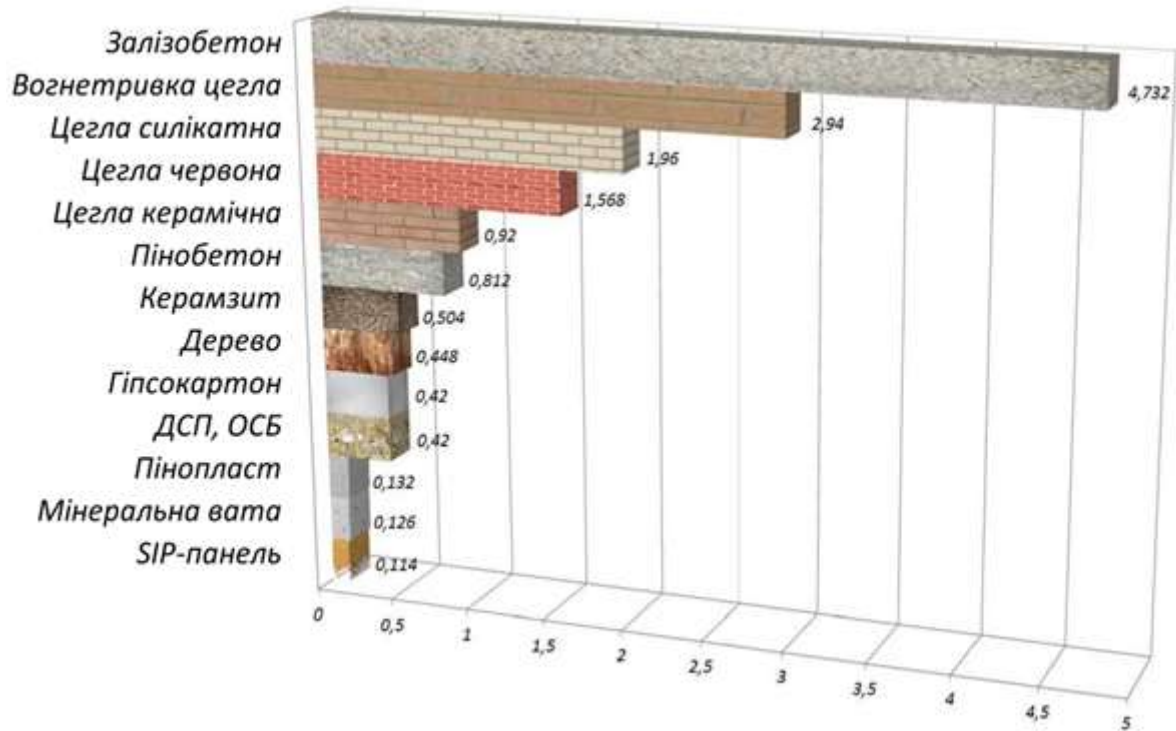


Рисунок 5 – Порівняльна товщина будівельних матеріалів (м)

В результаті розрахунків було отримано наступні дані:

- розмір компенсації збитків до реконструкції підприємства – 6361,553 грн.
- зменшення щорічних витрат після реконструкції при спалюванні деревних пеллет – 6306,499 грн., а при спалюванні природного газу – 6304,981 грн.

Для виготовлення деревних пеллет запропоновано встановлення прес-гранулятора КАНЛ 38-600, а також твердопаливного котла Viadrus Hercules ECO/10 SD для їх спалювання з метою тепло забезпечення сушильного господарства.

Для виготовлення SIP-панелей було запропоновано встановлення формувальної лінії для OSB панелей «Crown Former» з пресом «ContiRoll» та лінії «МКМ-2» для пресування SIP-панелей.

Капітальні витрати на встановлення технологічного обладнання наведено в табл. 3.



Таблиця 3 – Витрати на матеріали та устаткування

Устаткування	Ціна (В <sub>м.у.</sub> ), грн.
<b>Виготовлення деревних пеллет</b>	
Прес-гранулятор KANL 38-600	250000
Твердопаливний котел Viadrus Hercules ECO/10 SD	46071
Усього	$\Sigma = 296071$
<b>Виготовлення SIP-панелей</b>	
Формувальна лінія «Crown Former» та прес «ContiRoll»	500000
Лінія «МКМ-2»	650000
Усього	$\Sigma = 1150000$

Таким чином, термін окупності технології виготовлення деревних пеллет становить 2 роки 9 місяців, технології виготовлення SIP-панелей – 1 рік 8 місяців.

Чистий економічний ефект становить:

- при виробництві деревних пеллет – 98195,231 грн./рік;
- при виробництві SIP-панелей – 4239271,013 грн./рік.

#### **Висновки:**

1 Отримані в результаті проведення еколого-економічного розрахунку дані ефективності впровадження розглянутих технологій утилізації відходів деревини (виготовлення деревних пеллет та SIP-панелей) дозволяють зробити висновок про доцільність реалізації обох технологій в екологічному аспекті (практично 4-кратне зниження викидів NO<sub>x</sub>).

2 Впровадження технології виготовлення SIP-панелей є більш доцільним, оскільки термін окупності на 40 % нижчий, ніж при реалізації технології виготовлення деревних пеллет, як методу утилізації відходів деревини на підприємстві.

#### **Література**

1. Сафонов А. О. Тенденции развития производства композиционных материалов из отходов древесины / А. О. Сафонов // Научный журнал КубГАУ. – 2012. – № 75 (01).
2. С. В. Гайда. Ефективне використання вживаної деревини як основа для зменшення викидів CO<sub>2</sub>. // Науковий вісник НЛТУ України. – 2009. – Вип. 19.14. – С. 72 – 88.
3. Ветошкин А.Г. Защита литосферы от отходов: учебное пособие. / А. Г. Ветошкин. – Пенза.: Издательство Пенз. гос. ун-та, 2005. – 250 с.
4. Лотош В.Е. Переработка отходов природопользования / В. Е. Лотош. – Екатеринбург : Полиграфист, 2007. – 503 с.
5. Міщук І.С. Природокористування в контексті цивілізаційного розвитку / І.С. Міщук // Економіка природокористування і охорони довкілля : [зб. наук. праць]. – К. : РВПС України НАН України, 2006. – С. 147–153.
6. Новак У.П. Оцінка впливу діяльності деревообробних підприємств в контексті забезпечення екологічної безпеки / У.П. Новак // Сучасні інформаційні технології управління екологічною безпекою, природокористуванням, заходами в надзвичайних ситуаціях: зб. наук. праць VII Міжнар. наук.-практ. конф., (1-5 вересня 2008 р.). – Київ-Харків-АР Крим, 2008. – С. 94-97.

УДК 662.62/.67

Жукова Н.І., ст. викладач, Крючков А.І., доц., к.т.н.,  
Смоляр В.Г., інженер, І.В. Костюк, студент

### **ОБГРУНТУВАННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ ВИДОБУТКУ БУРОГО ВУГІЛЛЯ З ПОДАЛЬШОЮ ЙОГО ГАЗИФІКАЦІЄЮ**

*Обгрунтовано доцільність будівництва Березівського розрізу з подальшою газифікацією видобутого бурого вугілля для забезпечення потреб промислових підприємств Олександрійського району та населення у зв'язку зі скороченням запасів нафти і газу, зростанням цін на енергоносії. Це дозволить зекономити 3134,8 грн. на кожній 1000 м<sup>3</sup> заміщеного природного газу.*

### **ОБОСНОВАНИЕ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ДОБЫЧИ БУРОГО УГЛЯ С ДАЛЬНЕЙШЕЙ ЕГО ГАЗИФИКАЦИЕЙ**

*Обоснована целесобразность строительства Березовского разреза с последующей газификацией добытого бурого угля для обеспечения потребностей промышленных предприятий Александрийского района и населения в связи с сокращением запасов нефти и газа, ростом цен на энергоносители. Это позволит сэкономить 3134,8 грн. на каждой 1000 м<sup>3</sup> замещенного природного газа.*

### **RATIONALE FOR LIGNITE MINING, WITH ITS SUBSEQUENT GASIFICATION**

*The expediency of the construction of the section, followed by Berezovsky gasification of brown coal mined to meet the needs of industrial enterprises Alexandria area and population due to the reduction in oil and gas reserves, rising energy prices. This will save Rs 3134.8. per 1,000 m<sup>3</sup> natural gas substitution.*

*Новизною є те, що пропонується впровадження промислової газифікації бурого вугілля, яка на даний час в Україні не застосовується.*

За багато мільйонів років природа накопичила значні запаси вуглецю у вигляді вугілля, нафти і природного газу. Ці види палива використовуються людством для отримання енергії і хімічних продуктів.

На даний час у зв'язку з труднощами в забезпеченні України нафтою і газом особливої актуальності набуває використання нетрадиційних джерел енергії – вітру, сонця, біогазу.

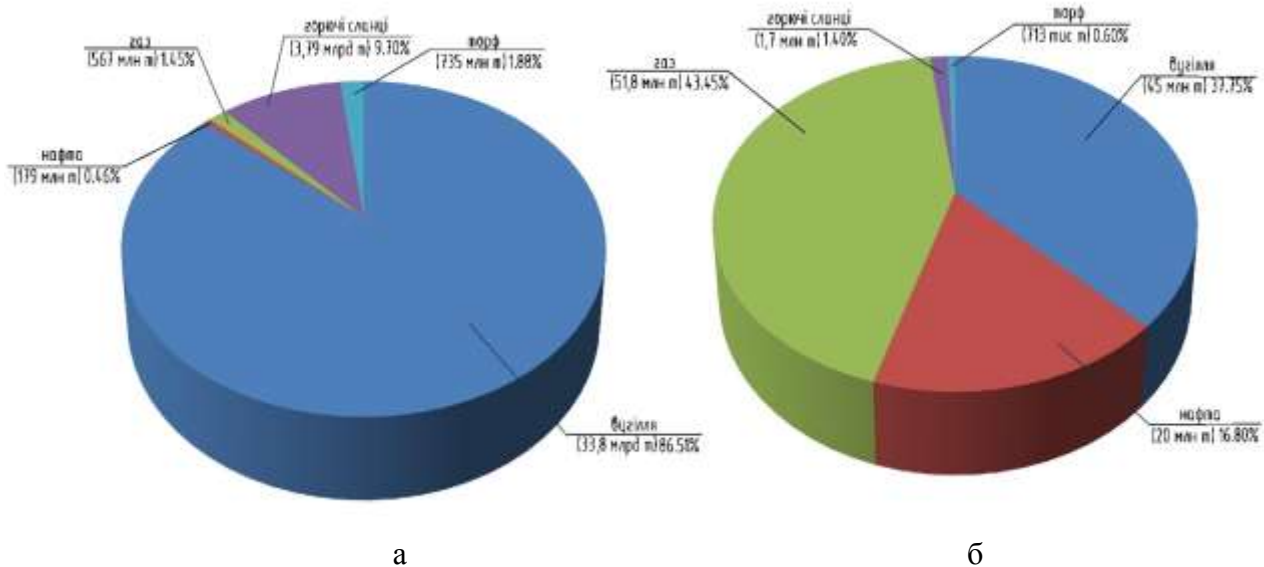
Одним із шляхів вирішення цієї проблеми є розширення сфери використання у великій і малій теплоенергетиці бурого вугілля, що певною мірою сприятиме стабілізації паливно-енергетичного балансу країни та створенню резерву часу для розвитку вугільної промисловості.

Традиційне спалювання бурого вугілля призводить до забруднення навколишнього середовища оксидами азоту, сірки, вуглеводнями та іншими шкідливими речовинами.

Збільшення споживання видобувного вугілля супроводжуватиметься зростанням екологічного навантаження на навколишнє середовище, оскільки при спалюванні і переробці вугілля утворюється більше шкідливих побічних продуктів в порівнянні з нафтою і газом.

Запаси бурого вугілля України, за даними Міністерства вугільної промисловості, оцінюються в 6 – 8 млрд т [1]. Його запаси в Україні досить поширені і представлені великою кількістю родовищ, які утворюють басейни або вугленосні пласти (рис. 1). До 90-х років минулого століття видобуток бурого вугілля відбувався на таких розрізах, як Верболозівський, Костянтинівський, Ново-Олександрівський, Балаховський, Сула-Удайський. Були

спроектовані розрізи Березівський, Верхньодніпровський, Андрушівський та ін. Видобуте вугілля призначалося для брикетування та спалювання на ТЕЦ.



а - співвідношення запасів паливних корисних копалин в Україні; б - співвідношення споживання паливних корисних копалин в Україні.

Рисунок 1 – Запаси паливних корисних копалин в Україні та їх споживання

У зв'язку з тим, що ТЕЦ були переведені на природний газ, робота буровугільних підприємств була зупинена, тому що подальша їх розробка вважалась недоцільною.

У зв'язку зі скороченням запасів нафти і газу та зростанням цін на енергоносії, актуальним залишається пошук нових енергоресурсів в Україні. На даний час Україна змушена купувати російський газ вартістю 3500 грн. (430 у.о.) за 1 тис. м<sup>3</sup>.

Одним з паливних ресурсів, який може сприяти стабілізації паливно-енергетичного балансу країни є буре вугілля.

Збільшити видобуток бурого вугілля можна тільки шляхом докорінної реконструкції та будівництва нових вугільних розрізів, шахт. У свою чергу це вимагає тривалого часу і великих капітальних вкладень.

Пропонується будівництво Березівського розрізу з геологічними запасами 19,957 млн. т. та подальша газифікація видобутого бурого вугілля для забезпечення потреб в газі Олександрійського району.

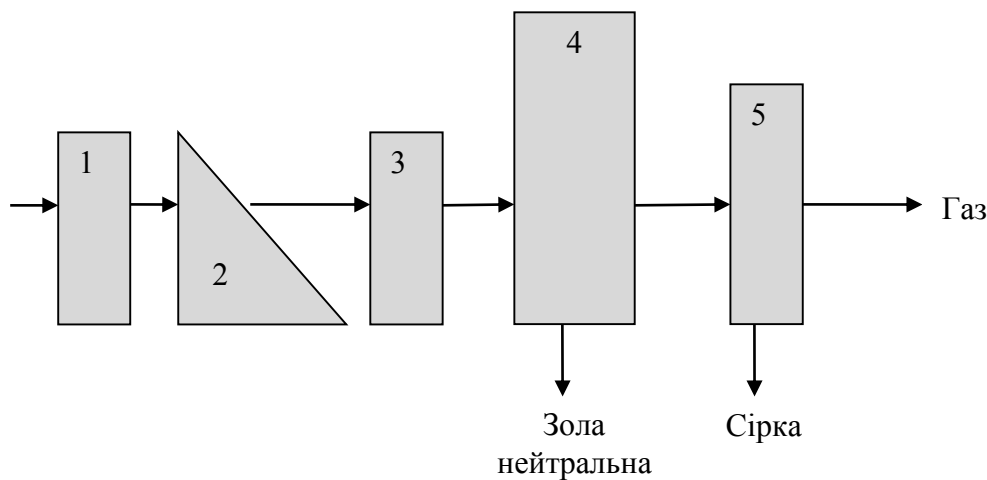
В Олександрійському районі 70% споживачів природного газу – це населення, 25% – підприємства теплоенергетики, 5% – об'єкти промисловості.

Загальна чисельність населення Олександрійського району становить 41 108 чоловік. У середньому обсяги споживання природного газу – 434,3 м<sup>3</sup>/чол.рік. Щорічна потреба в споживанні газу населенням на опалення та інші потреби становить 17 852 800 м<sup>3</sup>. Підприємства теплоенергетики та промисловості споживають газ обсягом – 7 651 200 м<sup>3</sup>/рік. Загальна кількість спожитого газу в Олександрійському районі дорівнює 25 504 000 м<sup>3</sup>/рік.

З урахуванням чинників, які впливають на місце закладення розкривних виробок, а саме – мінімальна потужність розкривних порід, наявність під'їзних комунікацій, повнота виймання корисної копалини та рівномірне просування фронту гірничих робіт пропонується закладення розкривних виробок у північній частині родовища. Пропонується розкриття родовища розрізною траншеєю довжиною 850 м та виізною траншеєю зовнішнього закладення. Це забезпечить повноту виймання запасів корисної копалини обсягом 19,3 млн. т.

Рациональна вологість вихідного вугілля для процесу газифікації – до 65%, зольність – до 40%. Оптимальна зольність становить 20%.

Газифікація має найбільше значення для місцевого газопостачання районів, віддалених від родовищ природного газу і нафти або від магістральних трубопроводів. Перед процесом газифікації буре вугілля подрібнюють, а за необхідності підсушують (необхідна вологість коливається в межах 10 – 65 %). Дуже важливо привести буре вугілля до необхідної крупності – це може бути газифікація кускового (> 3мм), дрібнодисперсного (1–3мм) і тонкодисперсного (<0,1 мм) вугілля [2]. На рис.2 зображена технологічна схема модульної установки для переробки вугілля в паливні компоненти.



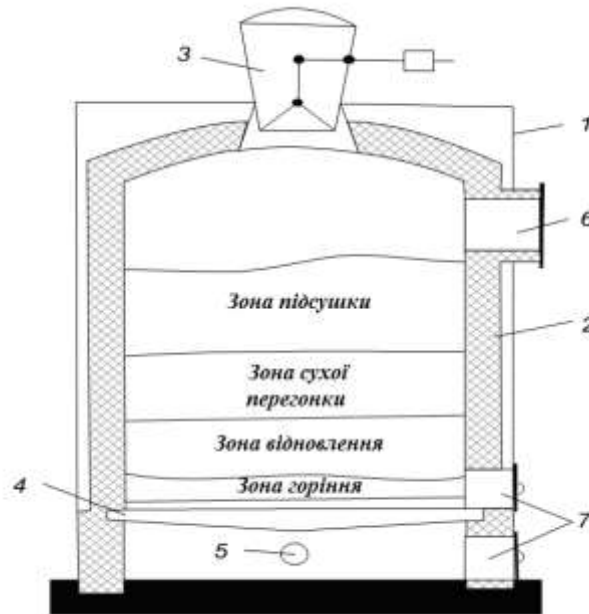
1 – вузол подрібнення вугілля; 2 – грохот; 3 – вузол сушки вугілля; 4 – газогенератор; 5 – блок очистки газів

Рисунок 2 – Технологічна схема модульної установки для переробки вугілля

Принципову схему газогенератора і газогенераторного процесу наведено на рис.3 [3]. Газогенератор являє собою вертикальну камеру (шахту), виготовлену з будівельної цегли і викладену всередині вогнетривом 2. Через отвір 3, розташований у верхній частині газогенератора в камеру завантажується шар палива (вугілля, коксу) різної фракції, підтримуваний колосниковими ґратами 4, під які через спеціальний отвір 5 подається повітря, кисень або пар в залежності від застосовуваної технології. Утворений в шарі палива газ відводять через отвір 6, розташований над шаром палива в стінці газогенератора. Шлаки та зола видаляються через дверцята 7, що знаходяться у стінці шахти. Паливо, що завантажується в газогенератор завдяки безперервному його витрачання поступово спускається вниз.

У верхній частині шару палива, що називається зоною підсушування, паливо прогрівається і підсушується гарячими газами, що надходять знизу. У середній частині шару,

яка називається зоною сухої перегонки, паливо під впливом газів з температурою 550 – 800<sup>0</sup>С піддається розкладанню: утворюються гази, пари смоли, волога; паливо перетворюється в напівкокс і кокс. Нижче, в зоні газифікації, де температура перевищує 1000<sup>0</sup>С, кокс взаємодіє з газами дуття. У результаті реакцій з вільним киснем дуття, який в зоні газифікації повністю витрачається, вуглець палива перетворюється в СО і СО<sub>2</sub>, водяна пара реагує з вуглецем з утворенням Н<sub>2</sub>, СО та СО<sub>2</sub>.

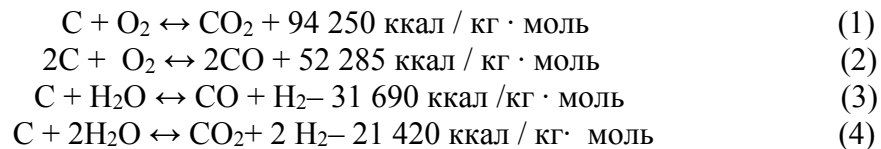


1 - газогенератор з листової сталі; 2 – теплоізоляція (вогнетривка цегла); 3 – бункер для завантаження палива; 4 – колосникові ґрати; 5 – отвір для подачі повітря та пару; 6 – отвір для відведення газу; 7 – дверцята для видалення шлаку і золи

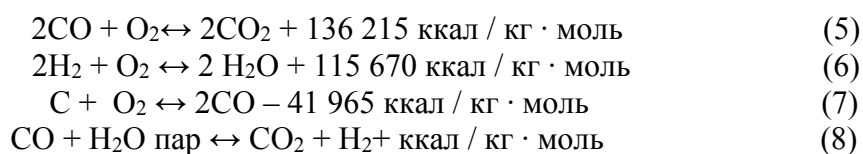
Рисунок 3 – Схема газогенератора та газогенераторного процесу

Газифікація вугілля є складним багатостадійним гетерогенним фізико-хімічним процесом.

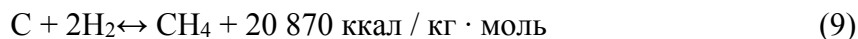
При цьому протікають наступні основні первинні реакції вуглецю вугілля з киснем і водяною парою



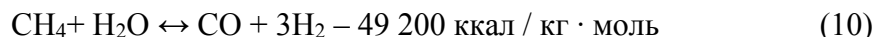
Газоподібні продукти, що утворюються за реакціями (1) - (4), реагують між собою, а також вступають у взаємодію з первинними вуглецем палива та окислювачами за реакціями:



Можливе також застосування гідрогазифікації – газифікації воднем:



При цьому метан може вступати в реакції конверсії з водяною парою і оксидом вуглецю:



Зазвичай газифікуючими агентами служать повітря, кисень і водяна пара.

Температура газифікації в залежності від застосованої технології може коливатися в широких межах 850 – 2000<sup>0</sup>С. Чим вище вологість сировини, тим вище температура газифікації. Діапазон тисків газифікації від 0,1 до 10,0 МПа і вище. Газифікація під тиском доцільна у випадках отримання газу, що використовується потім в синтезах, які проводяться при високих тисках (знижуються витрати на стиск синтез-газу).

При підвищенні температури можна переробляти малореакційне та коксівне вугілля широкого гранулометричного складу.

Для газифікації під високим тиском пилоподібних палив у газогенератор подають водяну суспензію вугілля концентрацією до 70%. Недоліком цього способу подачі вугілля є значна витрата тепла на випаровування води в газогенераторі, але вугілля не вимагає попередньої сушки, і виключається подача пари в газогенератор.

Газифікатор бурого вугілля з 1 т сировини виробляє 3800 м<sup>3</sup>/год генераторного газу калорійністю 1200 ккал/м<sup>3</sup>, що еквівалентно 550 – 600 м<sup>3</sup> природного. Для отримання генераторного газу, еквівалентного 1000 м<sup>3</sup> природного необхідно 1,3 т бурого вугілля.

Споживання електроенергії становить 55 кВт·год/т, вартістю 1,05 грн/кВт·год. Пропонується установка когенерації – спільне вироблення електричної і теплової енергії. Установка блоку когенерації дозволить виробити з генераторного газу теплову та електричну енергію. Собівартість одного кВт не перевищує 55 коп, що дозволить зекономити 50% вартості електроенергії. Щоб виробити генераторний газ для заміщення 1000 м<sup>3</sup> природного необхідно витратити 95,7 кВт·год, вартістю 52,64 грн.

Собівартість генераторного газу еквівалентного за теплотворністю 1000 м<sup>3</sup> природного, враховуючи собівартість вугілля, становить 365,2 грн/тис.м<sup>3</sup>.

Купівля російського газу здійснюється за ціною 3500 грн тис.м<sup>3</sup>. Економія від використання генераторного газу становить 3134,8 грн на кожній 1000 м<sup>3</sup> заміщеного природного газу.

Олександрійський район щорічно споживає 25,504 млн м<sup>3</sup>/рік газу, вартістю 89,264 млрд грн/рік. При використанні установок газифікації бурого вугілля, яким багатий регіон, економія становить 9,31 млрд. грн/рік.

### **Висновки**

1. Впровадження нових технологій газифікації бурого вугілля дозволяють вирішити проблему стабілізації паливно-енергетичного балансу країни та створення резерву часу для розвитку вугільної промисловості. Цей напрямок дозволяє забезпечити газом райони, віддалені від родовищ природного газу і нафти або від магістральних трубопроводів. Економія від використання генераторного газу становитиме 1760 грн/тис.м<sup>3</sup> на кожній 1 тис. м<sup>3</sup> заміщеного природного газу.

2. Україна, маючи значний науковий, виробничий потенціал, має реальну можливість вирішити паливно-енергетичну проблему шляхом газифікації бурого вугілля, що дозволить вивести країну з розряду енергодефіцитних.

### **Список літератури**

1. Буре вугілля : Ресурси. Властивості. Переробка / І.Д. Дроздик, Ю.С. Кафтан, Ю.Б. Должанська [та ін.] // Кокс та хімія. – 2002. – №9. – С. 43-45.
2. Зубілін І.Г. Отримання синтез-газів для виробництва екологічно чистих моторних палив: теорія та технологія/І.Г. Зубілін, В.І. Рудика. – Харків: Харківський національний університет, 2002. – 315 с.
3. Кричко А.А. Непаливне використання вугілля / А.А. Кричко, В.В. Лебедев, І.Л. Фірберов. – М.: Надра, 1978. – 215 с.

УДК 678.065.004.82

Крючков А.І., доц., Сергієнко М.І., Жукова Н.І., ст..викл.

### УТИЛІЗАЦІЯ ТЕХНІЧНОЇ ВОДИ ПІДЗЕМНИХ ГІРНИЧИХ ПІДПРИЄМСТВ

*В статті розглянута актуальна проблема утилізації шахтних вод. Для вирішення цього питання запропонована технологічна схема очищення шахтних вод методом дистиляції за допомогою геотермальної енергії з метою їх подальшого використання.*

*Ключові слова: водні ресурси, водопритоки, шахтні води, мінералізація, гірничі виробки, очищення, геотермальна енергія, використання шахтних вод.*

А.И.Крючков, доц., Н.И. Сергиенко, Н.И. Жукова, ст.препод.

### УТИЛИЗАЦИЯ ТЕХНИЧЕСКОЙ ВОДЫ ПОДЗЕМНЫХ ГОРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

*В статье рассмотрена актуальная проблема утилизации шахтных вод. Для решения этого вопроса предложена технологическая схема очистки шахтных вод методом дистилляции с помощью геотермальной энергии с целью их дальнейшего использования.*

*Ключевые слова: водные ресурсы, водопритоки, шахтные воды, минерализация, горные выработки, очистка, геотермальная энергия, использование шахтных вод.*

A.I.Kruchkov, associate professor, N.I. Sergienko, N.I. Zhukova, senior lecturer

### UTILIZATION MINE WATER OF UNDERGROUND MINING COMPANIES

*In the article deals the actual problem of disposal of mine water. To resolve this issue suggested scheme of treatment of mine water by distillation, using geothermal energy for further.*

*Key words: water resources, recycling of water, mine water salinity, mine workings, methods of cleaning, pumping mine water and thermal energy mountain massif, the use of mine water.*

**Вступ.** Вода відіграє виняткову роль в процесах обміну речовин. Запаси прісної води потенційно великі, проте їх обсяги знижуються в будь-якому районі світу через нераціональне водокористування та забруднення. Потреби у воді величезні і щорічно зростають. Нераціональне водоспоживання гідроресурсів і виникнення багатьох з цим пов'язаних екологічних проблем викликає дефіцит і якісне виснаження прісних вод в тих чи інших регіонах України, зокрема в Донбасі.

Видобуток вугілля супроводжується значними водопритоками в шахти, сумарна величина якого досягає 25 м<sup>3</sup> / с (777,6 млн. м<sup>3</sup> на рік). В Україні при відпрацюванні пластів на 1 т вугілля, припадає близько 3 м<sup>3</sup> води. Підприємства вугільної промисловості відкачують великий обсяг шахтних вод (більше 2,5 млрд. м<sup>3</sup> рік, з них, наприклад, у Донбасі близько 800 млн. м<sup>3</sup>/рік), з яких близько 50% нейтральні. У басейн Чорного моря від вуглевидобувних підприємств України надходить 129,4 млн. м<sup>3</sup> шахтних і кар'єрних вод. Введення всього обсягу відкачених шахтних вод у системи водопостачання підприємств і населених пунктів підвищить водообіг і забезпечить посушливі райони країни необхідною кількістю води. В Україні існує проблема нестачі прісної води. Вирішення проблеми використання шахтних представляє актуальну наукову задачу.

**Результати досліджень.** Гірниче виробництво впливає на зміну водного режиму, забруднення і засмічення вод басейну. При проникненні поверхневих і підземних вод у вироблений простір і гірничі виробки через пори в гірських породах, через водовідливні канали, трубопроводи і насоси водовідливного господарства шахт вони метаморфізуються і перетворюються на шахтні води. Води активно взаємодіють з гірськими породами, атмосферою підземних гірничих виробок, іншими компонентами що становлять гірську систему. Відбувається розчинення у воді різних мінералів і виніс нею часток різного походження. Вода збагачується сторонніми домішками та змінює свій хімічний склад



(мінералізацію), забруднюється твердими зваженими частками органічного та неорганічного походження, а також бактеріологічно, у деяких випадках набуває кислій реакції ( $\text{pH} < 6$ ).

Шахтні води викликають корозію матеріалу труб і арматури, а ступінь їх впливу визначається значенням  $\text{pH}$ , вмістом іонів  $\text{H}^+$ ,  $\text{OH}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Zn}^{+2}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{NH}_4^+$  і розчиненого кисню. Особливо небезпечні для споруд кислі і високомінералізовані води [1]

Загальний водоприток в шахти і кар'єри складається: з припливу підземних вод водоносних горизонтів; вод, що надходять із дренажних та затоплених виробок і сусідніх шахт або кар'єрів; технічних вод, що подаються в шахту або кар'єри для закладення, зрошування, буріння свердловин; поверхневих вод і атмосферних опадів. Режим надходження води у виробки (рис.1) залежить від сукупності взаємодіючих природних (кліматичних, геоморфологічних, геологічних та гідрогеологічних) і технологічних (форми та розмірів ділянки гірничих робіт, глибини та інтенсивності робіт) факторів.

При визначенні водопритоку в шахти використовують різні методи: 1) гідрологічної аналогії; 2) гідравлічний; 3) метод водного балансу; 4) метод моделювання в залежності від конкретних гідрологічних умов і гірничотехнічних умов роботи гірничого підприємства. Більш детально розглянемо метод гідрологічної аналогії заснований на аналогії гідрологічних і гірничо-технологічних умов шахт, які експлуатуються. Водоприток  $Q_p$  шахти, заснований на гідродинамічній залежності розраховується за формулою

$$Q_p = Q_e \frac{(2H_p - S_p)S_p}{(2H_e - S_e)S_e},$$

де  $Q_p$  – притік води в проектувану шахту,  $\text{м}^3/\text{год}$ ;  $Q_e$  – притік води в шахту-аналог,  $\text{м}^3/\text{год}$ ;  $H_p$ ,  $H_e$  – потужність водоносного горизонту проектної шахти та шахти-аналога, м;  $S_p$ ,  $S_e$  – зниження рівня в проектній шахті та шахті-аналозі, м.

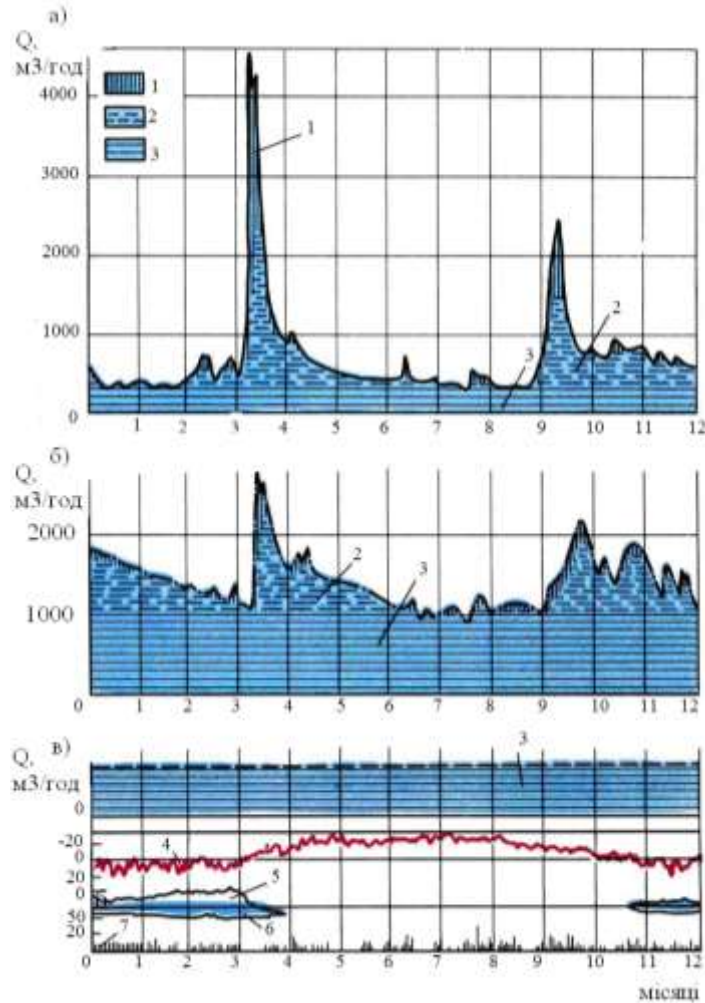


Рис.1 Залежність притоку води в шахти від глибини і метеорологічних факторів: а- глибина виробки від 150-300 м.; б- глибина виробки від 350-450 м.; в-більше 450;

1- приток шахтної води за рахунок інфільтрації і інфлюрації від поверхневого стоку над площею що обробляється; 2 - періодичний стік підземної води з максимумами (весною і восени); 3 - постійний стік підземної води; 4 - середньодобова температура повітря; 5 - товщина снігового покриву, см; 6 - товщина замерзлого ґрунту, см; 7 - добова кількість опадів ,мм.

Використання технічних шахтних вод можливе тільки після їх очищення. Найпоширенішим методом опріснення стічних вод є дистиляція (випарювання). При цьому одержання теплової енергії традиційним способом (спалювання твердого палива) завдає непоправної шкоди навколишньому середовищі і створює несприятливу екологічну обстановку., тому в запропонованій технології очищення шахтних вод,з метою зменшення навантаження на навколишнє середовище, використовуємо теплову енергію гірського масиву (геотермальну енергію) (рис.2).

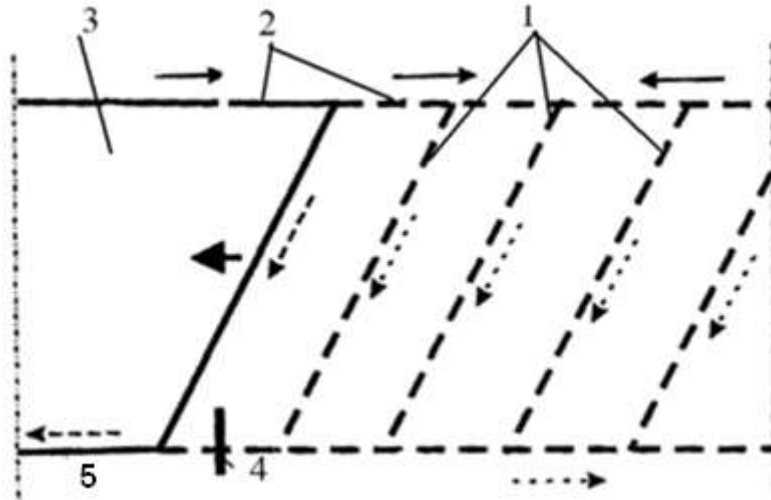


Рис.2 Схема геотеплообмінника на ділянці видобутку корисної копалини  
 1 – відпрацьований простір 2 – виробка для підведення свіжого повітря 3 – гірський масив 4 – вентиляційна перемичка; 5 – виробка по якій відводиться відпрацьований струмінь повітря

Необхідну кількість енергії забирають з відпрацьованого простору, де в процесі виїмки вугільного пласта утворюються пустоти (1). По виробці (2) із забою пропускається частина повітря необхідна для провітрювання самого очисного вибою і додаткова частина повітря для очистки води. Повітря що проходить по пустотах відпрацьованого простору(1), нагрівається до температури гірського масиву (3), яка на глибоких горизонтах досягає 45 ... 50<sup>0</sup>С і разом з цим здобуває додаткову енергію (так званий геотермальний спосіб отримання енергії). Зі збільшенням температури повітря, збільшується геотермальна енергія, отже підвищується рівень та кількість очищеної шахтної води. [2] Температуру повітря  $t_2$  (в <sup>0</sup>С) в кінці горизонтальної або похилої виробки довжиною  $L$ , пройденою під кутом  $\alpha$ , розраховується за формулою

$$t_2 = N_2 + \sqrt{N_2 + D_2 \left[ t_1 + A_1 \left( t_{п.ср} - \frac{t_1}{2} \right) + \frac{L \sin \alpha}{427 c_p} + \frac{\sum Q_m + q_0 F_{ок}}{G_{ср}} \right] - \frac{m}{l} + \frac{d_1 \varphi_1}{l \varphi_2}},$$

де  $t_1$ - температура повітря на початку виробки, <sup>0</sup>С;  $t_{п.ср}$  - середня по довжині виробки температура породи, <sup>0</sup>С;  $q_0$ - питома теплота окислення породи, ккал/(г\*м<sup>2</sup>\*<sup>0</sup>С);  $F_{ок}$ -площа поверхні окислених порід, м<sup>2</sup>;  $\sum Q_m$ -тепловиділення від місцевих джерел, ккал/г;  $m, l$  - коефіцієнти зв'язку вологовмісту та температури,  $\varphi_1$  та  $\varphi_2$  – відносна вологість повітря на вході та в кінці виробки, приведена до нормального атмосферного тиску ( $B= 760$  мм рт. ст.);  $G_{ср}$ - середня витрата повітря при проходженні по виробці, кг/г;  $c_p$ - теплоємність повітря при постійному тиску

Регулювання витрат повітря через канали відпрацьованого простору і очисну виробку проводиться шляхом періодичного зведення вентиляційної перемички (4) між каналами та очисною виробкою, де проводилася виїмка корисної копалини. Схема та технологія очищення забрудненої шахтної води наведена на рис. 3. Повітря, що досягло температури природного масиву, через трубопровід (1) прокладений по виробці для підведення повітря за допомогою компресора (2) направляють по повітряному трубопроводу у вихрову трубу (4), де відбувається його поділ на два повітряні потоки – гарячий (5) і холодний (3). Паралельно, забруднена шахтна вода (6) надходить у випарник (7) і переходить в пароподібний стан завдяки гарячому потоку повітря, що надходить по трубопроводу з вихрової труби. Цей

гарячий потік повітря зумовлює переведення неочищеної води в пароподібний стан. Очищена вода в стані перегрітої пари подається по паропроводу (11) і ходку (12) в конденсатор (13), що виконаний у вигляді окремої споруди.

У конденсаторі відбувається перехід води з пароподібного стану в рідкий за рахунок контакту пари з холодними поверхнями. Частково пара конденсується на стінках ствола і у вигляді води стікає в зумпф (10), звідки її перекачують за допомогою водовідливної установки (9) в водозбірник очищеної води (14) і переправляють до споживача. Зважені і розчинені речовини, що містяться в неочищеній воді, накопичуються в випарнику, з якого періодично зливають ці речовини в спеціальну ємність (14).

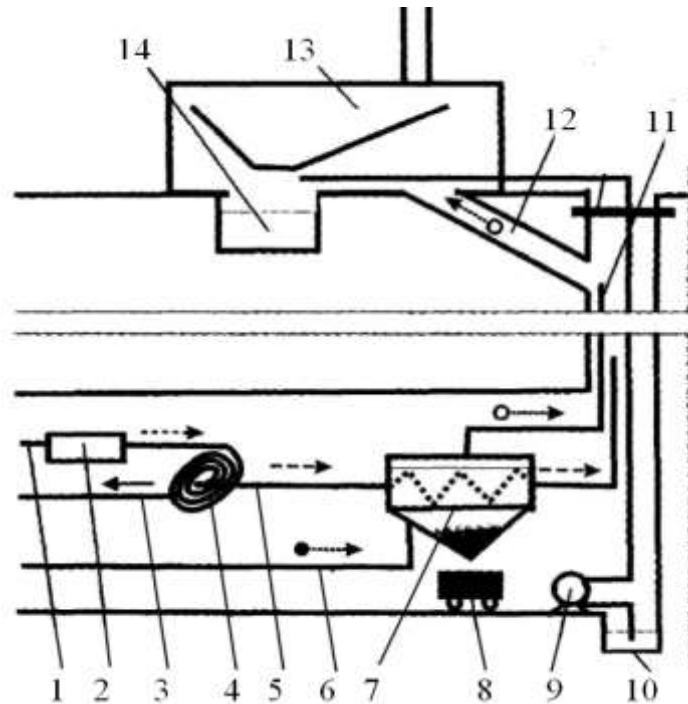


Рис. 3. Схема очищення забрудненої шахтної води

- 1- трубопровід підведення гарячого повітря; 2 – компресор; 3 – трубопровід відведення холодного повітря; 4 -вихрова труба; 5 – трубопровід з гарячим повітрям; 6 – трубопровід забрудненої шахтної води; 7 – випарник; 8 – завантаження відходів випарення; 9 – водовідливна установка; 10 – зумпф ствола; 11 – паропровід; 12 – ходок; 13 – конденсатор; 14 – водозбірник очищеної шахтної води

Використання даної технології дає змогу зменшити кількість забруднюючих речовин в забрудненій шахтній воді (табл.1) , і зробити її придатною для різноманітного використання.

Таблиця 1. Кількість забруднених речовин на вході та виході з установки очистки

Забруднюючі воду речовини	На вході в установку очистки	На виході з установки очистки
Зважені частки, мг/м <sup>3</sup>	5	1
Залізо загальне, мг/м <sup>3</sup>	0,24	0,05
Кальцій, мг/м <sup>3</sup>	32,5	3,3
Магній, мг/м <sup>3</sup>	29	2,3
Хлориди, мг/м <sup>3</sup>	283	19,8
Сульфати, мг/м <sup>3</sup>	524,3	53,4
Na+K, мг/м <sup>3</sup>	740	81

**Висновки.** Використання в населених пунктах очищених шахтних вод за допомогою розробленої схеми дозволить вирішити проблеми: створення екологічного благополуччя території; наближення джерел води до районів, віддалених від джерел водопостачання на значні відстані; поліпшення якості води. Очищену шахтну воду можна використовувати для сільськогосподарської та рекреативної рекультивациі. Видалений осад можна використовувати як основу для отримання цінних речовин, що містяться в шахтній воді. При відкачуванні та очищенні шахтних вод встановлюється максимально близький до природного кругообіг води (фільтраційний обмін підземних і поверхневих вод).

Запропонований метод очищення шахтної води з використанням геотермальної енергії дасть змогу знизити собівартість очищеного продукту (дистиляту) і раціонально використовувати вичерпні види енергоносіїв (таких як вугілля, природний газ, торф), які необхідні для перетворення води в пароподібний стан відомими способами, і які в умовах сучасної енергетичної проблеми є цінною сировиною [3,4].

#### ЛІТЕРАТУРА

1. *Мирзаев Г.Г.* Экология горного производства: Учебник для вузов / Г.Г.Мирзаев, Б.А.Иванов. – М.: Недра, 1991. – 320 с.
2. *Ушаков К.З.* Рудничная аэрология / Ушаков К.З., Бурчаков А.С., Медведев И.И. -М.: Недра, 1998.-298
3. *Матлак Е.С.* Снижение загрязненности шахтных вод в подземных условиях / Матлак Е.С., Малеев В.Б.. – К.: Техника, 1991. – 136 с.
4. *Горшков В.А.* Очистка и использование сточных вод предприятий угольной промышленности / Горшков В.А. - М., Недра, 1981.-125 с.

УДК 5.502

**Ополінський І. О., студент, Козьяков В.С., к.т.н., доцент**  
**ВИКОРИСТАННЯ ІТ-ТЕХНОЛОГІЙ ПРИ ВИРІШЕННІ ЗАДАЧ В ЕКОЛОГІЇ**

*Розглянуто можливі програмні продукти, що застосовуються для вирішення екологічних завдань. Визначені напрями використання ІТ-технологій в сучасних умовах для України.*

*Ключові слова: ІТ-технології, екологія, програмний продукт.*

**Ополинский И.О., студент, Козьяков В.С., к.т.н., доцент**  
**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ІТ-ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ В ЭКОЛОГИИ**

*Рассмотрены возможные программные продукты, применяемые для решения экологических задач. Определены направления использования ІТ-технологий в современных условиях для Украины.*

*Ключевые слова: ІТ-технологии, экология, программный продукт.*

**Opolinsky I.O., Kozyakov V.S.**  
**USING IT-TECHNOLOGIES TO SOLVE ENVIRONMENTAL PROBLEMS**

*Consider possible software used to solve environmental problems. Determined the directions of using IT-technologies in modern terms for Ukraine.*

*Keywords: IT-technology, ecology, software.*

**Вступ.**

В розвинутих країнах світу вже довгий час використовують ІТ-технології у різних галузях. У тому числі і в екології. В Україні, в зв'язку з економічними та політичними проблемами, використання програмних продуктів в галузі охорони навколишнього природного середовища не набуло подібного розповсюдження.

**Завдання та мета дослідження.**

На сучасному етапі розвитку для України конче необхідно визначити шляхи та напрямки використання ІТ-технологій для вирішення екологічних завдань та підвищення рівня екологічної безпеки держави.

В наш час, найбільш розповсюдженим є роботи на портативних комп'ютерах (ПК) в наступних напрямках:

- робота з текстами (Microsoft Word, Excel);
- робота по вирішенні спеціальних завдань (розрахунки по стандартним методикам з використанням програмного забезпечення (ПЗ), написання програм на C++, java та ін., типу Boiler, ЕКОЗВІТ).

Для екології доступні наступні програмні продукти:

1. Робота з плакатами, стендами, зображеннями (RCad, photoshop та ін.);
2. Робота з графіками (ISOnline, flesh);
3. Робота з комплексами побудови графіків розсіювання забруднюючих речовин (ЗР) (EOL2000[h], efir, planer 5);
4. Робота з картами (Google earth) та спец картами (базами даних еко-GIS);
5. Використання для збору та формування баз даних від стаціонарних систем моніторингу чи рухомих лабораторій та створення можливостей перегляду та контролю за нею за допомогою мобільних телефонів по локальній, глобальній мережі зв'язку (система Enviance, для контролю виконання Кіотського протоколу);

На базі чи з використанням вищенаведених програм та програмних комплексів можливе створення систем експрес моніторингу на базі планшетних комп'ютерів з використанням ПЗ типу LabVIEW та підключення через аналого-цифровий перетворювач різноманітних датчиків (антен, мікрофон, анемометри, визначення ЗР та ін.)

**Висновки.**

Отже, видно, що існує достатня кількість програмного забезпечення для вирішення екологічних завдань. Також можливе створення он-лайн бази даних з доступом до Інтернету, де формування інформації буде створюватися через систему супутникового та наземного моніторингу.

УДК 628.49

### АНАЛІЗ ФАКТОРІВ ВПЛИВУ ОБ'ЄКТІВ ПОВОДЖЕННЯ З ТВЕРДИМИ ПОБУТОВИМИ ВІДХОДАМИ В УКРАЇНІ

*У статті проаналізовано існуючі стани твердих побутових відходів в Україні та проблеми, які існують в цій області, виділені і класифіковані фактори впливу засобів управління відходами.*

*Ключові слова: тверді побутові відходи, спалювання відходів, звалище відходів, фактори впливу.*

### АНАЛИЗ ФАКТОРОВ ВОЗДЕЙСТВИЯ ОБЪЕКТОВ ОБРАЩЕНИЯ С ТВЕРДЫМИ БЫТОВЫМИ ОТХОДАМИ В УКРАИНЕ

*В статье проанализированы существующие состояния твердых бытовых отходов в Украине и проблемы, которые существуют в этой области, выделены и классифицированы факторы воздействия средств управления отходами.*

*Ключевые слова: твердые бытовые отходы, сжигание отходов, свалка отходов, факторы воздействия.*

### ANALYSIS OF IMPACT FACTORS MANAGEMENT FACILITIES WITH SOLID HOUSEHOLD WASTES IN UKRAINE

*In the article analyzed the existing state of the solid household wastes in Ukraine and problems that exist in this area, isolated and classified impact factors management facilities of waste.*

*Key-word: solid house hold wastes, waste incineration, waste landfill, impact factors*

**Вступ.** В Україні утворюються 37 млн. м<sup>3</sup> твердих побутових відходів (далі ТПВ) у рік, (близько 10 млн. т). Вони захороняються на 727 смітниках, загальною площею 3115,3 га [1]. Переважна більшість з них не відповідають нормам екологічної безпеки та перевантажені. Кількість сміттєзвалищ, які перевантажені, – 314 (7%), а 897 сміттєзвалищ (20%) не відповідають нормам екологічної безпеки. Зараз в Україні утилізується та знищується лише незначний обсяг ТПВ (близько 2,5%).

**Мета.** Проаналізувати існуючий стан сфери поводження з ТПВ в Україні та проблеми, що існують в цій галузі, виокремити та класифікувати фактори впливу об'єктів поводження з ТПВ.

Домінуючим методом поводження з ТПВ в Україні є розміщення та поховання ТПВ на сміттєзвалищах і спеціальних полігонах.

Недоліки складування ТПВ на полігонах: необхідність великої площі землі, складність організації нових сміттєзвалищ у зв'язку з відсутністю не зайнятих земель, значні витрати на транспортування ТПВ з місця вилучення до полігону, втрата компонентів ТПВ, які можна повторно використати, екологічна небезпека, потенційна небезпека в щодо.

Фактори впливу при захороненні на полігонах:

- Токсичні речовини, що містяться у фільтраті, який негативно впливає на підземні, поверхневі води та ґрунт.
- Наявність хімічних реакцій, що забруднюють атмосферу.
- Висока пожежонебезпечність на сміттєзвалищах.



- Перевантаження полігону, що може викликати виникнення несанкціонованих смітників.

Спалювання дозволяє приблизно в 3 рази зменшити вагу відходів, усунути деякі неприємні властивості: запах, виділення токсичних рідин, бактерії.

З чотирьох сміттєспалювальних заводів (Київ, Харків, Севастополь, Дніпропетровськ) працюють лише Київський і Дніпропетровський [2], обладнання яких застаріле і не відповідає сучасним екологічним вимогам, внаслідок чого вони стають джерелом забруднення довкілля.

Фактори впливу приспалюванні ТПВ:

- поховання золи (шлаку) від сміттє-спалювання, яка по вазі складає до 30% від початкової ваги відходів і яка в силу своїх фізико-хімічних властивостей не може бути похована на звичайних звалищах, а потребує спеціальні сховища з контролем очищенням стоків [3].

- Значна наявність в шлаку концентрованих небезпечних речовин, що призводять до забруднення ґрунтів, поверхневих та підземних вод

- Значні викиди в атмосферудрібно-дисперсного пилу, оксидів сірки, азоту, фуранами, діоксинами.

- Можливість тимчасового закриття сміттєспалювального заводу може викликати утворення несанкціонованих сміттєзвалищ.

Фактори впливу притаманні обом методам поводження з ТПВ:

- Розташування поблизу населених пунктів спричиняє негативний вплив на населення.

- Вилучення значних площ родючих земель.

- Виникнення значної кількості патогенних мікроорганізмів (бактерії, пліснява, гриби).

- Доступ гризунів, птахів, комах до ТПВ, які можуть погіршити санітарно-епідеміологічну обстановку розносячи інфекції.

- Відсутність повернення у споживання цінних компонентів ТПВ.

**Висновки.** Методи поводження з ТПВ і технології, які використовуються в Україні, не відповідають сучасним вимогам. Сміттєзвалища та сміттєспалювальні заводи стали фактором значного забруднення довкілля.

Виокремивши фактори впливу існуючих методів постає необхідність удосконалення і підвищення дієвості екологічного, економічного, науково-практичного механізму поводження з ТПВ. Не існує універсального методу поводження з ТПВ, який би задовольняв сучасним екологічним вимогам. Найбільш прийнятним є комбінований метод з вилученням цінних компонентів, який передбачає використання відходів як джерела енергії та вторинної сировини.

#### Список бібліографічних посилань

1. Ігнатенко О. П. Економіко-екологічні аспекти поводження з твердими побутовими відходами в Україні: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. екон. наук: 08.08.01 / Ігнатенко Олександр Павлович. – К., 2004. — 21с.

2. Про затвердження Програми поводження з відходами [Електронний ресурс]: Постанова Кабінету Міністрів України від 4 березня 2004р. № 265 — Режим доступу:

<http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/265-2004-%D0%BF>

Петрук М.П. Утилізація та екологічна безпека шлаків сміттєспалювальних заводів. / М.П.

Петрук, О.І. Козій. // Захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування : збірник матеріалів I міжнародного конгресу, Львів, 28-29 червня

2009 р. / Національний університет "Львівська політехніка" та ін. - Л. : Видавництво

Національного університету "Львівська політехніка", 2009. - 157 с. - С.

**РОЗДІЛ Е**  
**ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІ ЕКОБЕЗПЕЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ОБЛАДНАННЯ**

УДК 621.472

Магістрант 6 курсу, гр. ОТ-71 **Бикова А.В.**  
Проф., д.т.н. **Дешко В.І.****ОПТИМІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ СОНЯЧНОЇ УСТАНОВКИ ДЛЯ ПОТРЕБ ГАРЯЧОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ НА БАЗІ ПЛОСКОГО СОНЯЧНОГО КОЛЕКТОРА**

*Щомісячна зміна кута нахилу сонячного колектора (СК) забезпечує максимальну інтенсивність сприйняття сонячної радіації. Обґрунтування вибору площі СК та об'єму баку акумулятора (БА) для ефективної роботи системи. Представлені результати комп'ютерного моделювання системи сонячного гарячого водопостачання. Наведені практичні рекомендації щодо вибору параметрів системи сонячного тепlopостачання для ефективної її роботи.*

*Ключові слова: сонячне випромінювання, плоский сонячний колектор, оптимальний кут нахилу, бак-акумулятор, гаряче водопостачання (ГВС), ефективність.*

**ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ СОЛНЕЧНОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ НУЖД ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ НА БАЗЕ ПЛОСКОГО СОЛНЕЧНОГО КОЛЛЕКТОРА**

*Ежемесячные изменения угла наклона солнечного коллектора (СК) обеспечивает максимальную интенсивность восприятия солнечной радиации. Обоснование выбора площади СК и объема бака аккумулятора (БА) для эффективной работы системы. Представлены результаты компьютерного моделирования системы солнечного горячего водоснабжения. Приведенные практические рекомендации по выбору параметров системы солнечного теплоснабжения для эффективной ее работы.*

*Ключевые слова: солнечное излучение, плоский солнечный коллектор, оптимальный угол наклона, бак-аккумулятор, горячее водоснабжение (ГВС), эффективность.*

**OPTIMIZATION OF PARAMETERS OF SOLAR SYSTEM FOR NEEDS OF HOT WATER SUPPLY SYSTEM BASED ON FLAT SOLAR COLLECTORS**

*Monthly changing of tilt angle of solar collector (SC) provides maximum solar radiation intensity perception. Justification of the choice of SC's area and the tank's volume for the effective functioning of the system. The results of computer simulations of solar hot water supply system. practical guidelines for choosing the parameters of solar heating system for its effective functioning.*

*Keywords: solar radiation, flat solar collector, the optimum tilt angle, tank, hot water supply system (HWSS), efficiency.*

**Вступ**

Середня річна кількість годин сонячного сяйва в Україні зростає з північного заходу на південний схід і південь від 1700 до 2400 год. Найменші його показники спостерігаються на півночі України (1720—1800 год). Найбільше годин сонячного сяйва на узбережжях Чорного і Азовського морів (2300—2 400 год), на південних схилах Кримських гір (більш як 2400 год).

Від кількості годин сонячного сяйва залежить інтенсивність сонячної радіації, що надходить на поверхню Землі за одиницю часу: день, місяць, рік і вимірюється в кілокалоріях

на  $1 \text{ см}^2$  (ккал/см<sup>2</sup>) або мегаджоулях на  $1 \text{ м}^2$  (МДж/м<sup>2</sup>). На території України сумарна радіація в північних районах досягає  $4190 \text{ МДж/м}^2$ , а в південних районах  $4000 - 5200 \text{ МДж/м}^2$ . Більшу частину сонячної радіації поверхня України одержує з травня по вересень.

З сонячною радіацією тісно пов'язаний радіаційний баланс — різниця між сумарною і відбитою радіацією та випромінюванням підстилаючої поверхні. На території України середньорічні показники річної сумарної сонячної радіації в  $\text{МДж/м}^2$  та радіаційного балансу є додатними. В північних районах вони становлять  $1700 \text{ МДж/м}^2$ , в середній частині —  $1850$  і на півдні —  $2650 \text{ МДж/м}^2$ .

Річний потік сонячного випромінювання складає від  $1080 \text{ кВт}\cdot\text{год}$  (в північних регіонах) до  $1400 \text{ кВт}\cdot\text{год}$  (в Криму) на  $1 \text{ м}^2$  горизонтальної поверхні.

Найпоширенішим методом перетворення енергії Сонця в теплову є використання сонячних водонагрівачів (колекторів). В теплу пору року (травень-вересень) вони здатні покривати потреби ГВП на  $90-100\%$ .

Продуктивність сонячного колектора багато в чому залежить від його орієнтації і кута нахилу поглинаючої поверхні до горизонту. Це пов'язано з тим, що орієнтація і кут нахилу змінюють сонячне випромінювання досягнувши поверхні колектора.

Правильна орієнтація СК значно збільшує їх продуктивність. Оскільки висота сонця над горизонтом протягом року змінюється, доцільним є використання СК, в яких кут нахилу до горизонту може регулюватися. В Україні найбільша висота Сонця над горизонтом опівдні складає  $61^\circ-69^\circ$  (22 червня), мінімальна  $14^\circ-22^\circ$  (22 грудня).

У ряді досліджень були проведені різні досліди в цілях оптимізації кута нахилу навколо світу [5-8], в той час як дослідження, пов'язані з Україною нечисленні.

Правильному вибору інших елементів установки також повинна приділятися належна увага. Площа СК і обсяг БА суттєво впливають на ефективність роботи сонячної системи теплопостачання. БА створює особливий вплив на роботу системи. Загальний характер цього впливу - «згладжування» графіка зміни температури води в БА протягом дня.

Створена в середовищі Mathcad програма дозволяє отримувати значення сонячної радіації, отриманої СК та температури води в БА кожну годину. Процес змодельований протягом 10 днів. На підставі цих значень будувалися графіки зміни температури води в БА та ефективності роботи СК протягом доби.

### **Завдання та мета дослідження**

Метою роботи є створення програми розрахунку основних енергетичних та конструкційних параметрів системи сонячного теплопостачання для потреб ГВП. Розробка математичної моделі для дослідження залежності ефективності роботи СК при варіації режимних, конструкційних параметрів та властивостей як самого колектора, так і місцевих кліматичних умов.

Виконано розрахунки кута нахилу сонячного колектору з метою забезпечення максимальної інтенсивності сонячної радіації для приймальної пластини сонячного колектору за весь період експлуатації системи горячого водопостачання

### Методологія

Розрахунок падаючої енергії випромінювання на горизонтальну площину для середнього дня місяця проводиться наступним чином:

$$H_b = H - H_d \text{ [Дж/м}^2\text{]},$$

де  $H$  і  $H_d$  – пряма та дифузна складові енергії випромінювання (Дж/ м<sup>2</sup>) на горизонтальну поверхню і визначаються наступним чином:

$$H = r_t \cdot H_{td},$$

$$H_d = r_d \cdot H_{dd};$$

$H_{td}$  – добова енергія прямого випромінювання на горизонтальну поверхню в атмосфері

$$H_{td} = K_t \cdot H_0 \text{ [Дж/ м}^2\text{]}$$

де  $K_t$  – індекс прозорості атмосфери

$H_{dd}$  – добова енергія дифузного випромінювання на горизонтальну поверхню може визначатися по різним формулам, в залежності від величини кута заходу сонця.

У випадку, якщо  $\omega_s < 81,4^\circ$ , тоді

$$H_{dd} = H_{td} \cdot \left( 1,391 - 3,56 \cdot K_t + 4,189 \cdot K_t^2 - 2,137 \cdot K_t^3 \right),$$

інакше  $H_{dd} = H_{td} \cdot \left( 1,311 - 3,022 \cdot K_t + 3,427 \cdot K_t^2 - 1,181 \cdot K_t^3 \right)$ .

В свою чергу,  $r_t$  – частка погодинної прямої сонячної енергії випромінювання в добовій сумарній енергії.

$$r_t = 0, \text{ якщо } \left| \omega_i \right| > \omega_s$$

де  $\omega$  – сонячний годинний кут середини кожної години, ° (рад):

$$\omega_i = 15 \cdot (12,5 - i)$$

$\omega_s$  – кут заходу сонця, ° (рад):

$$\omega_s = \arccos(-\tan(\psi) \cdot \tan(\delta))$$

де  $\psi$  – широта місцевості, ° (рад). Для Києва  $\psi = 50^\circ 24' = 0,88$  рад.

$\delta$  – схилення Сонця, тобто кутове положення Сонця в ясний день опівдні відносно площини екватора (додатній для північної півкулі), рад:

$$\delta = 23,45 \sin \left( 2\pi \cdot \frac{284 + n}{365} \right),$$

В загальному випадку:

$$r_t = \frac{\pi}{24} \cdot (a + b \cdot \cos(\omega_i)) \cdot \frac{\cos(\omega_i) - \cos(\omega_s)}{\sin(\omega_s) - \omega_s \cdot \cos(\omega_s)},$$

де  $a$  і  $b$  – коефіцієнти, які розраховуються за формулами:

$$a = 0,409 + 0,5016 \cdot \sin \left( \omega_s - \frac{\pi}{3} \right),$$

$$b = 0,6609 - 0,4767 \cdot \sin \left( \omega_s - \frac{\pi}{3} \right)$$

$r_d$  – частка погодинної дифузної сонячної енергії випромінювання в добовій сумарній енергії.

$$r_d = \frac{\pi}{24} \cdot \frac{\cos(\omega_i) - \cos(\omega_s)}{\sin(\omega_s) - \omega_s \cdot \cos(\omega_s)}$$

Добова енергія випромінювання на горизонтальну поверхню поза атмосферою (Дж/м<sup>2</sup>):

$$H_0 = \frac{24 \cdot 3600 \cdot G_{sc}}{\pi} \cdot \left( 1 + 0,033 \cdot \cos\left(2\pi \cdot \frac{n}{365}\right) \right) (\cos(\psi) \cdot \cos(\delta) \cdot \sin(\omega_s) + \omega_s \cdot \sin(\psi) \cdot \sin(\delta))$$

де  $G_{sc} = 1367$  Вт/м<sup>2</sup> – сонячна константа.

$\beta$  – кут між площиною колектора і горизонтальною поверхнею, тобто кут нахилу СК;

$\gamma$  – азимутальний кут площини, тобто відхилення нормалі до площини від місцевого меридіану (за початок відліку приймається південний напрямок, відхилення до сходу вважається додатнім, до заходу – відмінним);

$\theta$  – кут падіння прямого сонячного випромінювання, що вимірюється між напрямком випромінювання і нормаллю до поверхні.

$$\Theta = \arccos(\sin(\psi) \cdot \sin(\delta) + \cos(\psi) \cdot \cos(\delta) \cdot \cos(\omega_i))$$

Енергія випромінювання, що падає на площину колектора для кожної години доби і сумарна добова енергія випромінювання

$$H_t = H_b \cdot R_b + H_d \cdot \frac{1 + \cos(\beta)}{2} + H \cdot \rho \cdot \frac{1 - \cos(\beta)}{2};$$

$$H_{tt} = \sum_i H_{ti}$$

$\rho$  – альbedo земної поверхні, тобто відбивальна властивість Землі.

Частка прямого випромінювання, що падає на поверхню колектора

$$R_b = \frac{\cos(\Theta)}{\cos(\Theta_z)}$$

$\Theta_z$  – зенітний кут сонця

$$\Theta_z = \arccos(\sin(\psi) \cdot \sin(\delta) + \cos(\psi) \cdot \cos(\delta) \cdot \cos(\omega_i))$$

$\Theta_i$  – кут між падаючим промінням та нормаллю до поверхні:

$$\Theta_i = \arccos(\cos(\Theta_{zi}) \cdot \cos(\beta) + \sin(\Theta_{zi}) \cdot \sin(\beta) \cdot \cos(\gamma_{si} - \gamma))$$

$\gamma_{si}$  – азимутальний кут сонця:

$$\gamma_{si} = \frac{\omega_i}{\omega_i} \arccos\left(\frac{\cos(\Theta_{zi}) \cdot \sin(\psi) - \sin(\delta)}{\sin(\Theta_{zi}) \cdot \cos(\psi)}\right)$$

Як вже зазначалося програма дає змогу врахувати різні варіанти розрахунку необхідних параметрів сонячної установки, в тому числі і БА. Для оцінки ефективності його роботи, а також для візуалізації характеру залежностей наступних величин від часу: енергія від колектора, що надходить в бак (Дж), теплові втрати з бака (Дж), енергія з бака до споживача (дж), баланс енергії в баці (дж), температура води в баці, температура води до споживача, витрата води з баку (кг/с), приріст температури теплоносія в колекторі.

### Результати дослідження

Найкраща орієнтація сонячних колекторів в Україні – в напрямку півдня. Щоб підвищити ефективність використання сонячних колекторів по всій території, рекомендується, якщо це можливо, встановлювати сонячний колектор на щомісячний середній кут нахилу і цей кут достатньо регулювати один раз на місяць.

Проведені розрахунки кількості падаючої сонячної радіації на СК, що встановлений нерухомо в м. Києві (50°27' пн.ш., 30°30' сх.д.) під кутом 45° до горизонту (Рис.1,2), а також проведені розрахунки кількості падаючої сонячної радіації на СК, що встановлений в м. Києві, але протягом року змінює кут нахилу до горизонту в діапазоні 70°-30° (Рис.1,2).

Проведено порівняльний аналіз величини сумарної добової сонячної енергії, що потрапляє на площину СК та к.к.д. колектора в залежності від кута нахилу СК до горизонту

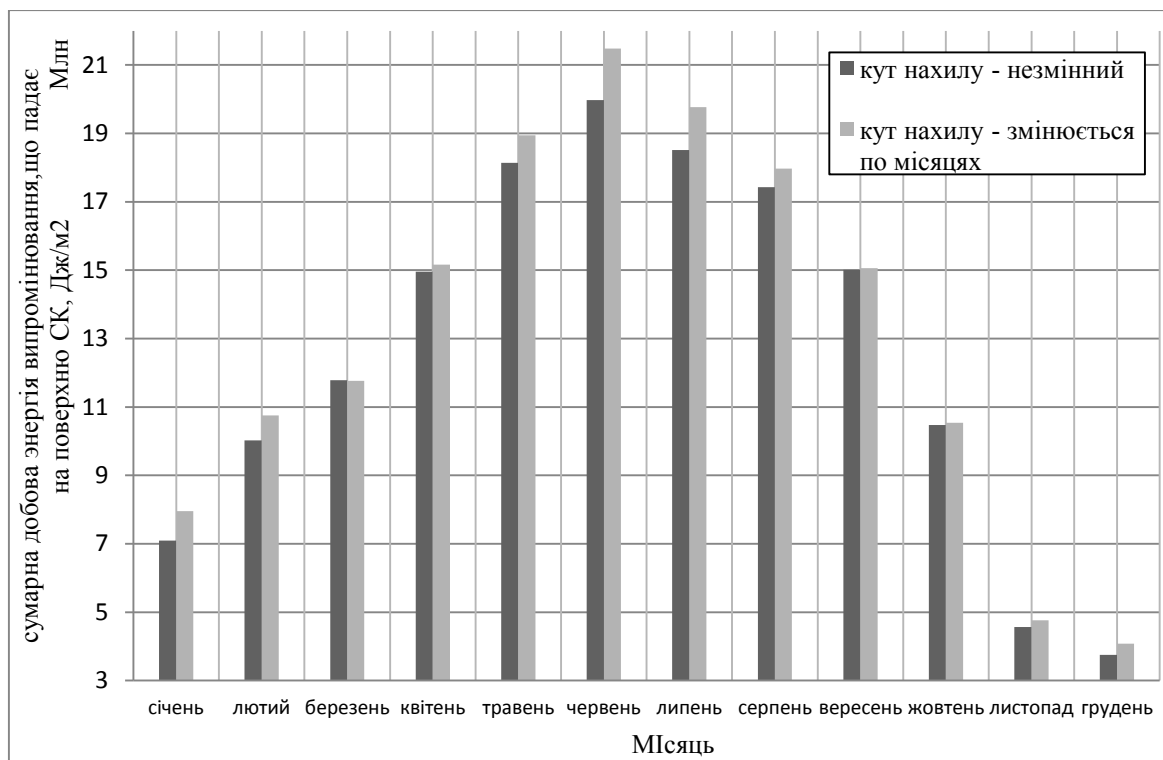


Рис 1 – величина сонячної радіації що поглинається в залежності від кута нахилу СК

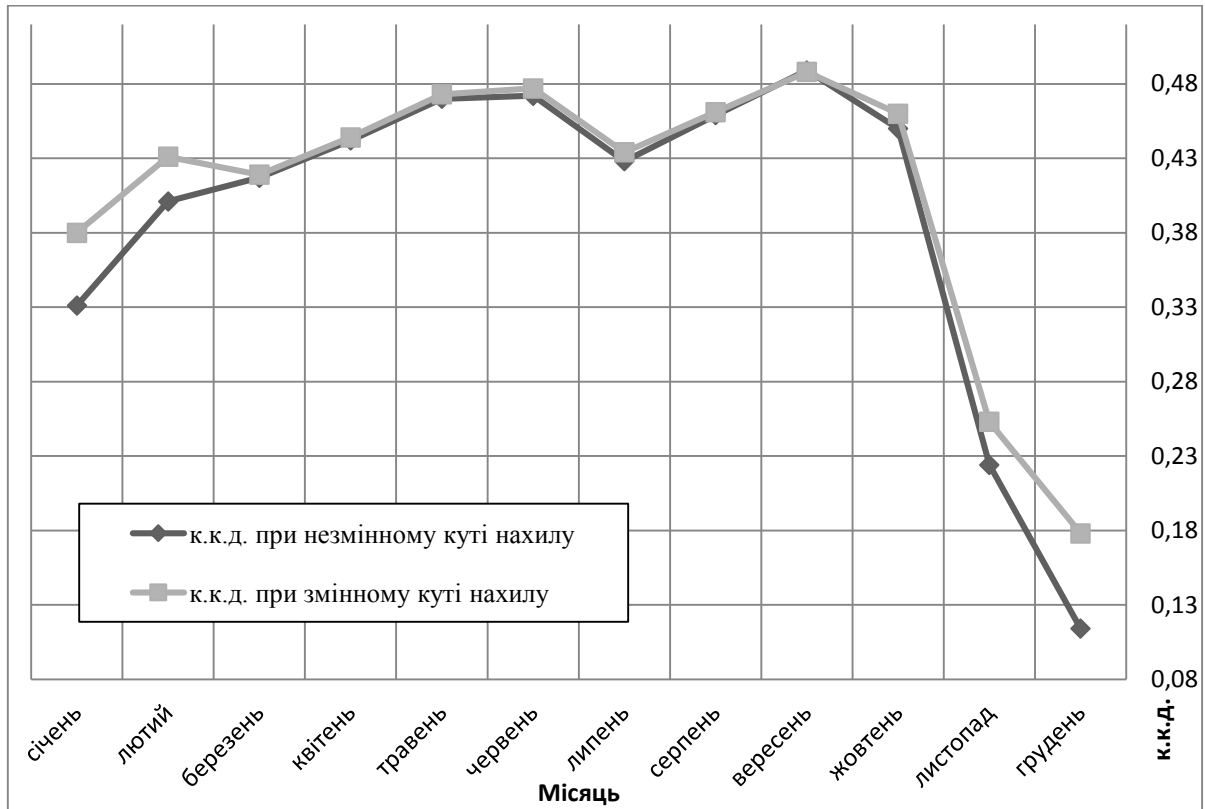


Рис 2 – ККД при встановленні СК на незмінний або змінний кут нахилу

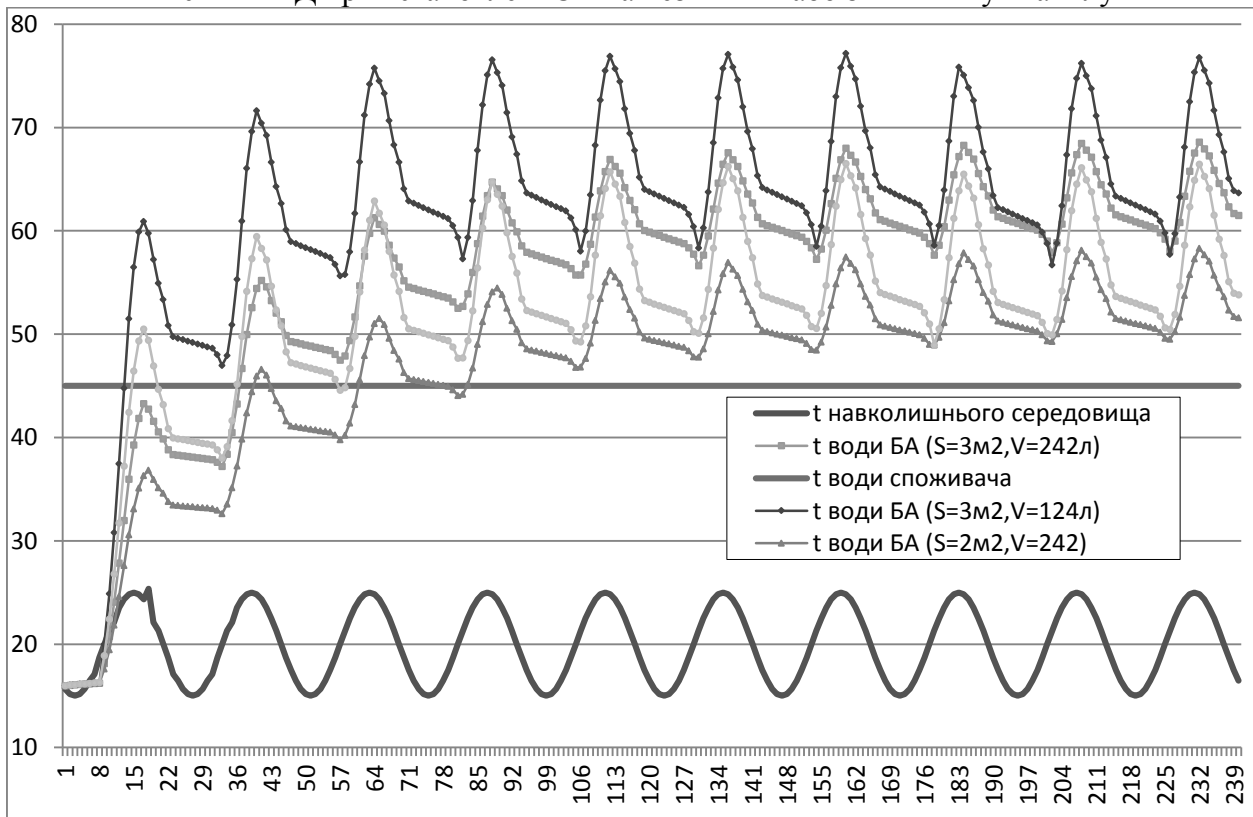


Рис 3 – Залежності температури води в БА при різних значеннях об'єму БА та площі СК.



Проаналізувавши рис. 3 видно, що СК площею 2 м<sup>2</sup> з БА на 242 л не забезпечує нагріву води до заданої температури після пуску. Навіть, беручи до уваги те, що розрахунок проводився для найтеплішого місяця року, вихід на необхідну споживачеві температуру, здійснюється не одразу. Збільшення площі колектора до 3 м<sup>2</sup> забезпечує більш високі значення температури води у споживача протягом дня, але не дуже відрізняється від попереднього варіанту. Зменшення об'єму БА дає змогу досягти більш високих температур, яку задовольняють споживача за досить короткий час від моменту початку роботи. Цей факт створює передумови для безперервного використання установки в літній період (навіть з меншою площею СК) без дублюючих джерел теплоти.

## Висновки

Основною метою даного дослідження є визначення оптимального кута нахилу для сонячних колекторів в Києві.

Проведено розрахунок кількості поступлення сонячної енергії на поверхню сонячних батарей та колекторів, яка знаходиться під кутом до горизонту та постійно орієнтовану перпендикулярно променям сонця. Встановлено, що на поверхню постійно орієнтовану перпендикулярно променям Сонця енергії потрапляє в 1,2...5,7 раз більше в залежності від пори року.

Забезпечення гарячого водопостачання за допомогою сонячної енергії, як правило, доцільно в районах південніше 50° північної широти, при цьому відносно висока ефективність спостерігається тільки на початку (вересень—жовтень) і наприкінці (березень—квітень) опалювального сезону, що дозволяє забезпечити пізніший початок і більш раннє закінчення опалювального сезону з використанням традиційних джерел.

Системи сонячних колекторів можуть використовуватися для гарячого водопостачання, опалення, підігріву басейнів та інших цілей. В залежності від призначення системи сонячних колекторів розділяють на сезонні, які працюють або в зимовий, або в весняно-літній період та на цілорічні. При цьому, як видно з рис. 2, орієнтація відносно горизонту має принципове значення, особливо взимку.

Остаточо, для систем сонячних колекторів, які працюють взимку, оптимальним кутом нахилу колекторів до горизонту прийняті такі значення кутів: зимові місяці та листопад – 75°-70°, навесні – 50°-40°, влітку кут нахилу колектора менший, ніж значення місцевої широти (35°-30°), в вересні – 40°, в жовтні – 65°. Спостерігається помітне підвищення к.к.д. СК для зимових місяців: в середньому – на 15%.

Наступні основні висновки можна зробити з результатів цього дослідження:

- краща орієнтація сонячних колекторів в Києві на південь. Щоб підвищити ефективність використання сонячних колекторів, рекомендується, якщо це можливо, встановити сонячний колектор на щомісячний середній кут нахилу і цей кут регулювався б один раз на місяць;
- дане дослідження забезпечить сонячних дослідників знаннями про оптимізацію похилої сонячної системи колектора. Ці знання необхідні також для визначення ефективності енергії та / або збереження енергії можливостями цих систем.

**Використані джерела:**

1. Національний Стандарт України ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 Будівельна кліматологія
2. Дж. А. Даффи, У.А. Бекман. Тепловые процессы с использованием солнечной энергии // Перевод с английского под. ред. Ю.Н. Малевского. – М: «Мир», 1977.
3. <http://www.windsolardiy.com/fabrichnie-solnechnie-kollektori/solnechnie-vodonagrevatelnie-sistemi.html>
4. <http://www.planetcalc.ru/320/>
5. Оптимизация угла наклона солнечных коллекторов в гелиосистеме - джамаль к. Хусейн, инженер, а.е. Денисова, д-р. Техн. Наук, проф., одес. Нац. Политехн. Унт. А.в. Дорошенко, д-р. Техн. Наук, проф., одес. гос. Акад. Холода
6. Дешко В.И., Дубровская В.В., Иванов П., Кучко М. Результаты экспериментальных исследований систем солнечного горячего теплоснабжения в Украине и в Болгарии // Пром. Теплотехника.— 2003.—Т. 25.—Приложение к журналу №4.—С. 268-270.
7. Шаріат А.М., Аль-Ахрас, Аль-Омарі І.А. Оптимізація кута нахилу сонячних колекторів. Відновлювані джерела енергії 2002 року; 26:587-98.
8. Сараф Гр, Хамад Фав. Оптимальный кут нахилу для плоскої пластини сонячного колектора. Перетворення енергії і управління, 1998; 28:185-91.

УДК

ДОМБРОВСЬКИЙ Т.В.

### ПРИНЦИПИ МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМ ЦЕНТРАЛІЗОВАНОГО ТЕПЛОЗАБЕСПЕЧЕННЯ

*В роботі розглянуті цілі та основні принципи побудови логічних моделей систем централізованого теплозабезпечення (СЦТ), їх складові та життєвий цикл елемента системи. Зауважено, що ключова роль у побудові моделі СЦТ відведена суб'єкту, що експлуатує систему.*

*Ключові слова: моделювання; система централізованого теплозабезпечення; складна технічна система; життєвий цикл; механізм збору інформації; оперативно-диспетчерське керування.*

ДОМБРОВСКИЙ Т.В.

### ПРИНЦИПЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ СИСТЕМ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

*В работерассмотрены цели и основные принципы построения логических моделей систем централизованного теплоснабжения (СЦТ), их составляющие и жизненный цикл элемента системы. Отмечено, что ключевая роль в построении модели СЦТ отведена субъекту, эксплуатирующему систему.*

*Ключевые слова: моделирование; система централизованного теплоснабжения; сложная техническая система; жизненный цикл; механизм сбора информации; оперативно-диспетчерское управление.*

DOMBROVSKIY T.V.

### PRINCIPLES OF MODELLING THE CENTRALIZED HEAT SUPPLY SYSTEM

*The objectives and the basic principles of creating logical models of central heating system (CHS), their components and the life cycle of the system elements are considered. Noted, that a key role in creating the model of CHS is played by organization, that operates the system.*

*Keywords: modeling; central heating system; a complex technical system; life cycle; data collection mechanisms; operational and supervisory control.*

Стандарти та вимоги, щодо використання енергетичних ресурсів в світі, і в Україні зокрема, постійно зростають, і чим далі – тим швидше. Така тенденція з кожним роком все жорсткіше ставить питання необхідності автоматичного керування, контролю та прогнозування енерговитрат енергетичних об'єктів та систем, а надто – енергоємних, якою і є система централізованого теплозабезпечення (СЦТ). Ці питання частково або повністю можливо вирішити шляхом логічного моделювання енергетичних процесів та систем.

Головною метою даного аналітичного дослідження є визначення основних принципів, цілей та особливостей побудови логічних моделей СЦТ. В основу цього дослідження покладена спроба провести такий аналіз, розглядаючи властивості і склад СЦТ, як будь-якої складної технічної системи (СТС).

Такий підхід є можливим, оскільки метасистемі теплозабезпечення будь-якого з великих міст України, як макрооб'єкту керування в цілому, так і її окремим складовим (системам різної організаційної належності або оперативного підпорядкування), притаманна велика кількість характерних ознак складних технічних систем (далі СТС):

1. Існує єдина мета функціонування системи.
2. Система складається з порівняно великої кількості взаємопов'язаних елементів, що взаємодіють між собою. Елементи можуть бути типовими, тобто правила їх внутрішнього функціонування і взаємодії з оточенням можуть співпадати.
3. До системи можна вжити принцип декомпозиції: СТС можна розділити (не обов'язково єдиним методом) на скінченну кількість частин, так званих підсистем СТС, що в свою чергу можуть бути поділені на скінченну кількість простіших підсистем, і т.д. до досягнення об'єктивно, або з урахуванням прийнятих припущень, неподільних елементів.
4. Взаємодія елементів в системі здійснюється шляхом обміну матерією, енергією і даними.
5. Допускається неєдиний характер функціонування системи.
6. Керуванню системою притаманний ієрархічний характер. Тобто має місце підпорядкування частин системи у вигляді наявності нерівноправних зв'язків між її елементами, коли вплив в одному з напрямків викликає значно сильнішу реакцію на елемент, ніж в зворотному.
7. Можна виділити інтегральні властивості системи, що відсутні у будь-якого з окремих елементів чи сукупностей елементів.

Укрупнена схема взаємодії об'єкта керування (ОК) та суб'єкта керування (СК), у нашому випадку – системи централізованого теплозабезпечення (СЦТ) і організації, що її експлуатує, наведена на рис. 1.

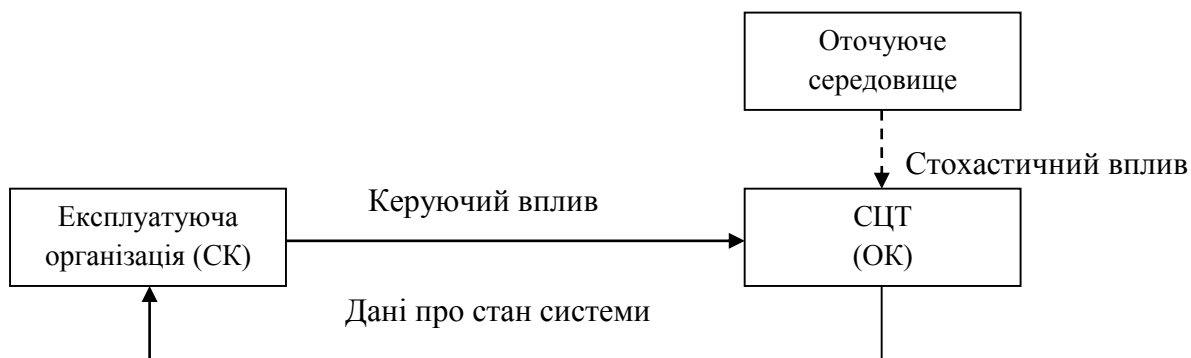


Рисунок 1 – Укрупнена схема взаємодії об'єкта керування та суб'єкта керування

Під «оточуючим середовищем», у даній схемі, розуміються будь-які природні та/або техногенні фактори, що існують об'єктивно, і не входять до складу СТС, але посередньо чи безпосередньо впливають на її функціонування.

У господарчій діяльності організації, що експлуатує СЦТ, явно чи неявно використовуються різні моделі ОК. Заміщення об'єкта оригінала (системи СЦТ) моделлю викликано необхідністю коректного формалізованого опису задачі, що допускає такий підхід,

з метою використання для аналізу логічного і математичного апарату, що забезпечує цілісний підхід до аналізу ОУ.

Однак слід визнати, що частина процедур неможливо формалізувати. Такі процедури потребують організації інтерактивної взаємодії моделі і користувача. Одною з проблем є досягнення оптимального співвідношення процедур обох видів.

В даній роботі зроблено спробу розглянути принципи побудови моделей СТС, акцентуючи увагу на моделювання СЦТ.

В залежності від задач, що вирішуються системою, змінюється склад і призначення моделей СТС. На рис.2 наведені можливі цілі використання моделей СЦТ, а також шлях їх еволюції «від простих до складніших».

Не дивлячись на необхідність нормативного регламенту практично всіх дій, що пов'язані з проектуванням, будівництвом експлуатацією і ремонтом (реконструкцією, модернізацією) СЦТ, робота підприємства зберігає велику кількість рис наукового дослідження.

Одним з етапів дослідження є побудова механізму збору інформації про СТС і навколишнє середовище. Цілям опису складу і властивостей СТС служать моделі, що забезпечують т.зв. "паспортизацію" підсистем і елементів СТС в термінах, характерних для деякої предметної області. Зокрема, для інженерних комунікацій СЦТ характерно виділення і опис лінійних і вузлових споруд, джерел теплопостачання, керуючих пристроїв, допоміжних систем (дренування, електрохімічного захисту, зв'язку тощо).

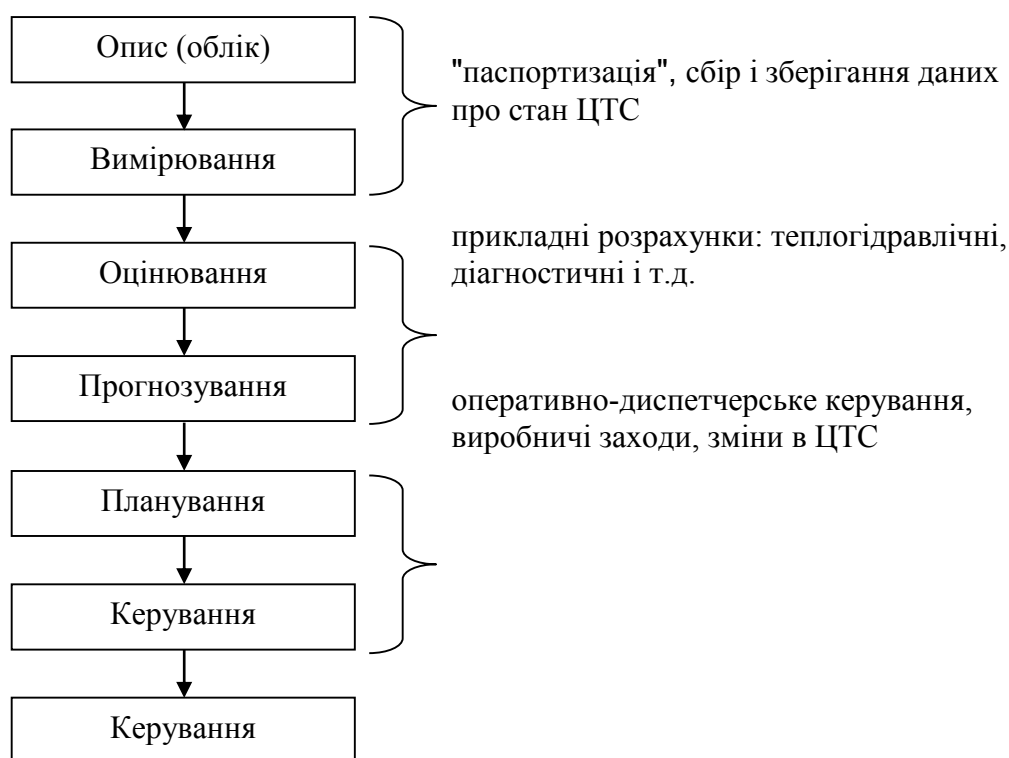


Рисунок 2 – Призначення моделей ЦТС

Дані моделі забезпечують можливості збору і зберігання умовно постійної ("паспортизація") і умовно змінної, в т.ч. хронологічно прив'язаної інформації про значеннях кількісних і якісних характеристик елементів СТС. Також підлягають опису і виміру

виробничі заходи та інші події, що викликають зміну властивостей СТС або її окремих елементів.

Загалом, описові (вимірювальні) моделі діяльності експлуатаційної організації досить добре описуються "об'ємно-подієвою парадигмою" стосовно господарюючого суб'єкта (рис.3).

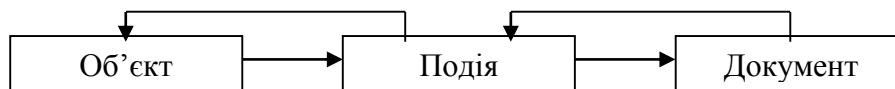


Рисунок 3 – Об'єктно-подієвий зв'язок

Підсистеми і елементи, що мають кількісний (і якісний) опис, можуть бути об'єктами чисельного аналізу, тобто можуть підлягати оцінюванню. Відомою специфікою комунікаційних СТС, і зокрема СЦТ, є необхідність розрахунку режимів розподілу потоку теплоносія в системах транспортування до споживача. Використання для цих завдань математичного апарату теорії графів стало вже тривіальною задачею. Під прогнозуванням розуміється передбачення оцінок стану, чи характеру його зміни, всієї СТС, або окремих її елементів (сукупностей елементів) в майбутньому на підставі даних про їх стан в минулому і теперішньому. Прогнозування особливо важливе, як результуючий етап в задачах спільної обробки інформації про шкідливі діючі фактори і відмови елементів СТС.

Завдання оперативно-диспетчерського управління (ведення режимів роботи; виконання перемикань, пусків і зупинок устаткування; локалізація аварійних ділянок; управління підключенням споживачів), планування виробничо-технічних заходів і т.п. вирішуються у складі моделей, що відповідають рівню планування і управління. Незважаючи на колосальні різноманіття можливих ситуацій, практично всі вони зводяться до універсалії: подія (що планується або фіксується) призводить до передбаченої зміни властивостей відповідних елементів або їх сукупностей в складі моделі СТС.

Характерною особливістю моделювання СТС є те, що планування та управління тісно пов'язані з оцінюванням та прогнозуванням. Характерний приклад: планування перемикань насосів і (або) запірної арматури на основі оцінювання гідравлічного режиму роботи трубопровідної мережі.

Завдання синтезу на стадії експлуатації СТС не розглядаються і можуть представляти інтерес тільки при автоматизованому стратегічному плануванні розвитку системи і для розробників принципово нових способів організації СЦТ або її підсистем.

Важливою особливістю СТС є існування т.зв. життєвого циклу, тобто впорядкованої послідовності іменованих станів, у яких може перебувати елемент (підсистема) СТС, і що характеризуються обумовленим набором параметрів і правил взаємодії з іншими елементами СТС.

Характерний узагальнений життєвий цикл елемента (підсистеми) СЦТ наведено на рис.4. Його склад може змінюватися залежно від новизни, ремонтпридатності, можливості регулювання відповідного елемента (підсистеми) СТС. Визначення життєвого циклу є умовою коректності формування навіть описових моделей.

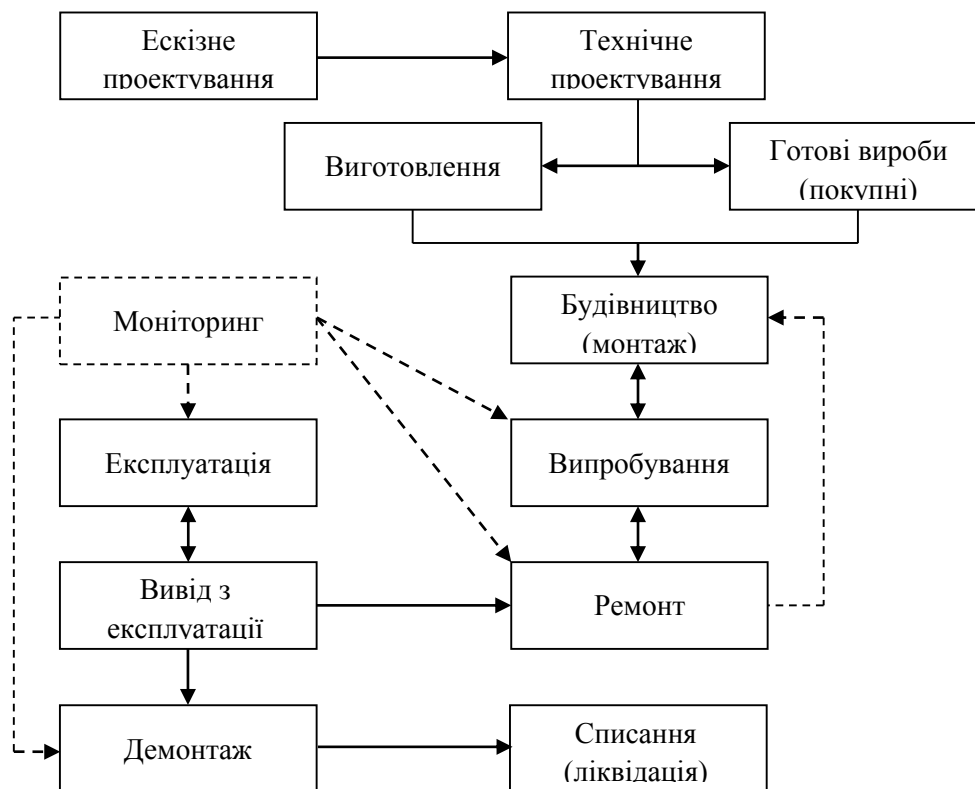


Рисунок 4 – Укрупнений життєвий цикл елемента (підсистеми) СЦТ

Розглянемо з чого формується модель СТС. Можливі види об'єктів моделювання представлені на рис.5. СТС може бути, відповідно до принципу декомпозиції, підрозділена на підсистеми різних рівнів і елементи цих підсистем (елементи і підсистеми можуть мати фізичне втілення або ж бути абстрактними, понятійним). Все це представляє собою елементи СТС і їх структуру. Взаємодія елементів СТС між собою описується за допомогою правил відношення і правил поведінки. Життєві цикли елементів СТС знаходять своє втілення через сукупність станів. Діяльність системи описується через сукупність функцій. Еволюція в моделі СТС забезпечує можливість синтезу. Даний розділ найбільш важкий і зазвичай не реалізується.

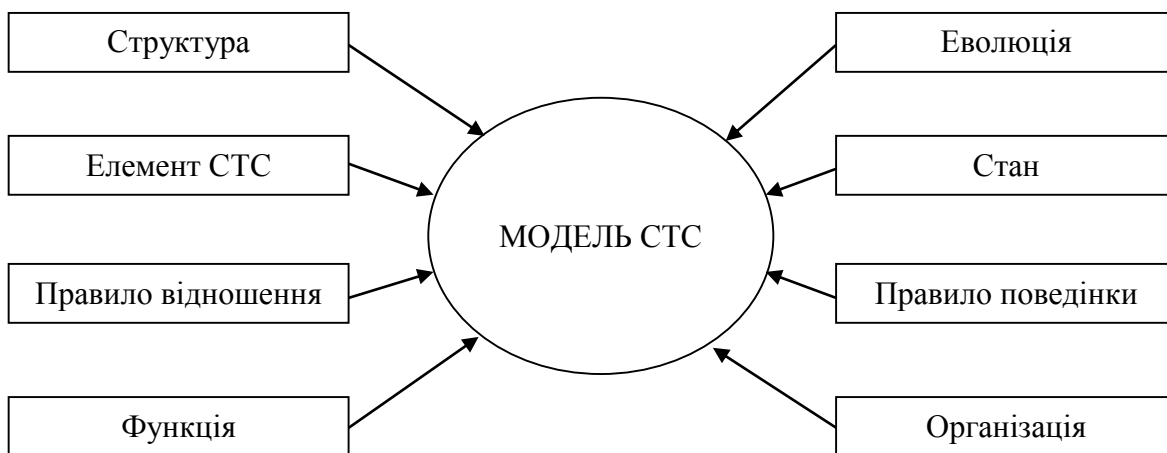


Рисунок 5 – Об'єкти моделювання

Неухильне розповсюдження засобів мікропроцесорної техніки і, як окремого випадку, комп'ютерних систем і відповідного ПЗ, ставить перед організаціями ПЕК завдання осмисленого використання існуючих рішень прикладних програмно-апаратних комплексів, а також тісної взаємодії з розробниками з розвитку засобів моделювання СТС ПЕК. Очевидно, що саме експлуатаційна організація є переважним джерелом інформації про фактичний характер функціонування СТС в цілому та її окремих елементів і має найбільш повне уявлення:

- про фактичну зміну властивостей елементів (підсистем) СТС в процесі експлуатації;
- про фактичні пошкодження елементів (підсистем) СТС в процесі експлуатації;
- про фактичні методи моніторингу стану СТС;
- про фактичні методи ведення господарської діяльності.

Формування моделей СЦТ, спрямованих на оцінювання та прогнозування, а тим більше на планування (див. рис. 2) може коректно здійснюватися тільки за участю експлуатаційних організацій, емпіричний досвід яких підлягає аналізу з метою виявлення формалізованих і неформалізованих явищ, перші з яких підлягають інформаційному опису в моделі СТС, а другі – обліку в них же у вигляді можливості директивного втручання.

#### **1. Список використаних джерел:**

1. Верховский Д.Д., Лосев В.Н., Стрелова М.Д. – «Информационное обеспечение задач повреждаемости территориально распределенных инженерно-технических систем», Энергонадзор-информ, №1, 2002, СПб. – с.21-23.
2. <http://cyberleninka.ru/article/n/printsiy-modelirovaniya-sistem-tsentralizovannogo-teplosnabzheniya>



Мінакова Д.В.

### Дослідження впливу елементів віконних конструкцій на теплопередачу через огорожуючі конструкції

*В статті розглянута проблема забезпечення енергоефективності світлопрозорих огорожувальних конструкцій за рахунок вибору розташування вікна по товщині конструкції. Розрахунки проведені за допомогою програмного забезпечення «Therm» для вузлового з'єднання віконної конструкції на основі ПВХ\_профілів та стіни з цегли і утеплювача з мінеральної вати.*

*Ключові слова: світлопрозора огорожувальна конструкція, енергоефективність, вікно, вузлове з'єднання, температурне поле.*

*В статье рассмотрена проблема обеспечения энергоэффективности светопрозрачных ограждающих конструкций за счет выбора расположения окна по толщине конструкции. Расчеты проведены с помощью программного обеспечения «Therm» для узлового соединения оконной конструкции на основе ПВХпрофилей и стены из кирпича с утеплителем из минеральной ваты.*

*Ключевые слова: светопрозрачная ограждающая конструкция, энергоэффективность, окно, узловое соединение, температурное поле.*

*Article justified the problem of energy efficiency translucent envelope building by selecting the location of the window on the thickness of the structure. Calculations performed using the software «Therm» for node connections window construction based PVH\_profiliv and brick walls and insulation of mineral wool.*

*Keywords: translucent envelope building, energy efficiency, window, nodal connectivity, temperature field.*

### Вступ

Світлопрозорі огорожувальні конструкції є одними із основних конструкцій будинку, без яких неможливо уявити архітектурного вигляду будь-якого цивільного будинку. В той же час ці конструкції мають найнижчу характеристику теплоізоляції серед усіх елементів зовнішньої оболонки будинку, що призводить до значних тепловтрат через їх поверхню. Таким чином, в умовах постійного зростання вартості енергоресурсів, проблема забезпечення енергоефективності вказаних конструкцій набуває досить важливого значення. Це, в свою чергу, потребує детального аналізу як самих конструкцій, так і конструктивних рішень вузлів влаштування світлопрозорих огорожувальних конструкцій, з точки зору забезпечення оптимального значення критерію енергоефективності для системи «непрозора стіна – світлопрозоре огороження».

### Завдання дослідження

Дослідити вплив розташування ПВХ вікон по товщині конструкції.

### Мета дослідження

Оцінка конструктивних рішень вузлів примикання віконної конструкції до непрозорої стіни з точки зору кількості тепловтрат.

**Методика проведення розрахунку**

Основним документом, в якому встановлені вимоги до показників енергоефективності зовнішніх огорожувальних конструкцій є ДБН В.2.6\_31:2006 [1]. Огороджувальні конструкції повинні відповідати основним вимогам з теплової надійності, а саме:

з приведеного опору теплопередачі

$$R_{\Sigma пр} \geq R_{q min}, \quad (1)$$

з приведеної температури внутрішньої поверхні

$$\Delta t_{пр} \leq \Delta t_{cr}, \quad (2)$$

з не випадіння конденсату

$$\tau_{в min} > t_{min}. \quad (3)$$

де  $R_{\Sigma пр}$  – приведений опір теплопередачі непрозорої чи світлопрозорої огорожувальної конструкції,  $m^2 \cdot K/W$ ;

$R_{q min}$  – мінімально допустиме значення опору теплопередачі непрозорої чи світлопрозорої огорожувальної конструкції, встановлюється згідно з таблицею 1 [1];

$\Delta t_{пр}$  – температурний перепад між температурою внутрішнього повітря і приведеною температурою внутрішньої поверхні огорожувальної конструкції,  $^{\circ}C$ ;

$\Delta t_{cr}$  – допустимий за санітарно-гігієнічними умовами (умовами комфортності) температурний перепад,  $^{\circ}C$ ;

$\tau_{в min}$  – мінімальне значення температури внутрішньої поверхні в зонах теплопровідних включень в огорожувальній конструкції,  $^{\circ}C$ ;

$t_{min}$  – мінімально допустиме значення температури внутрішньої поверхні при розрахункових значеннях температур внутрішнього й зовнішнього повітря,  $^{\circ}C$ , що при розрахункових параметрах повітря дорівнює  $10,7^{\circ}C$ .

Конструктивний принцип влаштування світлопрозорої конструкції впливає на енергоефективність непрозорої частини стіни, а саме на величину приведеного опору теплопередачі та, відповідно, забезпечення критерію (1). Ця залежність характеризується величиною лінійного коефіцієнта теплопередачі стикового з'єднання.

Конструкція скління має термічний опір в 2-3 рази нижче в порівнянні з суцільними стінами будинків. В місцях улаштування світлових прорізів, куди улаштовують вікна, проходить послаблення загального термічного опору зовнішньої оболонки огорожувальних конструкцій будинку, який зумовлений формуванням характерних температурних полів біля вікна. На рисунку 1 показано поле, що формується в зовнішній стіні житлового будинку з цегли та утеплювача в яке встановлене вікно. Зовнішня температура  $t_z$  прийнята рівною  $(-20)^{\circ}C$ , внутрішня температура  $t_b$  прийнята рівною  $18^{\circ}C$ .

На суцільній ділянці конструкція зовнішньої стіни є термічно однорідною. Ізотерми в ній розташовані паралельно поверхні стіни, а тепловий потік направлений перпендикулярно поверхні стіни - з середини приміщення на зовні. В міру наближення до вікна паралельні ізотерми вигинаються в бік зовнішньої поверхні. В місці примикання вікна до стіни в температурному режимі починають проявлятися два процеси: з одного боку різко падає термічний опір огороження, з другого – з'являються додаткові втрати тепла через стик вікна і стіни.

Тому в даному дослідженні було проведено роботу по визначенню впливу розміщення вікна по товщині конструкції на загальні втрати тепла. Розрахунки проведено для двох типів ПВХ вікон розмірами  $1000 \times 1300$  та товщиною рами 60 мм та 70 мм.

У програмі Therm 7 було змодельовано переріз вікна в цегляній стіні з утеплювачем (мінеральна вата). На рисунку 1 зображений вертикальний розріз, на рисунку 2 - горизонтальний).

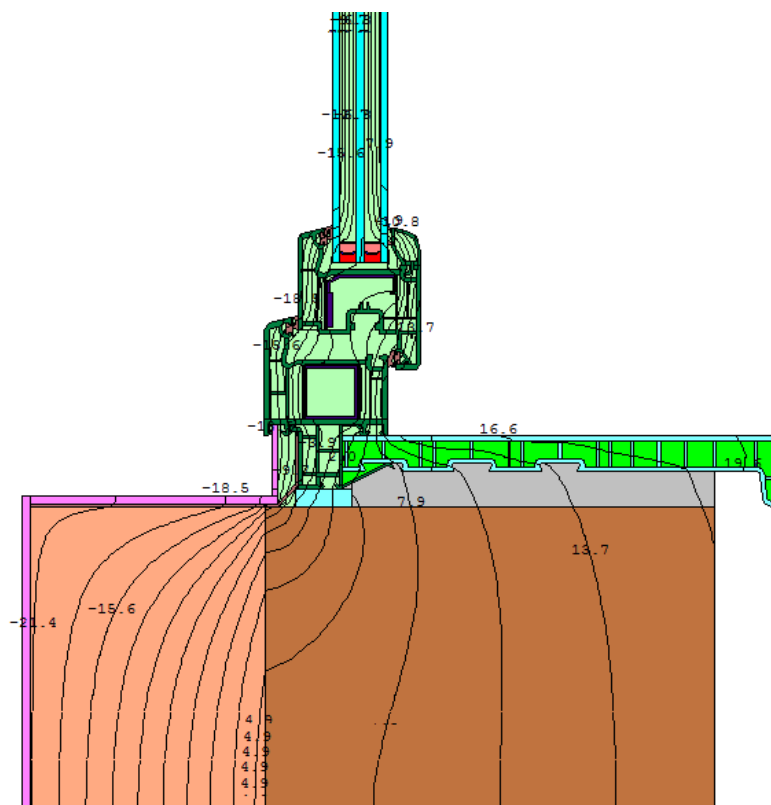


Рисунок 1. Температурне поле стіни та вікна, де вікно вмонтоване у шар цегли (вертикальний розріз) товщиною 70мм.

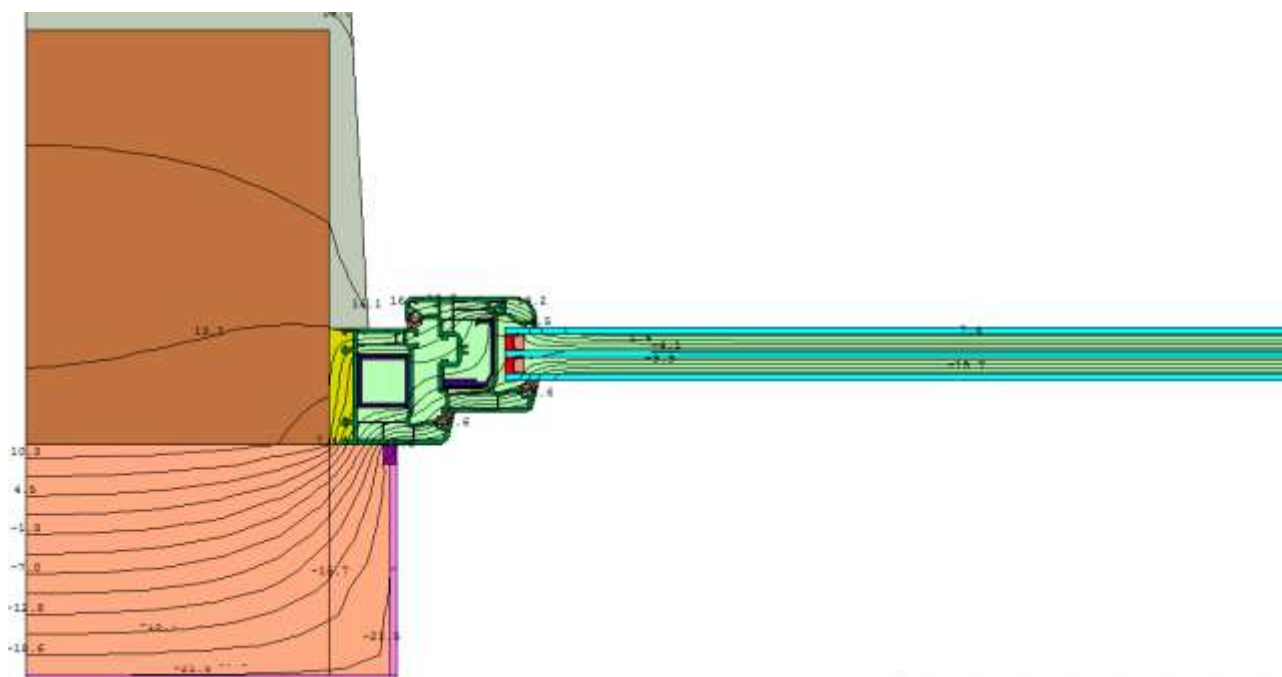


Рисунок 2. Температурне поле стіни та вікна, де вікно вмонтоване у шар цегли (горизонтальний розріз) товщиною 70мм.

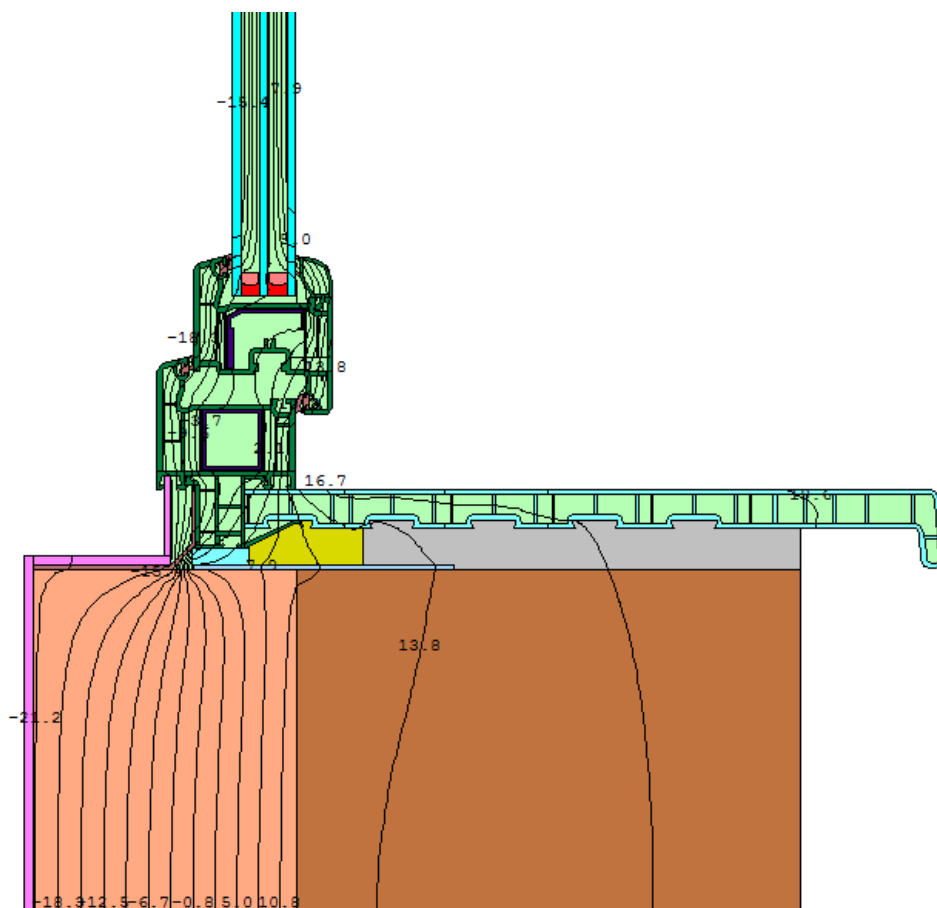


Рисунок 3. Температурне поле стіни та вікна, де вікно вмонтоване у шар утеплювача (вертикальний розріз) товщиною 70мм.

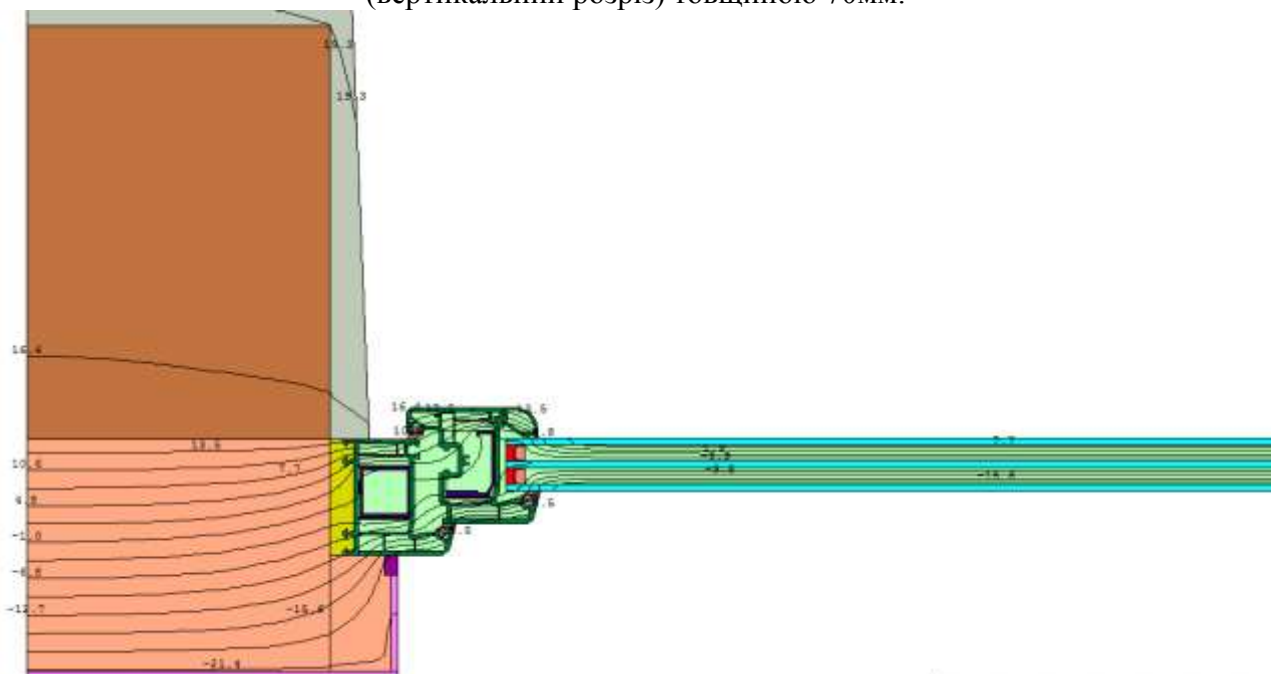


Рисунок 4. Температурне поле стіни та вікна, де вікно вмонтоване у шар утеплювача (горизонтальний розріз) товщиною 70мм.

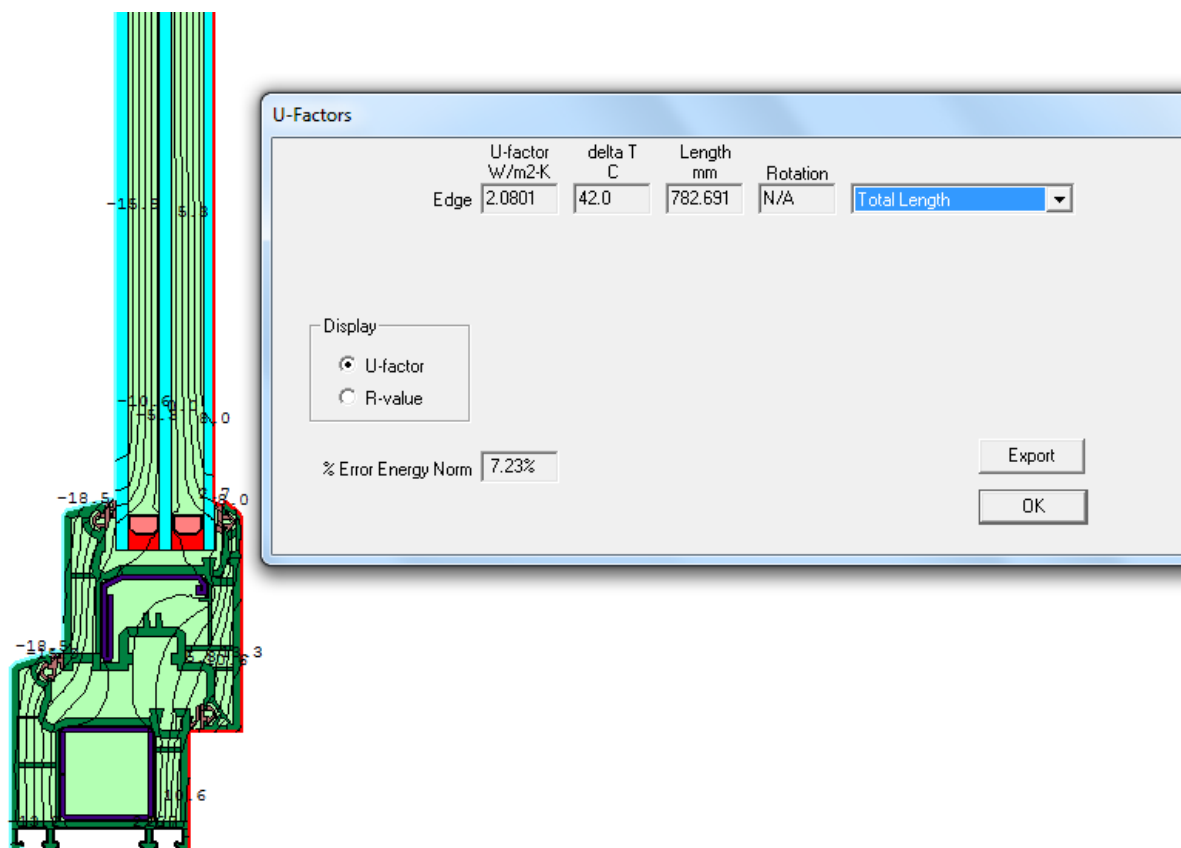


Рисунок 5. Температурне поле вікна товщиною 70мм

У даній програмі було визначено  $U$  – фактор конструкції вікна та стіни та окремо  $U$  – фактор вікна,  $W/m^2 \cdot K$  (Рис. 6) і відповідна довжина конструкції вздовж якої визначається даний коефіцієнт.

$U$  – фактор для стіни був визначений за формулою

$$U_{ст} = \frac{1}{R_i} = \frac{1}{\sum \frac{\delta_i}{\lambda_i}} \quad (4)$$

$R_i$  – термічний опір  $i$ -го шару конструкції, що розраховується за формулою:

$\delta_i$  – товщина  $i$ -го шару конструкції, м,

$\lambda_{ip}$  – теплопровідність матеріалу  $i$ -го шару,  $W/(m \cdot K)$ .

Результати даних показників запишемо у таблицю 1.

Кількість теплоти, яка проходить через стик вікна та стіни,  $Q_{ТВ}$ , визначається за формулою:

$$Q_{ТВ} = Q_{заг} - (Q_{вік} + Q_{ст}) \quad (5)$$

Результати розрахунків даних параметрів запишемо у таблицю 1.

Результати дослідження

Таблиця 1. Результати розрахунків .

		Розташування вікна	Розмір товщини рами	U	L	U <sub>вік</sub>	L <sub>вік</sub>	U <sub>ст</sub>	L <sub>ст</sub>
			мм	Вт/м <sup>2</sup> ·К	м	Вт/м <sup>2</sup> ·К	м	Вт/м <sup>2</sup> ·К	м
1	Стіна та вікно (горизонтальний розріз)	В утеплювачі	70	3,68	1,041	3,83	1,62	0,053	2,15
2	Стіна та вікно (горизонтальний розріз)	В цеглі	70	3,48	1,111	3,86	1,62	0,053	2,18
3	Стіна та вікно (горизонтальний розріз)	В утеплювачі	60	3,68	1,056	3,88	1,57	0,053	2,25
4	Стіна та вікно (горизонтальний розріз)	В цеглі	60	3,48	1,126	3,91	1,57	0,053	2,28
5	Стіна та вікно (вертикальний розріз)	В утеплювачі	70	1,63	1,069	1,74	1,62	0,052	0,064
6	Стіна та вікно (вертикальний розріз)	В цеглі	70	1,91	0,964	1,84	1,62	0,052	0,16
7	Стіна та вікно (вертикальний розріз)	В утеплювачі	60	1,9	0,953	1,81	1,57	0,052	0,179
8	Стіна та вікно (вертикальний розріз)	В цеглі	60	1,7	1,129	1,91	1,57	0,052	0,28

Загальна кількість теплоти, що проходить через огорожувальну конструкцію,  $Q_{\text{заг}}$  та кількість теплоти ( $Q_{\text{вік}}$  і  $Q_{\text{ст}}$ ), яка проходить через кожний вузол конструкції огороження визначається за формулою (6).

$$Q = U \cdot F \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{ср.о}}) \quad (6)$$

U - коефіцієнт теплопередачі, Вт/м<sup>2</sup>·К.

F - площа, м<sup>2</sup>;

$t_{\text{в}}$ , - внутрішня температури повітря, °С,

$t_{\text{ср.о}}$ - середня температура зовнішнього повітря за опалювальний період, °С. Для Києва  $t_{\text{ср.о}} = -1,1^{\circ}\text{C}$ .

Результати розрахунків запишемо в таблицю 2.

		Розташування вікна	Розмір товщини рами	$Q_{\text{тв}}$	$Q_{\text{о.п}}$
			мм	Вт	Вт год
1	Вікно	В утеплювачі	70	2,99	12,9
2		В цеглі	70	8,23	35,5
3	Вікно	В утеплювачі	60	4,96	21,4
4		В цеглі	60	10,66	45,05

$Q_{\text{о.п}}$  – загальні тепловтрати через стик конструкції за опалювальний період, Вт·год.

### Висновки

Проведені розрахунки дозволяють зробити висновок, що розташування вікна по товщині конструкції впливає на тепловтрати через огорожувальну конструкцію. Найефективнішим розташуванням виявилось розташування вікна із товщиною рами 70 мм в утеплювачі. Але проаналізувавши загальні тепловтрати за опалювальний період виявилось, що вікна у зоні утеплювача є не цілеспрямованим, оскільки економія енергоресурсів є не значною.

### Використана література

1. Конструкції будинків та споруд. Теплова ізоляція будівель : ДБН В.2.6\_31:2006. – [Чинний з 01.04.2007]. – К. : Мінбуд України, 2006. – 64 с. – (Державні будівельні норми України).
2. О. М. Білоус, Є. С. Колесник. Конструктивні принципи забезпечення енергоефективності світлопрозорих огорожувальних конструкцій. Сучасне промислове та цивільне будівництво. 12 вересня–25 листопада 2011 м. Київ, 2011. – С. 243–250.
3. Конструкції будинків та споруд. Настанова щодо проектування і улаштування вікон та дверей: ДСТУ Н Б В.2.6\_146:2010. – [Чинний з 01.07.2011]. – К. : Мінрегіонбуд України, 2010. 70 с. – (Державний стандарт України).

Вальнюк А.С.

### МЕТОДИ ВПЛИВУ ТЕПЛОПРОВІДНИХ ВКЛЮЧЕНЬ НА ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОГОРОДЖУЮЧИХ КОНСТРУКЦІЙ

*В статті приведені результати розрахунків лінійних та точкових коефіцієнтів теплопередачі найбільш поширених теплопровідних включень в стінових огорожувальних конструкціях. Результати представлені для стінових конструкцій з системами фасадної теплоізоляції з опорядженням штукатурками та з вентиляльованим повітряним прошарком.*

*Ключові слова: лінійний коефіцієнт теплопередачі, огорожувальна конструкція, приведений опір теплопередачі, теплопровідне включення.*

Вальнюк А.С.

### МЕТОДЫ ВОЗДЕЙСТВИЯ ТЕПЛОПРОВОДНЫХ ВКЛЮЧЕНИЙ НА ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ

*В статье приведены результаты расчетов линейных и точечных коэффициентов теплопередачи наиболее распространенных теплопроводных включений в стеновых ограждающих конструкциях. Результаты представлены для стеновых конструкций с системами фасадной теплоизоляции с отделкой штукатурками и вентилируемой воздушной прослойкой.*

ValniukAnna

### METHODS OF INCLUSIONS CONDUCTION ON INSULATION CHARACTERISTICS OF WALLING

*The paper gives the results for the calculations of linear and point thermal transmittance of the most usual thermal bridges in external walls. The results are shown for the external walls with facade heat-insulation and ventilated curtain walling.*

**Постановка проблеми.** Згідно з Державними Нормами [1] для розрахунку приведенного опору теплопередачі встановлено два методичні підходи:

- розрахунок середньозваженого за площею приведенного опору теплопередачі за величиною опору теплопередачі характерних однорідних зон огорожувальної конструкції (формули (И.2), (И.3) [1]);
- розрахунок приведенного опору теплопередачі огорожувальної конструкції з наявними лінійними теплопровідними включеннями (формули (И.4) – (И.7) [1]).

У роботі проведений детальний аналіз зазначених методів та надані відповідні обмеження щодо їх застосування. Також здійснено виведення кінцевої формули для розрахунку, що базується на фізичному змісті поняття приведенного опору теплопередачі та враховує тепловий вплив лінійних, так і точкових теплопровідних включень, шляхом



обчислення відповідних коефіцієнтів теплопередачі лінійних та точкових теплопровідних включень. Таким чином, для коректних розрахунків приведенного опору теплопередачі постає необхідність визначення зазначених коефіцієнтів.

**Аналіз існуючих методів** розрахунку лінійних та точкових коефіцієнтів теплопередачі показав, що їх визначення базується на розрахунках двомірних та тримірних температурних полів [1, 2, 3]. На даний час на практиці проектувальники не завжди мають змогу проводити складані розрахунки з використанням сучасних програмних засобів для визначення температурних полів огорожувальних конструкцій. Тому, зазначені проблеми обумовили **мету даної роботи**, що полягає у виведенні інженерних залежностей для розрахунку лінійних та точкових коефіцієнтів теплопередачі найпоширеніших теплопровідних включень в сучасних огорожувальних конструкціях.

**Об'єкт досліджень.** Огороджувальні конструкції будівель.

**Основна частина.** Для оцінки були обрані найбільш поширені теплопровідні включення сучасних стінових огорожувальних конструкцій. До них віднесені:

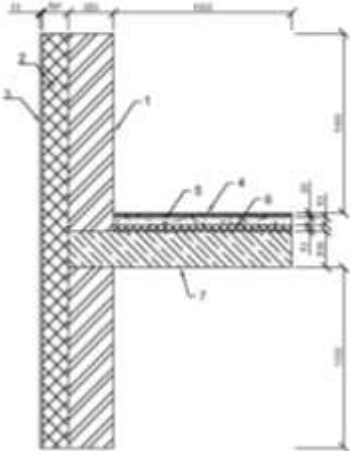
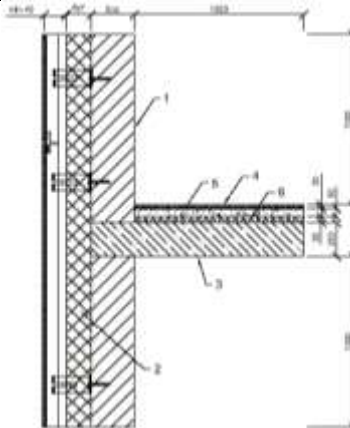
- міжповерхові плити перекриттів;
- балконні перекриття;
- віконні відкоси;
- кутові зони;
- дюбелі для кріплення теплоізоляції фасадних систем.

Розрахунок проводився для стінових конструкцій з системами фасадної теплоізоляції з опорядженням штукатурками та з вентильованим повітряним прошарком.

Результати розрахунків приведені в табл.1 та табл.2.

Таблиця 1

Значення лінійних коефіцієнтів теплопередачі лінійних теплопровідних включень

Ч.ч	Схема теплопровідного включення	Лінійний коефіцієнт теплопередачі, Вт/(м·К), залежно від параметрів теплоізоляційного шару			
		розрахункова тепло-провідність, Вт/(м·К)	товщина теплоізоляції, δ <sub>ут</sub>		
1	2	3	4	5	6
1		0,040 0,045 0,050	120 мм	150 мм	180 мм
			0,080	0,073	0,062
			0,087	0,082	0,069
			0,094	0,090	0,076
1 – цегляна кладка; 2 – шар теплоізоляції; 3 – опоряджувальна штукатурка; 4 – дерев'яне покриття підлоги; 5 – розчин цементно-піщаний; 6 – звукоізоляційний шар; 7 – залізобетон					
2		0,040 0,045 0,050	150 мм	200 мм	250 мм
			0,074	0,056	0,046
			0,082	0,063	0,051
			0,091	0,070	0,056
1 – цегляна кладка; 2 – шар теплоізоляції; 3 – залізобетон; 4 – дерев'яне покриття підлоги; 5 – розчин цементно-піщаний; 6 – звукоізоляційний шар.					

1	2	3	4	5	6
3			120 мм	150 мм	180 мм
		0,040	0,839	0,797	0,758
		0,045	0,833	0,793	0,754
		0,050	0,827	0,789	0,751
<p>1 – цегляна кладка; 2 – шар теплоізоляції; 3 – залізобетон; 4 – дерев'яне покриття підлоги; 5 – розчин цементно-піщаний; 6 – звукоізоляційний шар; 7 – опоряджувальна штукатурка.</p>					
4			120 мм	150 мм	180 мм
		0,045±0,005	0,081	0,081	0,080
			0,059	0,064	0,068
			0,068	0,071	0,073
<p>Віконна конструкція зовнішніх стін з цегли з опорядженням штукатуркою: 1 – вузол примикання в зоні перемички; 2 – вузол примикання в зоні підвіконня; 3 – вузол примикання в зоні рядового сполучення</p>					
5			150 мм	200 мм	250 мм
		0,045±0,005	0,063	0,062	0,062
			0,035	0,041	0,046
			0,049	0,053	0,058
<p>Віконна конструкція зовнішніх стін з вентиляованим повітряним прошарком: 1 – вузол примикання в зоні перемички; 2 – вузол примикання в зоні підвіконня; 3 – вузол примикання в зоні рядового сполучення</p>					
6			120 мм	150 мм	180 мм
		0,040	0,131	0,115	0,103
		0,045	0,142	0,125	0,107
		0,050	0,152	0,135	0,121
<p>1 – цегляна кладка; 2 – шар теплоізоляції; 3 – опоряджувальна штукатурка.</p>					

Таблиця 2

Значення точкових коефіцієнтів теплопередачі точкових теплопровідних включень

Ч. ч	Схема теплопровідного включення	Точковий коефіцієнт теплопередачі, Вт/(м·К), залежно від параметрів теплоізоляційного шару	
		розрахункова теплопровідність, Вт/(м·К)	товщина теплоізоляції, δ <sub>ут</sub>
1	2	3	4
1		0,045	150 мм
			0,015
2	<p>а) </p> <p>б) </p>	а) 0,045	150 мм
		б) 0,0015	0,005 0,0015
		<p>1 – цегляна кладка; 2 – шар теплоізоляції; 3 – кронштейн з оцинкованої сталі; 4 – металевий анкер.</p> <p>1 – цегляна кладка; 2 – шар теплоізоляції; 3 – опоряджувальна штукатурка; 4а – пластиковий дюбель з металевим стрижнем; 4б – пластиковий дюбель з пластиковим стрижнем.</p>	

**Висновки.** Приведені дані щодо лінійних та точкових коефіцієнтів теплопередачі дозволяють проєктувальникам проводити коректні розрахунки приведенного опору теплопередачі огорожувальних конструкцій з теплопровідними включеннями, а також допоможуть щодо методів вибору теплоізоляційних матеріалів та розрахункової оцінки приведенного опору теплопередачі.

### ЛІТЕРАТУРА

1. Конструкції будинків та споруд. Теплова ізоляція будівель: ДБН В.2.6-31:2006. – К.: Мінбуд України, 2006. – 64 с.
2. Теплопровідні включення в будівельних конструкціях. Обчислення теплового потоку та поверхневої температури. Частина 1. Загальні методи: ДСТУ ISO 10211-1:2005. – К.: Держспоживстандарт України, 2008. – 38 с.
3. Теплопровідні включення в будівельних конструкціях. Обчислення теплового потоку та поверхневої температури. Частина 2. Лінійні теплопровідні включення.: ДСТУ ISO 10211-2:2005. – К.: Держспоживстандарт України, 2008. – 12 с.

УДК 621.438

Короткий В.В., Шкляр В.І., Дубровська В.В.

## ПОРІВНЯННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РІЗНИХ ТИПІВ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК НА БАЗІ ГТД

*Технічні рішення для утилізації теплового потенціалу відпрацьованих димових газів після газової турбіни можуть бути різними. Порівнюючи показники ефективності різних схем утилізації, можна обрати найбільш доцільну схему для конкретних умов експлуатації.*

*ГТУ, ГПУ, КОТЕЛ-УТИЛИЗАТОР, УТИЛИЗАЦІЯ ТЕПЛОТИ, ГПУ «ВОДОЛІЙ»*

## СРАВНЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК НА БАЗЕ ГТД

*Технические решения для утилизации теплового потенциала отработанных дымовых газов после газовой турбины могут быть разными. Сравнение показателей эффективности различных схем утилизации дает возможность выбрать наиболее целесообразную схему для конкретных условий эксплуатации.*

*ГТУ, ГПУ, КОТЕЛ-УТИЛИЗАТОР, УТИЛИЗАЦИЯ ТЕПЛА, ГПУ «ВОДОЛЕЙ»*

## EFFICIENCY COMPARISON OF VARIOUS TYPES OF POWER SYSTEMS BASED ON GTE

*Technical solutions for the utilization of the exhaust gas heat capacity after the gas turbine can be different. Comparing the indicators of efficiency of different recycling schemes may choose the most reasonable scheme for specific operating conditions*

*GTP, CCP, HEAT RECOVERY BOILER, RECOVERY, CCP "VODOLIY"*

### Вступ

У нових економічних умовах переходу до соціально-орієнтованих ринкових відносин, високого рівня інфляції, неможливості використання централізованих засобів для постачання енергії, які відробили свій ресурс і генеруючих потужностей, які потребують заміни, орієнтація на традиційне централізоване теплоенергопостачання від великих джерел стає проблематичною. У цей час існує тенденція будівництва децентралізованих комбінованих джерел електро- і теплопостачання, які встановлюються в існуючих опалювальних котельнях або на нових джерелах теплоти, що будуються.

Використання локальних систем виробництва електричної й теплової енергії з використанням газотурбінних енергетичних установок (ГТУ), які працюють на природному газі або пропані є одним з можливих розв'язків даної проблеми.

Газотурбінні установки одержали в цей час визнання в енергетиці, як повністю освоєне, надійне устаткування. Експлуатаційні показники ГТУ на електростанціях перебувають на тому ж рівні, що й традиційне енергетичне устаткування. Для них характерна готовність до роботи протягом 90% календарного часу, 2 - 3 літній ремонтний цикл, безвідмовність пусків 95 - 97%

Основним недоліком використання газотурбінного циклу є висока температура відпрацьованих димових газів (400-500°C). Це є не тільки економічно невигідно, але й

шкідливо для навколишнього середовища. Тому в даній роботі розглядаються різні способи утилізації теплоти відпрацьованих димових газів, а також порівнюється ефективність цих способів.

Мета та завдання

Провести порівняльний аналіз ефективності різних схем енергетичних установок на базі газотурбінного двигуна.

Результати дослідження

Для проектування енергетичних установок на базі ГТУ використовується програма «Проектировщик ПГУ». Вона призначена для розрахунків принципів теплових схем ГПУ на передпроектному етапі, використовує Microsoft Excel для вводу параметрів, та VBA для обчислень, дозволяє розрахувати параметри робочих тіл у різних точках схеми.

Для обчислень необхідно побудувати схему та ввести вихідні данні і параметри робочих тіл у деяких точках схеми. Інтерфейс програми для вводу характеристик та параметрів газової турбіни, котла-утилізатора та парової турбіни зображено відповідно на рис. 1-3.

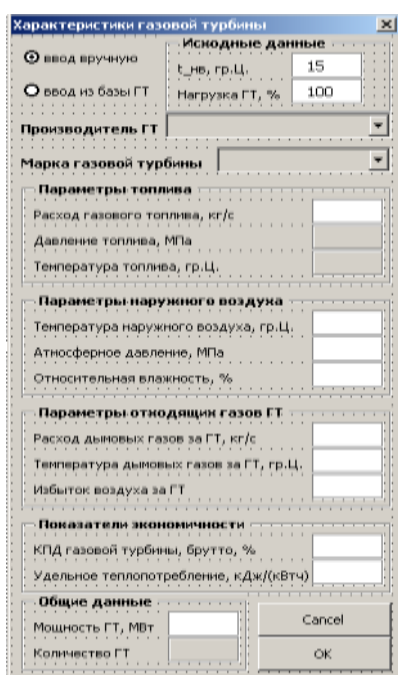


Рис.1 Газова турбіна

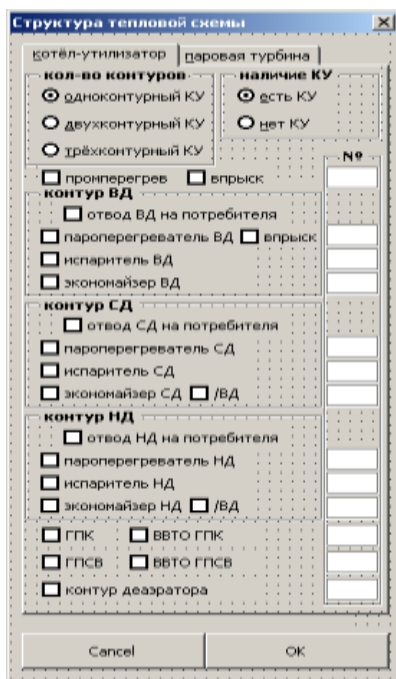


Рис.2 Котел-утилизатор



Рис.3 Парова турбіна

Базовим варіантом для обчислень було обрано ГТУ-16 з такими параметрами:

- Номінальна потужність 16,3 МВт
- Температура продуктів згоряння перед турбіною 1085 °C
- Витрата димових газів 60,08 кг/с
- Температура відхідних газів після турбіни 420 °C
- Температура навколишнього середовища 15 °C

Було спроектовано та проаналізовано такі установки на базі ГТУ-16:

- 1) ГТУ з теплофікаційним циклом (рис.4)

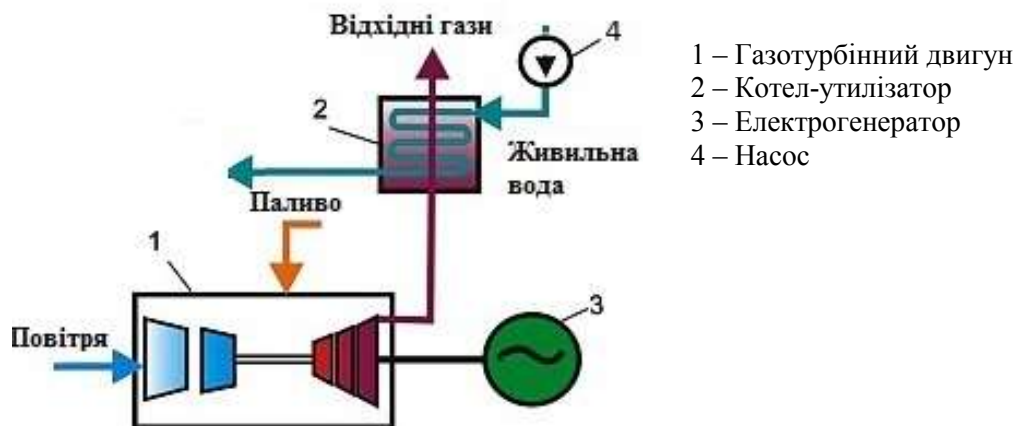


Рис.4 ГТУ з теплофікаційним циклом

- 2) Бінарний цикл ГПУ без теплофікації (рис.5):

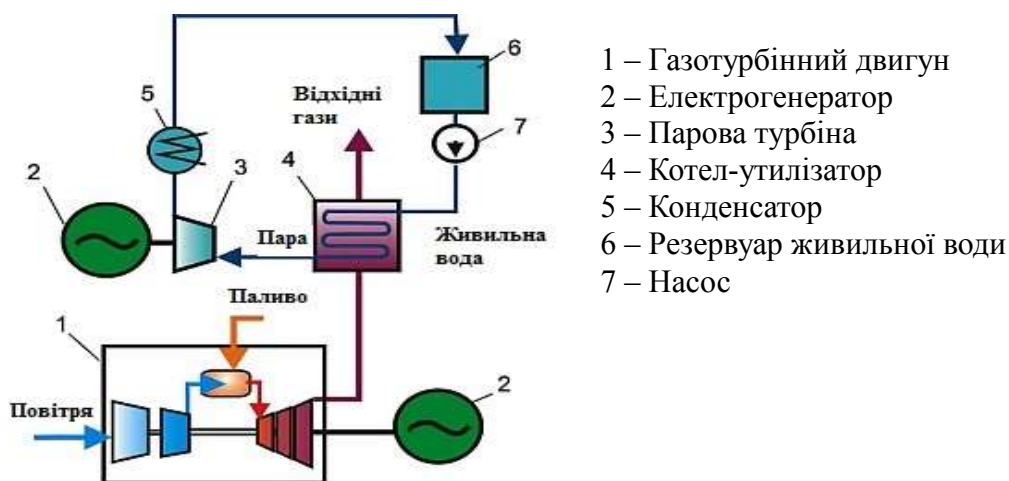


Рис.5 Бінарний цикл ГПУ

- 3) Бінарний цикл ГПУ з газовим підігрівачем мережної води – ГПМВ (рис. 7 без бойлера).  
 4) Бінарний цикл ГПУ з газовим підігрівачем мережної води та бойлером на відборах пари з парової турбіни (рис. 7).  
 5) ГПУ «Водолій» (рис.6)



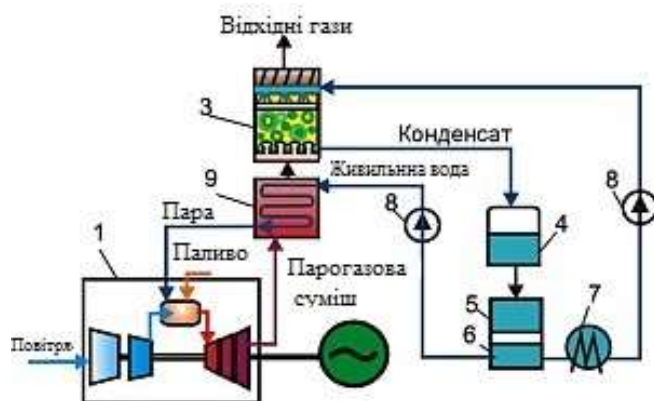


Рис.6 ГПУ «Водолій»

- 1 – Газотурбінний двигун
- 2 – Генератор
- 3 – Контактний конденсатор водяної пари
- 4 – Конденсатозбірник
- 5 – Блок очистки конденсату
- 6 – Витратний бак живильної води
- 7 – Зовнішній охолоджувач води
- 8 – Насос

Існує декілька показників, за якими можна порівнювати ефективність установок:

- коефіцієнт відносної потужності ГПУ,  $k_{відн\_пот}^{ГПУ} = \frac{N_{ГТУ}^{сумм}}{N_{ГТУ}^{сумм} + N_{ПТУ}^{сумм}}$ .
- коефіцієнт відносної потужності ПТ к ГТ,  $k_{відн\_пот}^{ПТ-к-ГТ} = \frac{N_{ПТУ}^{сумм}}{N_{ГТУ}^{сумм}}$ .
- ККД бруто газової турбіни в автономному режимі,  $\eta_{ГТУ}^{авт}$ , %.
- ККД ГПУ бруто,  $\eta_{ГПУ}^{бр} = \frac{N_{ГТУ}^{сумм} + N_{ПТУ}^{сумм}}{(B_m^{ГТ} + B_m^{дожиг}) \cdot Q_n^p}$ , %, де  $B_m^{ГТ}$  - витрата палива безпосередньо на газову турбіну, кг/с;  $B_m^{дожиг}$  - сумарна витрата палива на допалення перед поверхнями котла-утилізатора, кг/с.
- бруто коефіцієнт використання теплоти палива ГПУ  $KВП_{ГПУ}^{бр} = \frac{N_{ГТУ}^{сумм} + N_{ПТУ}^{сумм} + Q_{ГПУ}}{(B_m^{ГТ} + B_m^{дожиг}) \cdot Q_n^p}$ , %.
- питоме теплоспоживання  $q_{ГПУ}^{бр} = \frac{3600 \cdot (B_m^{ГТ} + B_m^{дожиг}) \cdot Q_n^p}{N_{ГТУ}^{сумм} + N_{ПТУ}^{сумм}}$ , кДж/(кВт·год).

На рис. 7 показано результат обрахунку схеми ГПУ з газовим підігрівачем мережної води та бойлером на відборах пари з парової турбіни, який виконано в програмі «Проектировщик ПГУ». Особливістю розрахунків є те, що, при включенні газового підігрівача мережної води у схему, користувачу необхідно вказати температуру відхідних газів після котла-утилізатора. Ця температура обумовлюється негативним впливом конденсації водяної пари у газоходах та димових трубах, а також збільшенням природної тяги, яка знижує напір димососа.

В результаті обрахунків отримали такі дані (табл. 1). Витрата палива є однаковою для всіх циклів,  $B_t=1,08$  кг/с (Ву.п.=1,813 кг/с),  $Q_n^p = 49203$ кДж / кг .

Ці показники дають змогу оцінити ефективність енергетичних установок. Проте, вирішити, яка з наведених установок найефективніша – досить складно.

Так, наприклад, за показником «коефіцієнт використання палива» найефективнішою установкою є ГТУ з теплофікаційним циклом (КВП=68,25%), проте, вона є найменш потужною з точки зору виробництва електричної енергії (ККД<sub>ел</sub>=30,67%), і є ефективною тільки за наявності потужного споживача теплової енергії (17,8 Гкал/год). При відсутності теплового споживача в літній період КВП буде зменшуватись.

Якщо розглянути простий цикл ГПУ без теплофікації, то побачимо, що він має більший електричний ККД (ККД<sub>ел</sub>=39,61%) за рахунок використання парової турбіни, проте, тепловий потенціал димових газів не використовується повністю (температура відхідних газів 205,5°C) і тому коефіцієнт використання палива є найнижчим (КВП=39,61%).

На відміну від попереднього, цикл ГПУ з газовим підігрівачем мережної води є більш досконалим і однозначно ефективнішим. Так ми бачимо, що електричний ККД залишається на попередньому рівні (ККД<sub>ел</sub>=39,63%), а коефіцієнт використання палива зростає (КВП=52,53%) за рахунок використання залишкового теплового потенціалу відхідних газів на теплофікацію.



Таблиця 1. Показники ефективності різних схем енергетичних установок на базі ГТУ

Показники ефективності	Одиниці Виміру	1)ГТУ+ теплоф.	2)ГПУ без теплоф.	3)ГПУ з ГПМВ	4)ГПУ з ГПМВ та бойлером	5)ГПУ «Водолій»	
						Без теплоф.	з теплоф.
N ГТУ	МВт	16,3	16,3	16,3	16,3	-	16,3
N ПТУ	МВт	-	4,75	4,76	4,07	-	-
N ГПУ, брутто	МВт	16,30	21,05	21,06	20,37	25	16,30
N ГПУ, нетто	МВт	16,27	21,02	21,05	20,36	24,97	16,27
Q ГПМВ	Гкал/год	17,18	-	5,90	5,93	-	17,18
Q бойлерів (загальне)	Гкал/год	-	-	-	2,21	-	-
Q ГПУ	Гкал/год	17,18	-	5,90	8,13	-	17,18
$k_{відн\_пот}^{ГГУ}$		1	0,774	0,774	0,800	1	1
$k_{відн\_пот}^{ПТ\_к\_ГТ}$		-	0,291	0,292	0,250	-	-
ККД ГТУ, брутто	%	30,67	30,67	30,67	30,67	-	30,67
абсолютний ККД ГПУ, брутто	%	30,67	39,61	39,63	38,34	47,04	30,67
абсолютний ККД ГПУ, нетто	%	30,62	39,57	39,60	38,31	46,95	30,62
КВП ГПУ, брутто	%	68,25	39,61	52,53	56,13	47,04	68,25
$q_{ГГУ}^{бр}$	кДж/кВт·год	11736	9088	9085	9391	7652	11736
$q_{ГГУ}^{нетто}$	кДж/кВт·год	11758	9099	9090	9397	7667	11758

ГПУ з газовим підігрівачем мережної води та з відбором пари на бойлер для теплофікації є універсальною установкою. Вона є менш потужною за попередню з точки зору виробництва електричної енергії (ККД<sub>ел</sub>=38,34%), проте, за рахунок відборів установка виробляє більше теплової енергії і тому коефіцієнт використання палива зростає (КВП=56,13%), та має змогу регулювати теплову та електричну потужність за рахунок відключення відборів пари на бойлер. Так, наприклад, з потеплінням потреба в тепловій енергії зменшується і тому можна використовувати пару в повному обсязі для роботи в паровій турбіні і виробництва електричної енергії, яка в свою чергу може бути використана для кондиціонування.

На рис. 8 зображено Q-t діаграму котла-утилізатора, яка дозволяє визначити температури відхідних газів та параметри робочого тіла в залежності від кількості переданої теплоти на пароперегрівач, випаровувач, економайзер, деаератор, газовий підігрівач конденсату та газовий підігрівач мережної води.

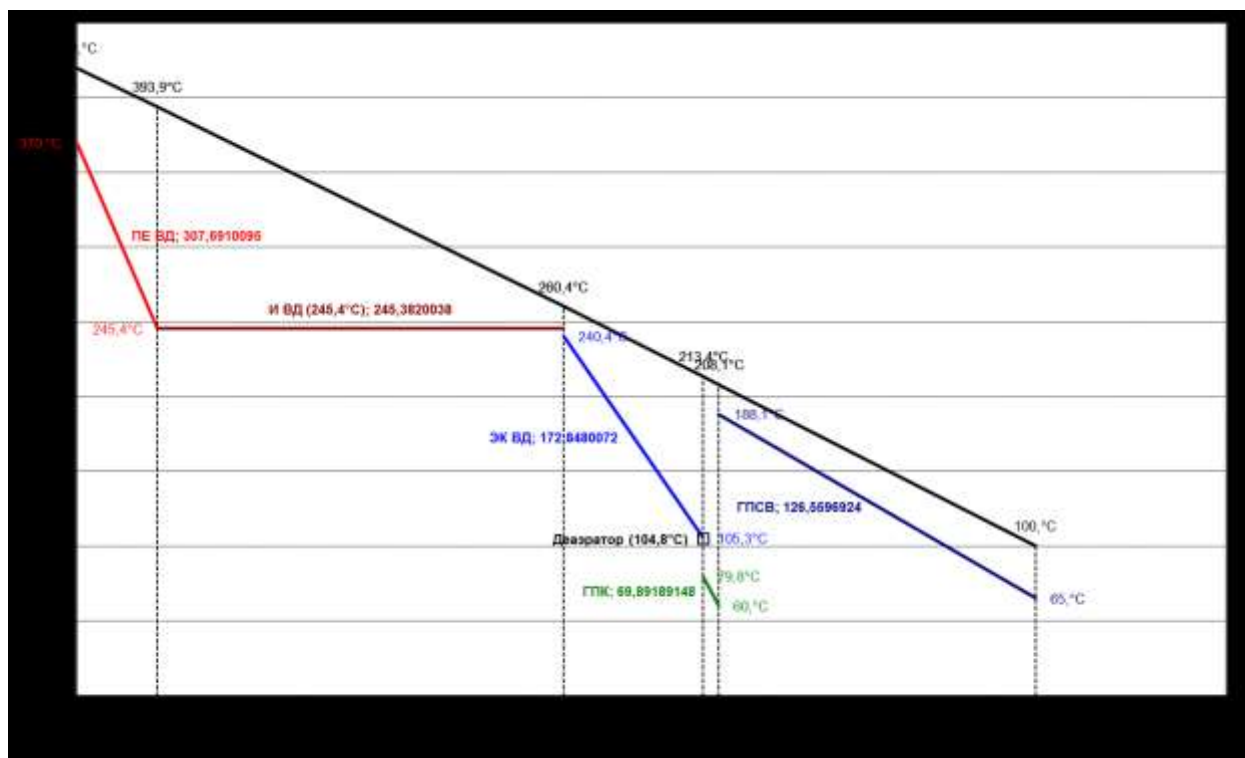


Рис. 8 Q-t діаграма котла-утилізатора.

Найбільш маневреною є ГПУ «Водолій», у якій в якості робочого тіла використовується парогазова суміш. Пара отримується після утилізації теплоти димових газів, і потім прямує у камеру згоряння. Утворений у камері згоряння парогазовий потік надходить у турбину, де його енергія перетворюється в механічну роботу. При цьому подачу пари у камеру згоряння можна регулювати і частину з неї направляти на теплофікацію. У таблиці розглянуто два крайні варіанти: коли вся утворена пара йде у камеру згоряння та коли вся утворена пара йде на теплофікацію. У першому варіанті отримуємо значний приріст електричної потужності (25 МВт,  $\text{ККД}_{\text{ел}}=47,04\%$ ), порівняно з простим газотурбінним циклом (16,3 МВт,  $\text{ККД}_{\text{ел}}=30,67\%$ ). У другому - отримуємо звичайний цикл ГТУ з теплофікацією ( $N=16,3$  МВт,  $Q=17,8$  Гкал/год). Основною перевагою ГПУ «Водолій» є можливість працювати в залежності від потреб споживача у тепловій та електричній енергії. Позитивний ефект роботи установки також полягає в здатності генерувати додаткову кількість води, що утворюється в результаті хімічної реакції окислення вуглеводневого палива в камері згоряння. Робота агрегату практично не залежить від зовнішніх джерел водопостачання, а забезпечується водою за рахунок її генерації в циклі в зимовий період. Застосування контактного конденсатора зменшує викиди шкідливих речовин у навколишнє середовище за рахунок контакту відхідних газів з поверхнею води та знижує температуру відхідних газів до 40-60°C.

## Висновки

Вибір схеми утилізації теплоти димових газів повинен базуватися не тільки на показниках ефективності, але ще й враховувати особливості місцевості та потреби споживача. Найбільш універсальною та маневреною є ГПУ «Водолій», яка дозволяє регулювати співвідношення виробництва електричної та теплової енергії у значному діапазоні. Крім того, необхідно зауважити, що така схема не потребує використання парової турбіни, що значно знижує металоемність конструкції в порівнянні з іншими ГПУ.

УДК 621.472

ДОВГИЙ С.С., ЄМАНОВА Н.О., СТУДЕНЕЦЬ В.П.

**ДОСЛІДНИЦЬКИЙ СТЕНД «ПАРАБОЛОЇДНИЙ СОНЯЧНИЙ КОНЦЕНТРАТОР - ДВИГУН СТИРЛІНГА УДС-1 - ЕЛЕКТРИЧНИЙ ГЕНЕРАТОР» ТА ЙОГО БАЗОВІ ХАРАКТЕРИСТИКИ**

*Розглянуто питання перетворення сонячної енергії в електричну на базі створеного дослідницького стенду «параболоїдний сонячний концентратор – двигун Стірлінга УДС-1 – електричний генератор». Наведено методику розрахунку та здійснено аналіз основних характеристик складових елементів стенду.*

*Ключові слова: параболоїдний сонячний концентратор, двигун Стірлінга, електричний генератор.*

ДОВГИЙ С.С., ЕМАНОВА Н.А., СТУДЕНЕЦЬ В.П.

**ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ СТЕНД «ПАРАБОЛОИДНЫЙ СОЛНЕЧНЫЙ КОНЦЕНТРАТОР – ДВИГАТЕЛЬ СТИРЛИНГА УДС-1 – ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ГЕНЕРАТОР» И ЕГО БАЗОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ**

*Рассмотрен вопрос преобразования солнечной энергии в электрическую на базе созданного исследовательского стенда «параболоидный солнечный концентратор – двигатель Стирлинга – электрический генератор». Изложена методика расчета и выполнен анализ основных характеристик составных элементов стенда.*

*Ключевые слова: параболоидный солнечный концентратор, двигатель Стирлинга, электрический генератор.*

S.S. DOVGYI, N.O. IEMANOVA, V.P. SToudenets

**RESEARCH STAND "PARABOLIC SOLAR CONCENTRATOR - THE STIRLING ENGINE UDS-1 - ELECTRIC GENERATOR" AND ITS BASE CHARACTERISTICS**

The solar-electrical energy conversion on the base of assembled research unit “solar dish concentrator – Stirling engine – generator” is considered. The design procedure is observed and the characteristic analysis of unit component elements is performed.

*Keywords:* solar dish concentrator, Stirling engine, electric generator.

**1. Вступ**

На лабораторній базі Інституту енергозбереження та енергоменеджменту НТУУ «КПІ» створено експериментальну сонячну енергетичну установку СЕУ (рис. 1.1), яка складається з:

- 1 – параболоїдного сонячного концентратора (СК), вкритого тонкою дзеркальною плівкою,
- 2 – двигуна УДС-1, гаряча порожнина якого знаходиться у фокусі СК,
- 3 – електрогенератора (ЕГ) ДП-2-26, з'єднаного за допомогою ремінної передачі зі шківом ДС,
- 4 – вимірювального обладнання (вимірювання сонячної радіації, температури гарячої та холодної порожнин ДС, швидкості обертання ДС, вихідної потужності ЕГ).

Робота стосується дослідження перетворення сонячної енергії в електричну на базі створеного дослідницького стенду «параболоїдний сонячний концентратор – двигун Стірлінга УДС-1 – електричний генератор».

Метою роботи є аналітичний і експериментальний аналіз ключових характеристик та ефективності СЕУ та її основних компонентів.

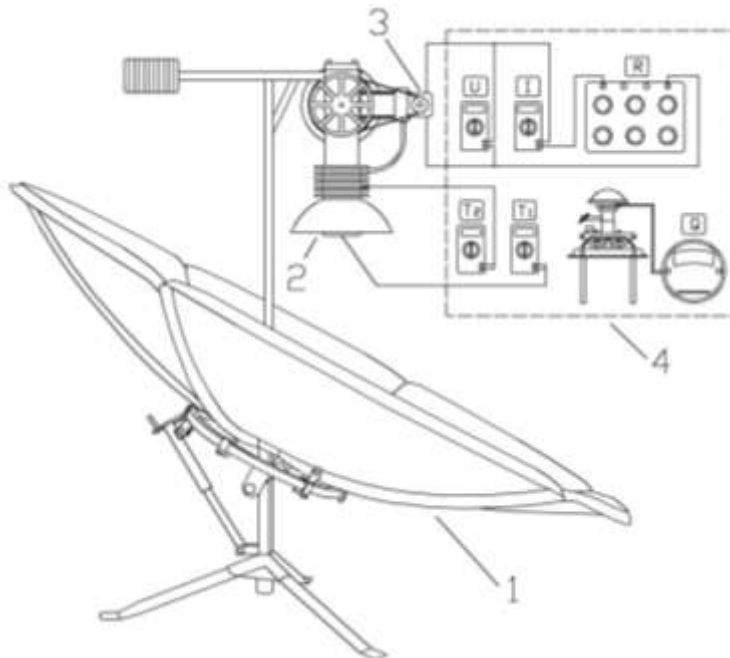


Рис. 1.1 - Експериментальна сонячна енергетична установка

## 2. Сонячний концентратор

Як сонячний концентратор (СК) було обрано так звану «сонячну кухню» – параболоїдний СК, вкритий тонкою дзеркальною плівкою, встановлений на тринозі з можливістю обертання на 360° і регулювання кута нахилу.

Реальне зображення СК та його характеристики наведені на рис.2.1 та у таблиці 2.1 відповідно.

Таблиця 2.1 – Паспортні характеристики сонячного концентратора

Діаметр антени концентратора	1,5 м
Площа міделя концентратора	1,77 м <sup>2</sup>
Фокусна відстань концентратора	0,6 м
Відношення діаметр/фокус	2,5
Кут розкриття концентратора	64°
Діаметр фокальної плями	0,1 м
Площа фокальної плями	7,85 · 10 <sup>-3</sup> м <sup>2</sup>
Площа зображення Сонця	2,46 · 10 <sup>-5</sup> м <sup>2</sup>
Коефіцієнт ефективності оптичної системи	0,5
Ступінь концентрації	28105
Коефіцієнт концентрації	0,235



Ступінь концентрації – це відношення сонячного потоку в зображенні сонця до сонячного потоку відбитого концентратором одиницею площі, і залежить лише від геометричних показників концентратора:

$$C = \frac{P}{\eta_a \cdot \eta_r \cdot p_0} = 46,1 \cdot 10^3 \cdot \sin^2 \theta.$$

Для приймача у вигляді плоскої пластини, що підкоряється кону Ламберта ( $\varepsilon = \varepsilon_n \cos \theta$ ):

$$C = 30,7 \cdot 10^3 (1 - \cos^3 \theta).$$

Коефіцієнт концентрації – відношення кількості енергії, що отримується в межах сонячного зображення, до загальної кількості енергії, що отримується в фокальній площині (відношення теплового потоку, що падає в області сонячного зображення, до повного потоку, що падає на параболоїдний концентратор).

Для приймача у вигляді плоскої пластини, що підкоряється закону Ламберта:

$$\eta_c = \frac{\varepsilon_n}{6} (1 + \cos \theta)(1 + \cos \theta + \cos^2 \theta).$$



Рис. 2.1 – Сонячний концентратор

### 3. Двигун Стірлінга УДС-1

Як динамічний перетворювач була вибрана модель УДС-1 (ДС односторонньої дії, витискувального типу, з робочим і додатковим циліндрами, розташованими під кутом  $90^\circ$  [3]), схема якої представлена на рис 3.1 з позначенням її складових елементів.

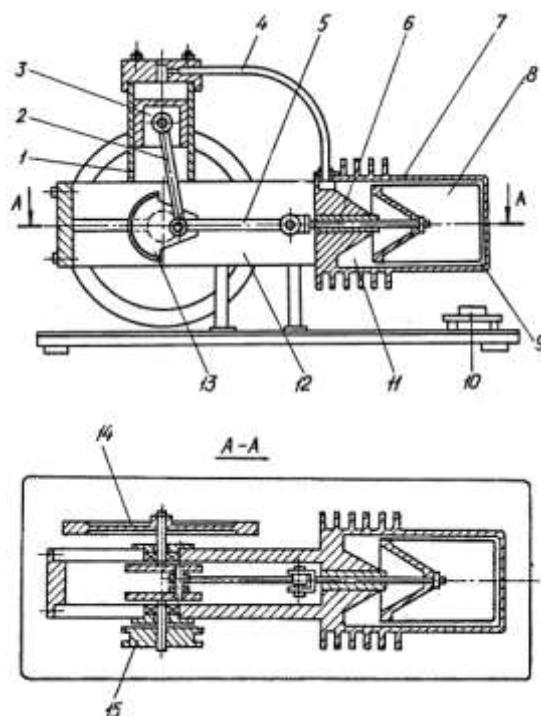


Рис. 3.1 – Учбово-демонстраційна модель двигуна Стірлінга моделі УДС-1:  
 1 – робочий циліндр, 2 – шатун, 3 – робочий поршень, 4 – трубка внутрішнього контуру, 5 – шатун, 6 – втулка, 7 – циліндр, 8 – поршень–витискувач, 9 – гаряча порожнина, 10 – місце для зовнішнього підводу теплоти, 11 – холодна порожнина, 12 – корпус, 13 – кривошип, 14 – маховик, 15 – шків.

Таблиця 3.1 – Паспортні дані двигуна Стірлінга

Номинальна потужність, Вт	5
Кутова швидкість вихідного валу, об/хв	500
Число циліндрів, шт	1
Система згорання	Зовнішня
Охолодження	Повітряне
Робоче тіло	Повітря
Схема	γ-схема
Обертання маховика	За годинниковою стрілкою
Маса, кг, не більше	8
Габаритні розміри, мм, не більше	340x160x170

Таблиця 3.2 – Основні характеристики двигуна Стірлінга

Найменування характеристики ДС	Символ	Величина
1. Діаметр робочого циліндра	D	40 мм
2. Діаметр циліндра витискувача	D <sub>в</sub>	65 мм
3. Діаметр витискувача	d <sub>в</sub>	63,4 мм
4. Хід поршня та витискувача	S	30 мм
5. Відношення ходу поршня до діаметру циліндра	SD	0,75
6. Робочий об'єм	V <sub>с</sub>	37,68 см <sup>3</sup>
7. Повний об'єм	V <sub>т</sub>	130,86 см <sup>3</sup>
8. Мертвий об'єм	V <sub>д</sub>	93,18 см <sup>3</sup>
9. min тиск у робочих порожнинах	P <sub>min</sub>	0,1 МПа

#### 4. Електрогенератор

Технічні характеристики електрогенератора (ЕГ) визначаються, в першу чергу, швидкістю обертання УДС-1 600 об/хв. ЕГ з вихідною напругою 220 В і такою номінальною швидкістю обертання характеризуються значними габаритами, що заважає їх використанню в конструкції СЕУ. Встановлення ж мультиплікатора є економічно недоцільним.

На лабораторній базі Інституту енергозбереження та енергоменеджменту НТУУ «КПІ» проведено ряд дослідів над сімома електричними машинами з метою виявлення найпотужнішої при частоті обертання 400 об/хв, що найбільш відповідає частоті обертання ДС за реальних умов. В якості навантаження було вибрано умовне навантаження 15 Ом (у вигляді магазину опорів).

В якості динамічного перетворювача було обрано двигун марки ДП-2-26, що є машиною постійного струму зі збудженням від постійного магніту. Його зображення приведені на рис. 4.1, а паспортні характеристики наведені у таблиці 4.1.

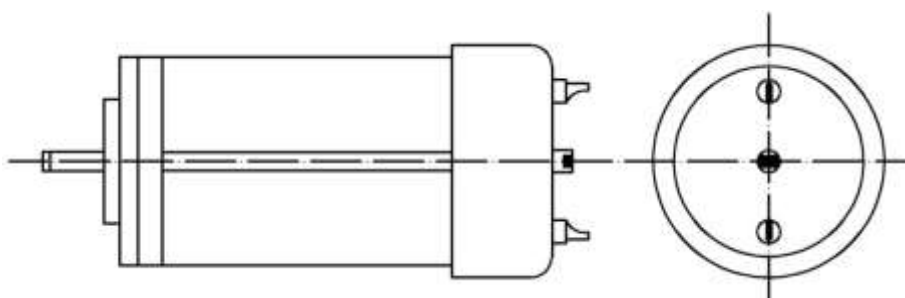


Рис. 4.1 – Електродвигун марки ДП-2-26

Таблиця 4.1 – Паспортні характеристики ДП-2-26

Частота обертання	3800 об/хв
Напруга	27 В
Струм	1,2 А
Обертаючий момент	29,4 (мН·м)
Напруга живлення	27В ± 2,7 В
Номінальна потужність	12Вт
Номінальний обертаючий момент	0,0294 Нм
Маса	0,3 кг
Довжина	90 мм
Діаметр	39мм
Мінімальне напрацювання	300 год

#### 5. Експериментальне дослідження СЕУ

Протягом літа 2012 р. було проведено ряд експериментів з сонячною енергетичною установкою на базі двигуна Стірлінга, а саме: дослід у замкненому просторі, дослід у відкритому просторі, дослід у відкритому просторі без однієї, двох та трьох секцій СК.

Дослідним шляхом вдалося встановити пряму залежність між інтенсивністю сонячного випромінювання і температурами гарячої та холодної порожнин ДС, його швидкістю обертання та вихідною електричною потужністю СЕУ: зі збільшенням сонячної

радіації всі вищезазначені параметри зростають, не залежно від того, проводився дослід у закритому чи відкритому просторі.

Також, розглядаючи погодні умови, вдалося виявити пряму залежність між температурами гарячої і холодної порожнини ДС та швидкістю вітру: чим більше швидкість вітру, тим температури менше.

В таблиці 5.1 представлені усереднені по всім дослідом значення температури гарячої та холодної порожнин ДС, його швидкості обертання та вихідної електричної потужності СЕУ, віднесені до кількості активних секцій СК з подальшим перерахунком на площу міделя СК (Ак).

Таблиця 5.1 – Параметри СЕУ в залежності від кількості активних секцій СК

Кількість активних секцій СК	Ак, м <sup>2</sup>	T <sub>1</sub> , К	ΔT, К	N, об/хв.	W, Вт
6 (всі)	1,77	897	565	332	1,802
5 (без 1 секції)	1,47	873	542	251	0,919
4 (без 2 секцій)	1,18	858	534	245	0,879
3 (без 3 секцій)	0,88	840	511	162	0,41

Дослідним шляхом вдалося встановити пряму залежність між площею сонячного концентратора і температурами гарячої та холодної порожнин ДС, його швидкістю обертання та вихідною електричною потужністю СЕУ: зі зменшенням площі міделя концентратора всі вищезазначені параметри зменшуються.

#### 6. Розрахунок індикаторних характеристик ДС за ізотермічною моделлю по методу Шмідта та ККД СЕУ в цілому

Даний розрахунок можна провести двома методами: використовуючи експериментальне або розрахункове значення температури робочого тіла в гарячій порожнині ДС.

Розраховані параметри відображені графічно на рис.6.1-6.4, де результати теоретичного розрахунку представлені чорною лінією, а експериментально-теоретичного – червоною. В обох випадках спостерігається пряма залежність між отриманими даними: при збільшенні величини сонячної радіації температура робочого тіла у гарячій порожнині, потужність ДС, ККД ДС та ККД СЕУ зростають.

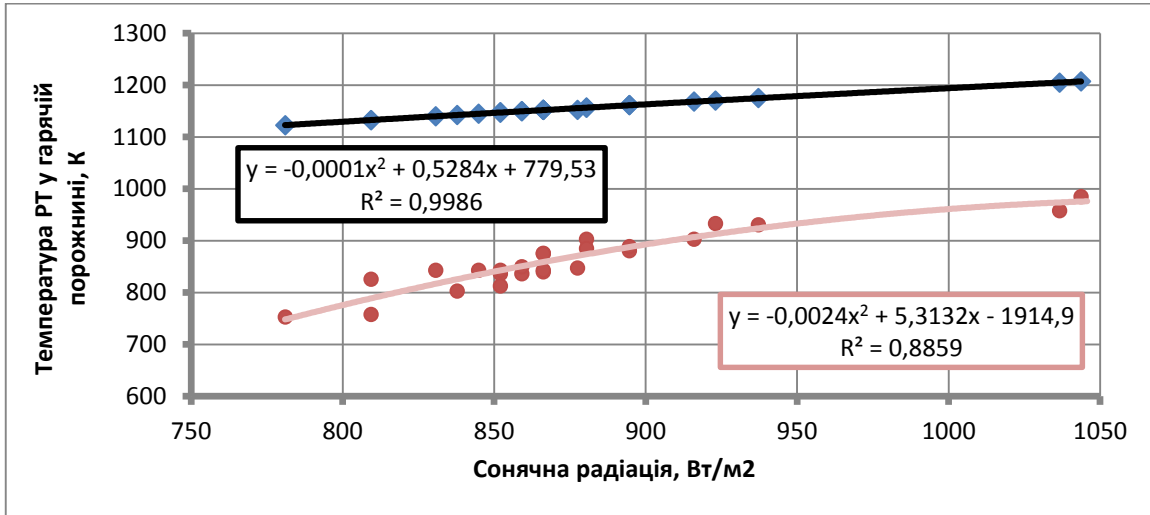


Рис.6.1 – Залежність температури робочого тіла у гарячій порожнині від сонячної радіації

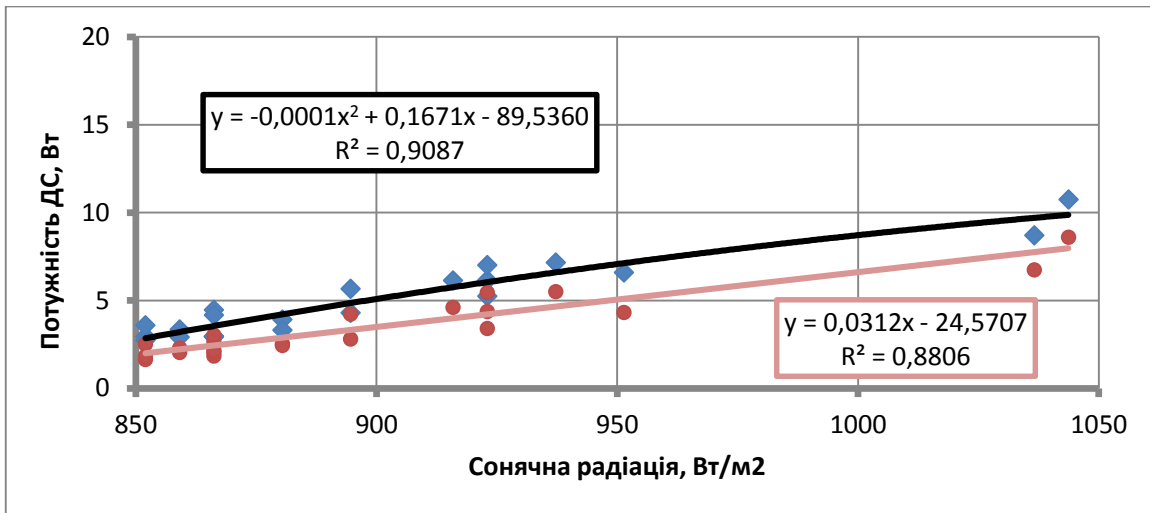


Рис.6.2 – Залежність потужності ДС від сонячної радіації

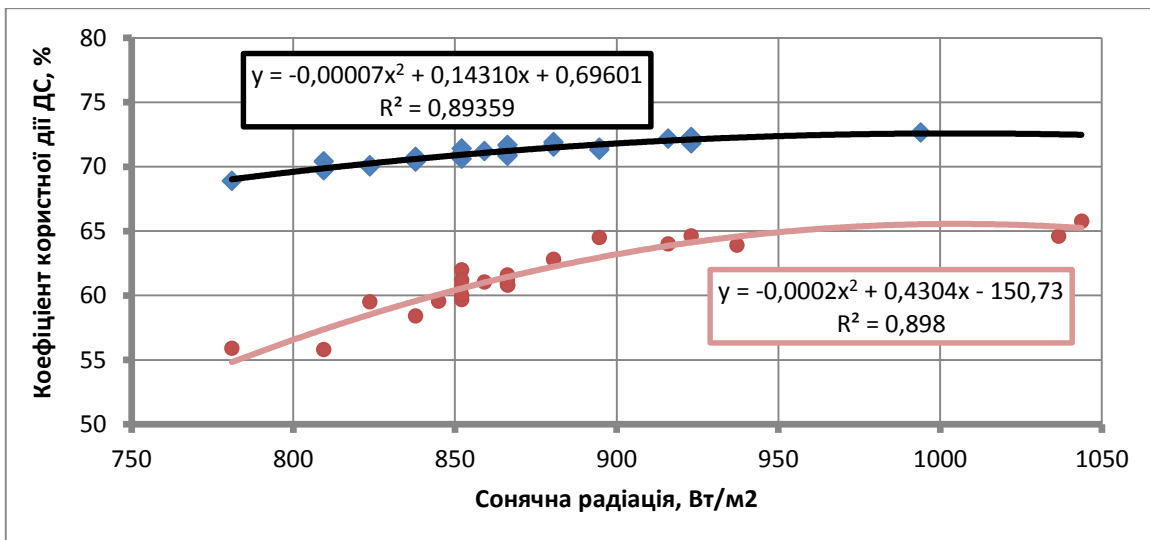


Рис.6.3 – Залежність ККД ДС від сонячної радіації

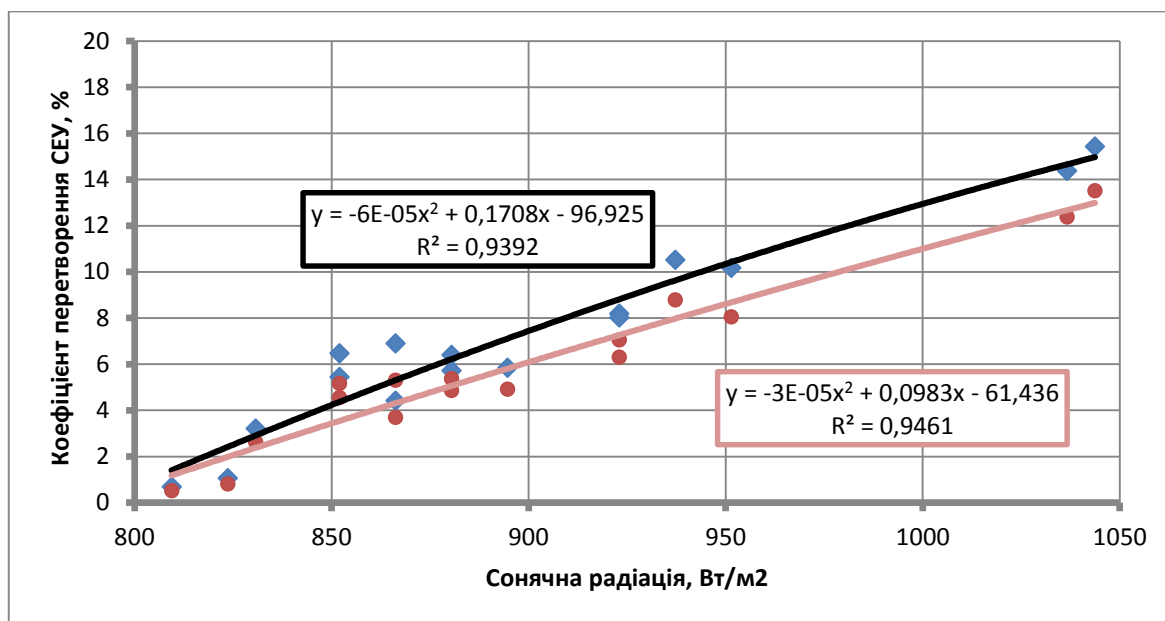


Рис.6.4 – Залежність ККД СЕУ від сонячної радіації

## 7. Висновки

Дослідним шляхом вдалося встановити пряму залежність між інтенсивністю сонячного випромінювання і температурами гарячої та холодної порожнини ДС, його швидкістю обертання та вихідною електричною потужністю СЕУ: зі збільшенням сонячної радіації всі вищезазначені параметри зростають, незалежно від того, проводився дослід у закритому чи відкритому просторі.

Так само дослідним шляхом вдалося встановити пряму залежність між площею сонячного концентратора і температурами гарячої та холодної порожнини ДС, його швидкістю обертання та вихідною електричною потужністю СЕУ: зі зменшенням площі міделя концентратора всі вищезазначені параметри зменшуються.

Результати теоретичного та експериментально-теоретичного розрахунку показують пряму залежність між отриманими даними: при збільшенні величини сонячної радіації температура робочого тіла у гарячій порожнині, потужність ДС, ККД ДС та ККД СЕУ зростають. Остаточні розраховані параметри СЕУ (сонячна радіація 753-1044 Вт/м<sup>2</sup>) наступні: ККД СК 45%, ККД ДС 55-68%, ККД ЕГ 5-14%, ККД СЕУ 1-14%

ККД СЕУ може бути підвищений шляхом зниження температури холодної порожнини та збільшення тиску робочої порожнини ДС за допомогою наступних конструктивних рішень: примусове охолодження радіатора ДС водою або повітрям; нагнітання робочого тіла (повітря) в робочу порожнину ДС до тиску ~3 атм.

### Список посилань

1. S. Bittanti, A.D. Marco, M. Farina, S. Spelta «Modeling and simulation of a dish Stirling solar engine».
2. Г.Ридер, Ч. Хупер «Двигатели Стирлинга» Пер с англ. – М.: Мир, 1986. – 464 с.
3. Долганов К.Е. Учебно-демонстрационный двигатель Стирлинга УДС-1. / К.Е. Долганов, В.П. Лисица // Двигателестроение. – 1989. – №5. – С. 28, 33.

УДК 620.9:33

Кучер А.В.

Україна, м.Київ, НТУУ «КПІ» ІЕЕ

## ВИБІР ПІДГРІВНИКІВ В СТРУКТУРІ ТЕПЛО-ТЕХНОЛОГІЧНОГО КОМПЛЕКСУ ЦУКРОВОГО ЗАВОДУ

*Досліджено системний підхід підвищення рівня енергоефективності цукрового заводу, проведено аналіз ефективності теплообмінних систем цукрового заводу.*

## ВЫБОР ПОДОГРЕВАТЕЛЕЙ В СТРУКТУРЕ ТЕПЛО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА САХАРНОГО ЗАВОДА

*Исследовано системний підхід підвищення рівня енергоефективності сахарного заводу, проведено аналіз ефективності теплообмінних систем сахарного заводу.*

## A CHOICE OF HEATERS IN STRUCTURE OF WARM-TECHNOLOGICAL OF COMPLEX OF SUGAR-HOUSE

*It is investigational by means of approach of the systems of increase of level of power – efficient of sugar-house, the analysis of efficiency of the heat-exchange systems of sugar-house is conducted.*

**Вступ.** Сучасний цукровий завод є єдиним тепло-технологічним комплексом, що включає елементи технологічного, теплообмінного, механічного обладнання, пов'язані між собою складною схемою різнорідних зв'язків, та в якому одночасно протікають, тісно взаємодіючи, складні фізико-хімічні процеси. Саме ця складність внутрішніх взаємозв'язків процесів, їх параметрів та характеристик визначає необхідність системного підходу

**Мета та завдання.** Визначення системного підходу до аналізу реального функціонування тепло-технологічного комплексу цукрового заводу, оцінки його ефективності та розв'язання задачі оптимізації .

**Результати дослідження.** В спрощеному вигляді заходи з оптимізації структури тепло-технологічного комплексу можна звести до наступних дій:

- зменшення витрати пари на окремі споживачі;
- максимальне використання вторинних енергоресурсів;
- збільшення кратності випаровування на випарній установці з метою компенсації зменшення.

- дотримання балансу споживання і виробництва теплової та електричної енергій.

Внаслідок складності теплотехнологічного комплексу як системи, його можна розглядати як сукупність окремих підсистем, кожна з яких, в свою чергу, є складною сукупністю різнорідних елементів. При цьому окремі елементи системи можуть, в залежності від характеру аналізу, розглядатися як складові різних підсистем. Так, парорідинні підігрівники з точки зору технологічних підсистем виконують функцію підтримання

температурного режиму на окремих стадіях технологічного процесу, а з точки зору підсистеми розподілу енергетичних потоків вони є споживачами вторинної пари випарної установки.

Відповідно, спільний аналіз ієрархії задач оптимізації структури теплотехнологічного комплексу (система, підсистема, елемент) дозволяє умовно розділити задачу оптимізації підігрівників на **наступні стадії**:

На **першому етапі**, який умовно можна назвати розробкою технічних пропозицій, визначаються можливі варіанти основних принципових схемних рішень та оцінюються ймовірні співвідношення енергетичної та економічної ефективності перспективних варіантів (слід підкреслити, що саме на цьому етапі приймається рішення про доцільність кардинальної реконструкції чи лише модифікації теплотехнологічного комплексу). На цьому етапі оптимізуються, очевидно, характеристики теплообмінних апаратів в тому сенсі, в якому вони відповідають вимозі термодинамічної досконалості структури теплотехнологічного комплексу.

Так, для підвищення кратності випаровування випарної установки, очевидно, парорідинні підігрівники мають працювати при менших температурних напорах і забезпечувати можливо меншу різницю між температурою нагрівної пари (первинного теплоносія) та нагрітого соку (вторинного теплоносія) на виході з теплообмінника. Тому на першому етапі основною характеристикою підігрівників є «коефіцієнт ефективності підігрівника» (його також в технічній літературі називають «коефіцієнтом корисної дії теплообмінників», «робочою характеристикою теплообмінників», «відношенням підвищення температур», «відношенням підігрівів» тощо)

$$E = Q/Q_{\max}, \quad (1)$$

де  $Q$  – дійсна теплопродуктивність теплообмінника,  $Q = kF\Delta T_{cp}$ , Вт;  $k$  – середній коефіцієнт теплопередачі,  $k = (1/\alpha_1 + \delta_{ct}/\lambda_{ct} + \delta_3/\lambda_3 + 1/\alpha_2)^{-1}$ ,  $Вт/(м^2K)$ ;  $\alpha_1, \alpha_2$  – середні коефіцієнти тепловіддачі відповідно первинного та вторинного теплоносіїв,  $Вт/(м^2K)$ ;  $\delta_{ct}, \delta_3$  – товщини відповідно поверхні теплообміну та шару забруднень, м;  $\lambda_{ct}, \lambda_3$  – коефіцієнти теплопровідності відповідно поверхні теплообміну та шару забруднень,  $Вт/(м\cdot K)$ ;  $F$  – площа поверхні теплообміну теплообмінника,  $м^2$ ;  $\Delta T_{cp}$  – середня різниця температур, для парорідинних підігрівників  $\Delta T_{cp} = [(T_{1S} - T_{2вх}) - (T_{1S} - T_{2вих})] / \ln[(T_{1S} - T_{2вх}) / (T_{1S} - T_{2вих})]$ ,  $K$  ( $^{\circ}C$ );  $T_{1S}$  – температура насичення нагрівної пари,  $K$  ( $^{\circ}C$ );  $T_{2вих}$  – температура вторинного теплоносія на виході з підігрівника,  $K$  ( $^{\circ}C$ );  $Q_{\max}$  – максимально можлива теплопродуктивність теплообмінника (такий тепловий потік, при якому теплоносій з меншим значенням масової витратної теплоємності  $C_{\min}$  буде залишати теплообмінник, маючи температуру, що дорівнює температурі на вході іншого теплоносія),  $Q_{\max} = C_{\min}\Delta T_{\max}$ , Вт;  $\Delta T_{\max} = (T_{1вх} - T_{2вх})$  – для теплообмінників з однофазними теплоносіями,  $\Delta T_{\max} = (T_{1S} - T_{2вх})$  – для парорідинних підігрівників,  $K$  ( $^{\circ}C$ );  $T_{1вх}, T_{2вх}$  – вхідна температура відповідно первинного та вторинного теплоносіїв,  $K$  ( $^{\circ}C$ );  $C_{\min}$  – менша з масових витратних теплоємностей двох теплоносіїв  $C_1$  та  $C_2$ ,  $Вт/K$ ;  $C_{\min} = C_2$  – для парорідинних підігрівників;  $C_1, C_2$  – масові витратні теплоємності двох теплоносіїв,  $C_1 = G_1c_1, C_2 = G_2c_2$ ,  $Вт/K$ ;  $G_1, G_2$  – масові витрати теплоносіїв,  $кг/с$ ;  $c_1, c_2$  – масові теплоємності теплоносіїв,  $кДж/(кг\cdot K)$ .



Наприклад, при збільшенні коефіцієнта ефективності парорідинного підігрівника на  $\Delta E$  кількість нагрівної пари, що ним споживається, збільшиться на

$$\Delta D_{\text{пдгр}} = \Delta E \cdot C_2 \cdot (T_{1S} - T_{2\text{вх}}) / \Delta h_{\text{fg}}, \quad (2)$$

де  $\Delta h_{\text{fg}}$  – питома теплота конденсації нагрівної пари, кДж/кг.

Відповідно, зменшення витрати пари на випарну установку може бути виражене як

$$\Delta D = (n_1 / n_2) \Delta D_{\text{пдгр}}, \quad (3)$$

де коефіцієнти  $n_1, n_2$  визначають вплив зміни ефективності відповідного підігрівника на кратність випаровування:

1. Коефіцієнт  $n_1$  визначає, на скільки ступенів випаровування зміщується паровідбор  $\Delta D_{\text{пдгр}}$ . Наприклад, якщо станція нагрівання складається з двох послідовних груп парорідинних підігрівників, що нагріваються вторинною парою послідовних корпусів випарної установки, то збільшення ефективності підігрівника першої групи на  $\Delta E$  змістить частину паровідбору  $\Delta D_{\text{пдгр}}$  на одну ступінь випаровування. Відповідно,  $n_1 = 1$ .

2. Коефіцієнт  $n_2$  визначає, з якою метою підвищується ефективність підігрівника:

2.1. Коефіцієнт ефективності підігрівника збільшується з метою підвищення кратності випаровування, що викликає збільшення кількості випареної води у випарній установці та відповідне зменшення витрати пари на вакуум-апарати першого продукту. Тоді значення  $n_2$  буде дорівнювати номеру корпусу випарної установки, вторинною парою якого нагріваються вакуум-апарати першого продукту, плюс один.

2.2. Коефіцієнт ефективності підігрівника збільшується з метою підвищення кратності випаровування для компенсації зниження випарувальної здатності випарної установки, викликаній заміщенням деякого паровідбору вторинними енергоресурсами. В цьому випадку значення  $n_2$  буде дорівнювати номеру корпусу випарної установки, паровідбір з якого заміщений вторинним енергоресурсом.

На **другому етапі** при порівняльному виборі конфігурації і типу теплообмінних апаратів пріоритетним є процес вибору методики порівняння пропонуваніх рішень, яка повинна включати достовірну постановку умов порівняння, вибір критеріїв порівняння, раціональний спосіб їх розрахунку та порівняння. При цьому порівнювані теплообмінні апарати розглядаються як відповідні елементи синтезованої теплотехнологічної схеми. Очевидно, ця методика повинна як **обов'язкові умови порівняння** включати наступні показники:

- **капітальні витрати**, включаючи оцінку вартості виробничих площ, необхідних для розміщення та обслуговування обладнання, що особливо важливо при реконструкції підприємств з підвищенням продуктивності;

- **витрати електричної енергії** на забезпечення руху теплоносіїв в елементах підігрівника;

- **експлуатаційні витрати**, включаючи втрату теплоти в навколишнє середовище через зовнішню поверхню підігрівників.

Таким чином, вибір теплообмінників повинен проводитись в режимі “зворотного зв’язку” з процесом оптимізації структури теплотехнологічного комплексу, оскільки:

- розміщення теплообмінників повинне бути “ув’язаним” із загальнопромисловим компонуванням обладнання (при цьому повинна виконуватись умова так званих “коротких схем потоків”, тобто мінімально можливих довжин трубопроводів, що забезпечує мінімізацію витрат електричної енергії на подолання гідравлічних опорів в трубопроводах та витрат енергії в навколишнє середовище з поверхні трубопроводів);

- витрата електроенергії, пов’язана з подоланням гідравлічних опорів при русі теплоносіїв, повинна узгоджуватись із загальнопромисловим балансом виробництва та споживання теплової та електричної енергії;

- характер технологічного процесу значною мірою впливає на взаємодію продуктів виробництва, що нагріваються, з поверхнею теплообміну ( забруднення поверхні, накипоутворення).

Тобто, при порівнянні теплообмінних апаратів в структурі теплотехнологічного комплексу цукрового заводу таких окремих характеристик як «коефіцієнт ефективності» чи «площа поверхні теплообміну», що традиційно використовується в цукровій промисловості як основна характеристика теплообмінників, недостатньо, адже при порівнянні різних за конструкцією теплообмінників зникає сенс залежностей між площею поверхні теплообміну теплообмінника та його характеристиками, в тому числі:

- габаритами апарату і його вартістю;
- витратами енергії на прокачування теплоносіїв;
- експлуатаційними витратами.

На другому етапі оптимізації теплообмінників значення коефіцієнта ефективності пов’язують з параметрами його роботи залежністю

$$E = kF\Delta T_{cp} / (C_{min}\Delta T_{max}), \quad (4)$$

Можна зробити висновок, що для підігрівника як відповідного елемента тепло технологічного комплексу (тобто при заданих  $G_2, c_2, T_{1S}, T_{2Bx}$ ) визначальний вплив на ефективність підігрівників має величина добутку  $kF$ . Для підвищення  $kF$  можна застосувати ряд заходів, кожний з яких одночасно приводить до відповідної зміни гідравлічного опору проточної частини теплообмінника.

Тому одночасно з аналізом термодинамічної ефективності підігрівника на цьому етапі необхідно здійснювати аналіз витрати енергії на забезпечення руху теплоносіїв в його елементах.

Гідравлічний опір (питомі витрати механічної енергії) проточної частини теплообмінника складається із опору тертя (лінійного опору) в теплообмінних трубах та місцевих опорів

$$\Delta p = \xi \cdot L \rho v^2 / (2d) + \sum \zeta_m \cdot \rho v_m^2 / 2, \text{ Па}, \quad (5)$$

де  $\xi$  – коефіцієнт гідравлічного опору тертя;  $L$  – довжина проточної частини вздовж руху теплоносія, м;  $\rho$  – густина теплоносія,  $\text{кг/м}^3$ ;  $v$  – середня швидкість руху теплоносія в трубах (каналах пластинчастого теплообмінника) підігрівника, м/с;  $d$  – внутрішній діаметр труб (еквівалентний діаметр каналів  $d = 2\delta$ ), м;  $\delta$  – ширина каналу пластинчастого теплообмінника (відстань між пластинами), м;  $\zeta_m$  – коефіцієнти місцевих опорів;  $v_m$  – визначальні швидкості в місцевих опорах, м/с (як правило, місцеві опори розраховують за швидкістю в меншому перерізі).

Електрична потужність, необхідна для подолання гідравлічних опорів,

$$N = \Delta p \cdot G_2 / (\rho \eta_n \eta_{дв} \eta_{пр}), \text{ Вт}, \quad (7)$$

де  $\eta_n$ ,  $\eta_{дв}$ ,  $\eta_{пр}$  – коефіцієнти корисної дії відповідно насоса, електродвигуна, перетворювального пристрою (частотного перетворювача тощо).

Розглянемо заходи з підвищення ефективності підігрівників на прикладі першої групи нагрівання соку перед випарною установкою для цукрового заводу продуктивністю 6000 тн переробки буряків на добу. Параметри роботи підігрівника: витрата соку – 118% до м.б.; температура соку перед підігрівником – 87 °С; температура насичення нагрівної пари – 107 °С.

**1. Збільшення площі поверхні теплообміну  $F$  при постійному значенні  $k$ .** Проведено розрахунок та аналіз ефективності груп нагрівання, що складаються з одного, двох, трьох послідовно по соку включених десятиходових підігрівників з  $F = 300\text{м}^2$  кожного (ПДС-10-300), швидкість руху соку в трубах яких складала  $v = 1,38$  м/с (накипоутворенням знехтували). Як і очікувалось, зі зростанням  $F$  збільшується  $E$ , причому темп зростання постійно падає. В той же час гідравлічний опір  $\Delta p$ , очевидно зростає пропорційно збільшенню  $F$ .

**2. Збільшення коефіцієнта теплопередачі  $k$ .** В парорідинних підігрівниках  $\alpha_1 \sim \delta_{ст} / \lambda_{ст} \gg \alpha_2$ . Відповідно, для збільшення  $k$  в першу чергу слід збільшувати  $\alpha_2$ .

Існують два способи підвищення  $\alpha_2$ :

**2.1. В підігрівниках з гідравлічно гладкими трубами (каналами) – збільшення швидкості руху рідини.**

**2.1.1.** Проведено розрахунок та аналіз ефективності груп нагрівання, що складаються з одного, двох, трьох послідовно по соку включених десятиходових підігрівників з  $F = 200\text{м}^2$  кожного (ПДС-10-200), швидкість руху соку в трубах яких складала  $v = 2,08$  м/с. Результат свідчать, що, як і очікувалось, значення  $E$  перевищують отримані при тих же значеннях  $F$  для підігрівників з нижчою швидкістю, причому динаміка зміни  $E$  в залежності від  $F$  не залежить від швидкості. В той же час гідравлічний опір  $\Delta p$  значно перевищує значення, отримані для меншого значення швидкості.

**2.1.2.** Такий же результат отримано для секційних підігрівників з послідовно включених секцій, по 42 трубки діаметром 30/33 мм та довжиною 5,2 м, швидкість руху соку в трубах яких складала  $v = 1,93$  м/с, та секційних підігрівників з послідовно включених секцій, по 42

трубки діаметром 30/33 мм та довжиною 5,2 м, швидкість руху соку в трубках яких складала  $v = 1,93$  м/с.

Для наближеного аналізу визначимо зв'язок між показниками ефективності підігрівника та гідравлічним опором його проточної частини. В першому наближенні вважаємо  $k \sim \alpha_2$ , приймаємо розподіл температури рідини вздовж руху лінійним та, нехтуючи місцевими опорами, для турбулентного режиму руху рідини отримаємо вирази:

- для величини площі поверхні теплообміну

$$F \sim 47,6 Q_{\max} \Delta T_{\max}^{-1} \ln [(1-E)^{-1}] v^{-0,8} d^{0,2} v^{0,8} \lambda^{-1} Pr^{-0,43}, \quad (8)$$

- для величини гідравлічного опору

$$\Delta p \sim 1,88 \ln [(1-E)^{-1}] c v^{1,95} d^{-0,05} \rho^2 v^{1,05} \lambda^{-1} Pr^{-0,43}. \quad (9)$$

де  $c$  – масова теплоємність рідини, кДж/(кг·К);  $v$  – кінематичний коефіцієнт в'язкості рідини, м<sup>2</sup>/с;  $\lambda$  – коефіцієнт теплопровідності рідини, Вт/(м·К);  $\rho$  – густина рідини, кг/м<sup>3</sup>;  $Pr$  – безрозмірнісне число Прандтля рідини.

(Інтенсивність теплообміну визначали за формулою М.А.Міхеєва, а значення коефіцієнту опору тертя – за формулою Блазіуса).

З аналізу (8), (9) можна зробити висновок, що в **гладкотрубних підігрівниках** при збільшенні швидкості теплоносія (що при постійній витраті може бути викликане лише зменшенням площі поперечного перерізу труб в одному ході руху теплоносія) за інших постійних характеристик можна зменшити  $F$ , одночасно підвищуючи ефективність  $E$ , однак  $\Delta p$  при цьому завжди буде зростати випереджаючими темпами.

При цьому стає очевидним, що секційні підігрівники (які в Україні та Росії некоректно називають «швидкісними») не мають переваг перед кожухотрубними з точки зору енергетичної ефективності. Напроти, кожухотрубні при тій же енергетичній ефективності мають перевагу в компактності компоновки, металомісткості та простоті експлуатації.

**2.2. Застосування теплообмінників з інтенсифікацією теплообміну.** Проведено розрахунок та аналіз ефективності групи нагрівання, що складається з пластинчастого теплообмінника, швидкість руху соку в трубках якого складала  $v = 0,3$  м/с.

Як і в п.2.1.2 для наближеного аналізу визначимо зв'язок між показниками ефективності підігрівника та гідравлічним опором його проточної частини. В першому наближенні вважаємо  $k \sim \alpha_2$ , приймаємо розподіл температури рідини вздовж руху лінійним та, нехтуючи місцевими опорами, для турбулентного режиму руху рідини отримаємо вирази:

- для величини площі поверхні теплообміну

$$F \sim 5,0 Q_{\max} \Delta T_{\max}^{-1} \ln [(1-E)^{-1}] v^{-0,67} d^{0,33} v^{0,67} \lambda^{-1} Pr^{-0,4}, \quad (10)$$

- для величини гідравлічного опору

$$\Delta p \sim 0,765 \ln [(1-E)^{-1}] c v^{2,08} d^{-0,08} \rho^2 v^{0,92} \lambda^{-1} Pr^{-0,4}. \quad (11)$$

Інтенсивність теплообміну та значення коефіцієнту опору тертя визначали за наближеними формулами для пластин зі ступеневими гофрами [1].

Як свідчить аналіз рівнянь (10), (11), при всіх інших однакових показниках роботи, включаючи швидкість, пластинчасті теплообмінники забезпечують однакову ефективність з гладкотрубними підігрівниками при поверхні, практично на порядок нижчій, при цьому гідравлічний опір не перевищує опір гладкотрубних підігрівників.

Очевидними є переваги цього типу теплообмінників перед гладкотрубними. Фізичний сенс цієї переваги заключається в принципово іншому підході до задачі підвищення інтенсивності тепловіддачі однофазних теплоносіїв, а саме, використанні поверхні зі штучною шорсткістю. Що важливо, при цьому зростання  $\alpha_2$  порівняно з гідравлічно гладкими трубами прямо не пов'язане зі збільшенням швидкості та, відповідно, швидкісного напору. Тому в пластинчастих теплообмінниках відсутнє випереджаюче зростання гідравлічного опору при збільшенні ефективності порівняно з гладкотрубними.

Це дає можливість оптимізувати вибір підігрівників, варіюючи в широких межах значення площі поверхні теплообміну та величину гідравлічного опору, досягаючи зменшення капітальних витрат та витрат електричної енергії при значно вищих значеннях коефіцієнта ефективності.

Крім того, слід врахувати значно менші габарити пластинчастих теплообмінників та можливість гнучко змінювати їх площу поверхні теплообміну і її конфігурацію, що є дуже важливим при реконструкції чи модернізації теплової схеми, особливо при нарощуванні потужності.

1.Справочник по теплообменникам: В 2-х т. Т.2/Пер. с англ. под ред.. О.Г.Мартыненко и др.– М.: Энергоатомиздат, 1987.– 352 с.: ил.

УДК 62-97-98

Склянюк А.В., наук.кер.: д.т.н., проф. Єрошенко В.А.

**ТЕРМОДИНАМІЧНА КОМПАКТНІСТЬ – КРИТЕРІЙ ТЕРМОДИНАМІЧНОЇ ДОСКОНАЛОСТІ ДВЗ. ОПТИМІЗАЦІЯ ЦИКЛІВ ЗА ЦИМ КРИТЕРІЄМ**

*В даній роботі, для аналізу шеститактного двигуна використовується критерій термодинамічної компактності. З допомогою даного критерію, визначається оптимальне співвідношення параметрів роботи двигуна і кількості циклової води для вприску в циліндр, для реалізації найбільш ефективного процесу роботи двигуна.*

*Ключові слова: термодинамічна компактність, шеститактний двигун, циклова подача води*

**ТЕРМОДИНАМИЧЕСКАЯ КОМПАКТНОСТЬ – КРИТЕРИЙ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОГО СОВЕРШЕНСТВА ДВС. ОПТИМИЗАЦИЯ ЦИКЛОВ ЗА ЭТИМ КРИТЕРИЕМ**

*В данной работе, для анализа шеститактного двигателя используется критерий термодинамической компактности. С помощью данного критерия определяется оптимальное соотношение параметров работы двигателя и количества цикловой воды для впрыска в цилиндр, для реализации наиболее эффективного процесса работы двигателя.*

*Ключевые слова: термодинамическая компактность, шеститактный двигатель, цикловая подача воды*

**THERMODYNAMIC COMPACT – CRITERION THERMODYNAMIC PERFECTION OF THE ENGINE. OPTIMIZATION OF CYCLES THESE CRITERIA**

*In this paper, to analyze six stroke engine using a thermodynamic criterion of compactness. Using this criterion, determined the optimal ratio of engine parameters and the number of cyclic water injection into the cylinder to implement the most effective process of the engine.*

*Keywords: thermodynamic criterion of compactness, six stroke engine, cycle water supply*

**ВСТУП**

На сьогоднішній день зі всією гостротою постають проблеми виснаження запасів нафти, і загроза екологічної катастрофи забруднення оточуючого середовища відходами багатогранної діяльності людини. Тому підвищення ефективності роботи двигунів внутрішнього згорання (ДВЗ) передбачає покращення їх основних показників. Також не менш важливим в сучасних умовах є екологічна безпека ДВЗ. Зв'язано це з тим, що ДВЗ і, перш за все, поршневі і комбіновані двигуни, являються найбільш розповсюдженими серед теплових двигунів. Їх широке розповсюдження обумовлено тим, що в результаті багатолітнього розвитку, ставшого можливим завдяки загальному науково-технічному прогресу, успіхам металургії і машинобудівництва, вони досягли досить високих енергетичних і економічних показників, володіючи достатньою надійністю і добре освоєні в технологічному плані. Термодинамічні показники сучасних поршневих ДВС (ПДВС) близькі до граничного теоретично можливого рівня. Але цей граничний рівень забезпечує перетворення в корисну

роботу не більш ніж 45-46% термохімічної енергії палива. В поршневих двигунах внутрішнього згорання (ПДВС) процес перетворення теплоти згорання палива в роботу супроводжується значимими втратами енергії. Левова доля цих втрат належить втратам теплоти з відпрацьованими газами (ВГ). Цю енергію можна утилізувати. Важливим напрямком при утилізації втрат теплоти, являється використання її для виробництва додаткової роботи. Існує цілий ряд технічних систем, які можуть бути використані для утилізації теплоти ВГ ДВЗ. Порівняльний аналіз цих систем показав перспективність застосування комбінованого шеститактного робочого циклу. Перші 4 такти представляють собою звичайний цикл Тринклера, слідує 2 працюють по циклу Ренкіна.

**ЗАВДАННЯ:** Розробити термодинамічну модель шеститактного робочого циклу, поєднуючого згорання палива з послідуною подачу води в циліндр, для більш повного використання енергії продуктів згорання палива. Теоретично оцінити ефективність введення в робочий цикл додаткових тактів. Установити закономірності зміни основних параметрів, визначаючих подачу води в циліндр двигуна.

**МЕТА:** Підвищити економічні і покращити екологічні показники дизеля за рахунок більш повного використання термохімічної енергії палива застосуванням шеститактного комбінованого робочого циклу.

Шеститактний цикл пропонується реалізувати на базі реального дизеля, в зв'язку з цим необхідно побудувати і розглянути ідеальний цикл поршньового ДВЗ з ізохорно-ізобарним підводом енергії в формі теплоти (рис. 1).

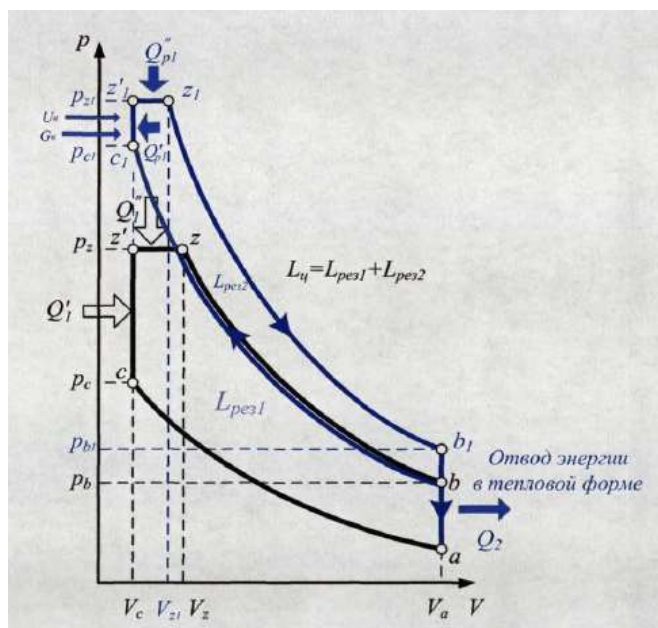


Рис.1 P-V діаграма шеститактного циклу

В адіабатному процесі а-с робоче тіло зжимається. На основі першого закону термодинаміки для процесу а-с можна записати:

$$\Delta U_{a-c} = -L_{a-c}$$

В точці с до тіла починають підводити деяка кількість  $Q_1$  енергії в формі теплоти. В процесі c-z' робочому тілу передається кількість теплоти  $Q_1'$ . Процес c-z' - ізохорний. На основі першого закону термодинаміки:

$$\Delta U_{c-z'} = Q_1'$$

У процесі  $z'-z$  передача енергії у формі теплоти від нагрівача до робочого тіла відбувається дещо повільніше при одночасному збільшенні об'ємі. При цьому тиск залишається незмінним. У ізобарному процесі  $z'-z$  робочому тілу від нагрівача передається енергія у формі теплоти в кількості  $Q_1''$ . У цьому процесі енергія не тільки підводиться до робочого тіла у формі теплоти, але і відводиться від нього в механічній формі шляхом здійснення роботи. Для процесу  $z'-z$  вираз першого закону термодинаміки буде мати:

$$\Delta U_{z'-z} = Q_1'' + L_{z'-z}$$

В точці  $z$  передача енергії у вигляді теплоти робочому тілу припиняється. Воно продовжуватиме розширюватися без підведення і відведення енергії у формі теплоти. У адіабатному процесі  $z-b$  від робочого тіла відводиться енергія в механічній формі шляхом здійснення роботи  $L_{z-b}$ . Запишемо для адіабатного процесу  $z-b$  вираз першого закону термодинаміки:

$$-\Delta U_{z-b} = L_{z-b}$$

З попереднього виразу видно, що в адіабатні процесі  $z-b$  внутрішня енергія робочого тіла зменшується ( $U_b = U_z$ ), так як від нього відводиться енергія у механічній формі. Отже, температура і тиск робочого тіла знижуються.

Для процесу  $b-c_1$  можна записати, що

$$\Delta U_{b-c_1} = Q_{b-c_1} - L_{b-c_1} = -L_{b-c_1}$$

Звище вказаного виразу видно, що при адіабатному стисненні внутрішня енергія робочого тіла збільшується, відповідно зростає його температура і тиск.

У точці  $c_1$  в циліндр вприскуємо воду. Проведемо термодинамічний аналіз порового циклу. В ізохорному процесі  $c_1-z_1'$  сумарна внутрішня енергія загального робочого тіла в циліндрі зростає на частку енергії води, що подається, збільшується кількість робочого тіла, тиск підвищується. Питомі показники робочого тіла будуть залежати від кількості внутрішньої енергії продуктів згоряння до моменту  $c_1$  і кількості вприскуємої води. Теплоємність води значно вище теплоємності продуктів згоряння і масова частка води повинна бути відрегульована з умовою отримання результуючої температури сумарного робочого тіла в кінці вприску і пароутворення не нижче  $600-700^\circ \text{C}$ . При більш низькій температурі подальше до окислення продуктів згоряння буде відбуватися менш ефективно. Для процесу  $c_1-z_1'$  вираз першого закону термодинаміки матиме вигляд:

$$\Delta U_{c_1-z_1'} = U_B$$

У процесі  $z_1' - z_1$  до суміші водяної пари з продуктами згоряння додається теплота, що виділилася в результаті доокислення вуглеводнів. У процесі  $z_1' - z_1$  енергія, що передається у формі теплоти сумарному робочому тілу, витрачається на перегрів пари при одночасному збільшенні об'єму. У цьому процесі об'єм робочого тіла збільшується, а тиск не зменшується. Наведене вище вираз показує, що вся що підводиться до робочого тіла ззовні енергія у формі теплоти призводить до збільшення його внутрішньої енергії ( $\Delta U_{c_1-z_1'} > 0$ ).

У ізобарному процесі  $z_1' - z_1$  робочому тілу передається енергія у формі теплоти в кількості  $Q_{p1}''$ . У цьому процесі енергія не тільки підводиться до робочого тіла у формі теплоти, але і відводиться від нього в механічній формі шляхом здійснення роботи  $L_{z_1'-z_1}$ . Для процесу  $z_1' - z_1$  вираз першого закону термодинаміки буде мати вигляд:

$$\Delta U_{z_1'-z_1} = Q_{p1}'' + L_{z_1'-z_1}$$

У точці  $z_1$  закінчується процес підведення енергії у формі теплоти. Робоче тіло буде продовжувати розширюватися по адіабаті. В цьому процесі  $z_1-b_1$  від робочого тіла відводиться енергія в механічній формі шляхом виконання роботи. Запишемо для адіабатного процесу  $z_1-b_1$  вираз першого закону термодинаміки:

$$-\Delta U_{z_1-b_1} = Q_{z_1-b_1} + L_{z_1-b_1} = L_{z_1-b_1}$$



Попередній вираз показує, що в адіабатному процесі  $z_1-b_1$  внутрішня енергія робочого тіла зменшується на величину виконаної роботи. Відповідно, температура і тиск робочого тіла знижуються.

У процесі  $b_1-a$  від робочого тіла відводиться енергія у формі теплоти в кількості  $Q_2$  навколишнє середовище. Відведення енергії відбувається при не змінному обсязі робочого тіла. Так як процес  $b_1-a$  ізохорний перший закон термодинаміки для процесу  $b_1-a$  буде мати вигляд:

$$-\Delta U_{b_1-a} = -Q_2$$

Внутрішня енергія робочого тіла зменшується за рахунок її відведення у формі теплоти.

Вираз для шеститактного циклу складатиметься з двох частин і матиме вигляд:

$$l_k = l_{k1} + l_{k2}$$

де  $l_{k1}$  і  $l_{k2}$  термодинамічна компактність циклу Тринклера і парового циклу двигуна. Для того щоб визначити оптимальну кількість циклової подачі води в циліндр запишемо вираз для термодинамічної компактності парового циклу і про диференціюємо функцію:

$$l_{k2} = \frac{L_u}{\Delta T \cdot \Delta V};$$

де  $L_u$  - корисна робота парового циклу;

$\Delta T$  і  $\Delta V$  - перепад температур і робочий об'єм камери згорання відповідно;

З T-S діаграми циклу визначимо корисну роботу парового циклу.

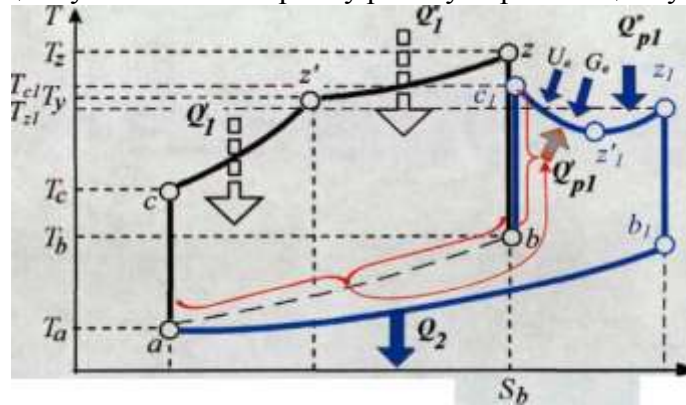


Рис 2. T-S діаграма шеститактного циклу ДВЗ.

Кількість енергії, яка підводиться до робочого тіла в ізохорно-ізобарному процесі  $c-z'-z-c_1-z_1'-z_1$  (див. рис. 2), в деякому масштабі чисельно дорівнює площі фігури під графіком процесу:

$$Q_1 = Q_1' + Q_1'' + U_b + Q_{p1}'' = \text{площа фігури } c-z'-z-c_1-z_1'-z_1-S_{z_1}-S_a$$

Кількість енергії, який відводиться від робочого тіла у формі теплоти в процесі  $b-a$  (див. рис. 2), в деякому масштабі чисельно дорівнює площі фігури під аналізованим процесом:

$$Q_2 = \text{площа фігури } b-a-S_a-S_{z_1}$$

Відповідно до першого закону термодинаміки можна записати:

$$\Delta U = Q_1' + Q_1 + U_b + Q_{p1}'' - Q_2 - (-L_{a-c} + L_{z'-z} + L_{z-b} + L_{b-c_1} + L_{z_1'-z_1} + L_{z_1-b_1})$$

де  $Q_1'$  - кількість енергії, підведеної до робочого тіла у формі теплоти в процесі  $c-z'$  (див. рис. 2). Відповідно до правил термодинамічних знаків вона додатня.

$Q_1''$  - кількість енергії, підведеної до робочого тіла у формі теплоти в процесі  $z'-z$ .

$U_b$  - внутрішня енергія води, підведеної в процесі змішання  $c_1-z_1'$ .

$Q_{p1}''$  - кількість енергії, підведеної до робочого тіла у формі теплоти в процесі  $z_1'-z_1$ .

$Q_2$  - кількість енергії, відведеної від робочого тіла у формі теплоти в процесі  $b-a$ .

$L_{a-c}$  - кількість енергії, переданої робочому тілу в механічній формі в процесі стиснення  $a-c$ .

$L_{z'-z}$  - кількість енергії, відведеної від робочого тіла в механічній формі в процесі розширення  $z'-z$ .

$L_{z-b}$  - кількість енергії, відведеної від робочого тіла в механічній формі в процесі розширення  $z-b$ .

$L_{b-c1}$  - кількість енергії, переданої робочому тілу в механічній формі в процесі стиснення  $b-c1$ .

$L_{z'_1-z_1}$  - кількість енергії, відведеної від робочого тіла в механічній формі в процесі розширення  $z_1'-z_1$ .

$L_{z_1-b_1}$  - кількість енергії, відведеної від робочого тіла в механічній формі в процесі розширення  $z_1 - b_1$ .

Так як по закінченню циклу робоче тіло повертається у вихідне положення, зміна внутрішньої енергії за цикл дорівнює нулю ( $\Delta U = 0$ ). Останній вираз запишемо у вигляді:

$$Q_1 - Q_2 - (L_{z'-z} + L_{z-b} + L_{b-c1} + L_{z'_1-z_1} + L_{z_1-b_1}) = 0$$

Або

$$Q_1 - Q_2 = (L_{z'-z} + L_{z-b} + L_{b-c1} + L_{z'_1-z_1} + L_{z_1-b_1}).$$

Величина  $L_{z'-z} + L_{z-b} + L_{b-c1} + L_{z'_1-z_1} + L_{z_1-b_1} = L_{ц}$  являє собою результуючу роботу циклу. Величина  $(Q_1 - Q_2)$  представляє ту частину енергії, яка перетворена в циклі з теплової форми в механічну форму шляхом здійснення роботи  $L_{ц}$ .

Підводячи підсумки, відзначаємо, що кількість використаної в шеститактному циклі теплоти відрізняється від чотиритактного на складові  $U_b, Q_{p1}''$ , а результуюча робота на складові  $L_{b-c1}, L_{z'_1-z_1}, L_{z_1-b_1}$ .

Результуюче кількість енергії, що відводиться від робочого тіла в механічній формі, дорівнює:

$$L_{ц} = L_{z'-z} + L_{z-b} + L_{b-c1} + L_{z'_1-z_1} + L_{z_1-b_1}$$

У адіабатні процесі  $a-c$  робоче тіло і навколишнє середовище не обмінюються енергією у формі теплоти, тому  $Q_{a-c} = 0$ .

$$L_{a-c} = -\Delta U_{a-c} = -m \cdot c_v(T_c - T_a)$$

Так як  $T_a < T_c$ , то  $L_{a-c} < 0$ .

Так як в процесі  $z'-z$  (див. рис. 1) тиск робочого тіла незмінно, то кількість енергії в механічній формі  $L_{z'-z}$ , яким обмінюються робоче тіло і навколишнє середовище, визначимо за формулою

$$L_{z'-z} = p_{z'} \cdot \Delta V_{z'-z}$$

Так як в будь-якому адіабатні процесі термодинамічна система і навколишнє середовище не обмінюються енергією у формі теплоти, вираз то для процесу  $z-b$

$$L_{z-b} = -\Delta U_{z-b} = -m \cdot c_v(T_b - T_z) = m \cdot c_v(T_z - T_b)$$

У адіабатні процесі  $b-c1$  робоче тіло і навколишнє середовище не обмінюються енергією у формі теплоти, тому  $Q_{b-c1} = 0$ .

$$-L_{b-c1} = \Delta U_{b-c1} = -m \cdot c_v(T_{c1} - T_b)$$

Знак мінус у виразі лише вказує на напрямок передачі енергії в механічній формі від навколишнього середовища до робочого тіла.

Починаючи з точки  $z_1'$  парового циклу необхідно враховувати що маса робочого тіла в циліндрі збільшиться на величину циклової подачі води. Так як в процесі  $z_1'-z_1$  (див. рис. 1)

тиск робочого тіла незмінний, то кількість енергії в механічній формі  $L_{z'_{1-z1}}$ , яким обмінюються робоче тіло і доквілля, визначимо за формулою:

$$L_{z'_{1-z1}} = p_{z'_{1-z1}} \cdot \Delta V_{z'_{1-z1}} = p_{z'_{1-z1}} \cdot (V_{z1} - V_{z'_{1-z1}}) = p_{z1} \cdot (V_{z1} - V_c)$$

Додатне значення величини енергії в механічній формі, яким обмінюються робоче тіло і доквілля, вказує на те, що в ізобарному процесі  $z1'-z1$  (див. рис. 1) енергія в механічній формі передається робочим тілом доквіллю.

У адіабатному процесі  $z1-b1$ :

$$L_{z1-b1} = -\Delta U_{z1-b1} = -(G_{пз} \cdot c_{v_{пз}} + G_B \cdot c_{v_B})(T_{b1} - T_{z1}).$$

Запишемо рівняння корисної роботи парового циклу:

$$L_{ц} = -m \cdot c_v(T_c - T_a) + p_{z'} \cdot \Delta V_{z'-z} + m \cdot c_v(T_z - T_b) - m \cdot c_v(T_{c1} - T_b) + p_{z1} \cdot (V_{z1} - V_c) + (G_{пз} \cdot c_{v_{пз}} + G_B \cdot c_{v_B})(T_{b1} - T_{z1}).$$

Підставимо отриманий вираз корисної роботи циклу  $L_{ц}$  в рівняння термодинамічної компактності:

$$l_{k2} = \frac{-m \cdot c_v(T_c - T_a) + p_{z'} \cdot \Delta V_{z'-z} + m \cdot c_v(T_z - T_b) - m \cdot c_v(T_{c1} - T_b) + (V_a - V_c)(T_z - T_a)}{(V_a - V_c)(T_z - T_a)} + \frac{p_{z1} \cdot (V_{z1} - V_c) + (G_{пз} \cdot c_{v_{пз}} + G_B \cdot c_{v_B})(T_{b1} - T_{z1})}{(V_a - V_c)(T_z - T_a)}$$

Знайдемо оптимальну кількість води для вприску в циліндр шляхом диференціювання функції  $\frac{\partial l_{k2}}{\partial G_B}$ . В результаті отримаємо вираз для визначення оптимальної, циклової кількості води для вприску в циліндр для здійснення 5 і 6 такту:

$$G_B = \frac{G_{nc}^2 \cdot c_{nc}^2 \cdot T_{c1}}{c_{v_B} \cdot (T_{c1} + T_{b1}) \cdot r^t \cdot c}$$

*Висновок:* Розроблена термодинамічна модель шеститактного робочого циклу, теоретично оцінена ефективність введення в робочий цикл додаткових тактів і підтверджена можливість більш повного використання палива. А також з допомогою критерію термодинамічної компактності, виведено аналітичний вираз величини циклової подачі води для здійснення 5 і 6 циклів.

УДК 681.121

Приміський В.П., Жужа А.В.

**ВПЛИВ ЕЛЕКТРИЧНОГО ПОЛЯ НА РОЗПОДІЛ ЗАРЯДІВ ТА ОСОБЛИВОСТІ ГРАФІКУ ВОЛЬТ-АМПЕРНОЇ ХАРАКТЕРИСТИКА СТРУМУ В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД ЗНАЧЕНЬ НАПРУГИ НАСИЧЕННЯ**

*В статті розглядається механізми утворення іонізаційного струму у полум'ї газового детектора, провідність іонізаційного газу, ступінь іонізації газу. Наведено аналіз областей вольт-амперної характеристики. Як відомо в усіх іонізаційних приладах, вольт-амперна характеристика має зазначені області - пропорційна область; область насичення, область ударної іонізації щоб з'ясувати область насичення поляризуючої напруги у полум'яно-іонізаційних детекторах та від чого вона залежить розглянуто теоретичні відомості з цього питання в даній роботі.*

*Ключові слова: іонізаційний струм, полум'яно-іонізаційний детектор*

*В статье рассматривается механизм образования тока ионизации в пламени газового детектора, проводимость ионизационного газа, степень ионизации газа. Приведен анализ областей вольтамперной характеристики. Как известно во всех ионизационных приборах, вольт-амперная характеристика имеет указанные области - пропорциональная область; область насыщения, область ударной ионизации чтобы выяснить область насыщенных поляризующего напряжения в пламенно-ионизационных детекторах и от чего она зависит рассмотрены теоретические сведения по этому вопросу в данной работе.*

*Ключевые слова: ионизационный ток, пламенно-ионизационный детектор*

*In the article the mechanisms of ionization current in the flame of a gas detector, gas ionization conductivity, degree of ionization. The analysis of areas of current-voltage characteristics. As is known to all ionization devices, the current-voltage characteristic is specified field - proportional region, saturation region, the area of impact ionization region to determine saturated polarization voltage in flame ionization detector and it depends on what the theoretical information on this subject in this paper.*

*Keywords: ionization current, flame ionization detector*

**Вступ:**

Джерелом іонізації полум'яно-іонізаційного детектору є водневе полум'я, в яке подається проба, що містить органічні речовини. У полум'я в результаті теплових і хімічних процесів відбувається іонізація газів, тобто у фронті полум'я з'являються позитивні і негативні заряди. Якщо таке полум'я помістити в електричне поле, то в ланцюзі з'явиться струм. Струм іонізації створюється спрямованим рухом частинок обох знаків. При цьому на швидке хаотичний рух частинок з тепловими швидкостями накладається швидкість, паралельна напрямку електричного поля. Вклад, внесений у величину струму, що з'являється позитивними іонами, малий у порівнянні з внеском електронів, тому що через відносно великої маси іони набувають під дією поля порівняно малій спрямованій швидкості. Постійний струм в полум'ї утворюється в основному стаціонарним потоком електронів, в яких сила, що діє з боку електричного поля, врівноважується силою тертя, обумовленої зіткненнями електронів і іонами і нейтральним атомами. Щільність струму обумовлена дрейфом заряджених частинок для іонізаційного струму дорівнює:

$$j = \delta E$$

Де:  $E$  – напруженність електричного поля;

$\delta$  – провідність іонізуючого газу;

$$\delta = \frac{n_e e^2}{n_0 m_e v_e \delta_a}, \quad \text{де}$$

$\frac{n_e}{n_0}$  – ступінь іонізації газу ( $n_e$  – концентрація електронів;  $n_0$  – концентрація нейтральних частиц)

$e$  – заряд електрону

$m_e$  – маса електрону;

$v_e$  – теплова швидкість електрону

$\delta_a$  – ефективний перетин зітхнення електронів з нейтральними частинками.

Таким чином, провідність іонізаційного газу прямо пропорційна ступеню іонізації газу і обернено пропорційна тепловій швидкості електронів. Ступінь іонізації газу залежить від температури полум'я та хімічного складу газу. Величина струму іонізації залежить від напруженості електричного поля між електродами.[1]

#### Теоретичні дослідження

Вольт-амперна характеристика ПДД подібна характеристиці будь-якого іонізаційного приладу і має вигляд, наданий на рис 1. Баланс числа іонів, що утворюються і зникають у газовому проміжку між електродами, виражається рівнянням:

$$SL \frac{dn_0}{dt} = SL \left( \frac{dn_e}{dt} + \frac{dn_i}{dt} \right) - SL \frac{dn_p}{dt} - \frac{jS}{e} \quad (8)$$

де  $S$  і  $L$  – площа електродів і відстань між ними;

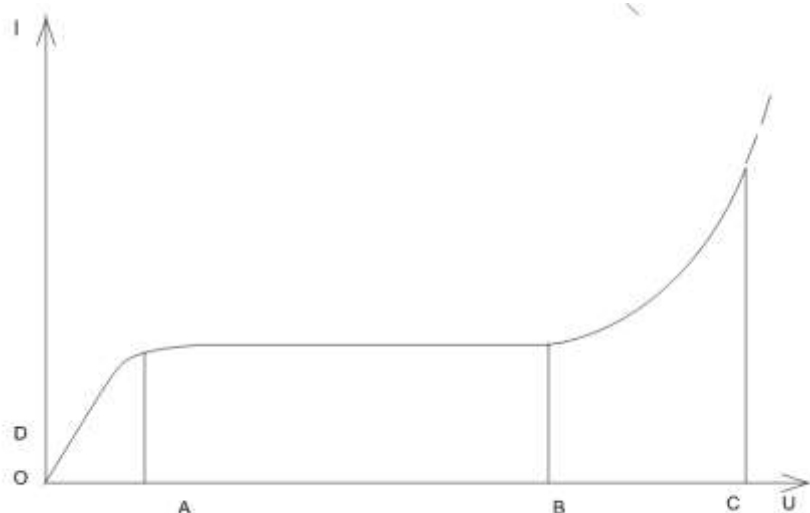
$n_0$  – загальне число нейтральних частинок в об'ємі між електродами;

$n_e$  – число електронів в об'ємі між електродами;

$n_i$  – число позитивних іонів

$n_p$  – число пар іонів, що взяли участь в рекомбінації;

$\frac{jS}{e}$  – число пар іонів, що розряджаються на електродах



OA - пропорційна область до (5-20) В; АВ - область насичення до (200-300) В; ВС - область ударної іонізації; С - напруга пробою проміжку пальник-колектор ППД; D - початковий (фоновий) струм ППД [2]

Баланс числа іонів, що утворюються і зникає в газовому проміжку між електродами, виражається рівнянням:

$$\frac{dn_0}{dt} = \frac{dn_e}{dt} + \frac{dn_i}{dt} - \frac{dn_p}{dt} - \frac{j}{eL} \quad (9)$$

При рівномірній іонізації через певний проміжок часу встановлюється рівновага між числом виникаючих і зникаючих іонів і рівняння приймає вигляд:

$$\frac{dn_e}{dt} + \frac{dn_i}{dt} = \frac{dn_p}{dt} + \frac{j}{eL} \quad (10)$$

У слабких електричних полях щільність струму незначна і кількість іонів, що розряджаються на електродах, мало в порівнянні з числом іонів, що рекомбінують в об'ємі газу:

$$\frac{j}{eL} \ll \frac{dn_p}{dt} \text{ ма } \frac{dn_e}{dt} + \frac{dn_i}{dt} = \frac{dn_p}{dt} \quad (11)$$

тобто кількість іонів в газі визначається вірогідністю іонізації і рекомбінації і практично не залежить від щільності струму.

В цьому випадку залежність  $j=E$  підкоряється закону Ома з постійною електропровідністю (ділянка О-А). У протилежному, граничному випадку сильних полів, щільність струму велика і практично всі іони, що утворюються в об'ємі газу, йдуть до електродів, не встигаючи рекомбінувати. В цьому випадку

$$\frac{dn_p}{dt} \ll \frac{j}{eL} \quad \text{та} \quad \frac{dn_e}{dt} + \frac{dn_i}{dt} = \frac{j}{eL} \quad (12)$$

$$\text{У сталому режимі} \quad \frac{dn_e}{dt} + \frac{dn_i}{dt} = \text{const} \quad (13)$$

При цьому  $j = KeL = \text{const}$ , т. е з подальшим підвищенням прикладеної напруги струм перестає рости і залишається постійним (ділянка А-В).

У полум'яно-іонізаційних детекторах, як правило, використовується область насичення поляризуючої напруги. Напруга насичення залежить від форми і розташування електродів і від кількості речовини, що поступає в полум'я в одиницю часу. Напруга насичення в полум'яно-іонізаційних детекторах коливається в межах від 20 до 300 В. При подальшому підвищенні напруги вольт-амперна характеристика знову піднімається. Це пов'язано з тим, що вступає в дію ударна іонізація. При цьому кількість зарядів може збільшуватися за рахунок вибивання електронів з електродів. Довгий час вважалося, що робота датчика в області ударної іонізації є малоперспективною. Проте проведені дослідження показали, що за областю насичення робота детектора цілком можлива, і робота в цю область має ряд переваг. Характерний, що при такому методі вимірювання значно збільшується не тільки сигнал полум'яно-іонізаційного датчика (за даними роботи на два порядки), але і в певних межах співвідношення "сигнал-шум". Якнайкраще співвідношення "сигнал-шум" виходить при напрузі, рівній близько 60% напруги пробною даного проміжку колектор-пальник.[3]

### Ударна іонізація.

Не слід нехтувати можливістю режиму ударної іонізації.

При поміщенні водневого полум'я в електричне поле, утворюються іони і досягають електродів. Водень виходить з сопла на кінці колонки разом з газо-носієм. Сопло і електроди знаходяться в закритому корпусі, до якого подається також повітря, необхідний для згоряння водню. Величина іонізаційного струму в момент часу  $t$  виражається як

$$I(t) = \left( \frac{dz_i}{dt} + \frac{dz_i}{dt} - \frac{dz_i}{dt} + \frac{dz_0}{dt} \right) e \quad [a], \quad (14)$$

де  $Z_{iT}$  та  $Z_{iS}$  - число іонів, що виникають за рахунок термічної і ударної іонізації;

$Z$  і  $R$  - число позитивних однозарядних іонів компонентів  $i$ , які взяли участь у рекомбінації;  $e$  - електричний елементарний заряд. Член  $\frac{dz_0}{dt}e$  являє фоновий струм детектора. Для подальшого виведення він не має значення і їм можна знехтувати. Тоді  $z$

$$\frac{dz_{iT}}{dt} + \frac{dz_{iS}}{dt} - \frac{dz_{iR}}{dt} = \frac{1}{e} I(t). \quad (15)$$

Загальне число носіїв заряду компонента  $i$ , що потрапляє на електроди, можна знайти шляхом інтегрування іонізаційного струму від початку ( $t_B$ )

До кінця ( $t_E$ ) надходження речовини в детектор:

$$Z_{iT} + Z_{iS} - Z_{iR} = \frac{1}{e} \int_{t_B}^{t_E} I(t) dt. \quad (16)$$

Іонізаційний струм створює на високоомному вимірювальному опорі вимірне падіння напруги. Однак, внаслідок того, що вхідний опір реєструючого приладу на десять порядків менше вимірювального, для узгодження цих опорів потрібен додатковий прилад. Напруга з вимірювального опору подається на сітку вхідний лампи електрометрії (підсилювача постійного струму). Може застосовуватися також електрометр з динамічним конденсатором. Тоді напруга, що подається з виходу електрометрії на самописний потенціометр і реєстроване їм, до моменту часу  $t$  складе

$$U(t) = E_v I(t), \quad (17)$$

**Визначення іонізаційного струму.**

Де  $E_v$  - чутливість електрометрії. Підставляючи вираз , отримуємо остаточно

$$Z_{iT} + Z_{iS} - Z_{iR} = \frac{1}{eE_v} \int_{t_B}^{t_E} U(t) dt.$$

Інтеграл представляє площу  $A_i$  піку компонента  $i$  на хроматограмі. Відносячи його до кількості  $m_i$ , що дозується компонента  $i$ , отримуємо чутливість вимірювального пристрою

$$E_A = \frac{A_i}{m_i} = \frac{eE_v (Z_{iT} + Z_{iS} - Z_{iR})}{m_i}, \quad \left[ \frac{\text{В} \cdot \text{сек}}{\text{г}} \right]. \quad (18)$$

Чутливість детектора, навпаки, визначається як кількість заряду  $Q_i$ , створеного певною кількістю речовини компонента  $i$  в 1 сек:

$$E_D = \frac{Q_i}{m_i} = \frac{e(Z_{iT} + Z_{iS} - Z_{iR})}{m_i}, \quad \left[ \frac{\text{а} \cdot \text{сек}}{\text{г}} \right], \quad (19)$$

Тобто визначається числом позитивних однозарядних іонів, зібраних електродами. Обидва чинники надалі будуть розглянуті більш докладно.

**Висновки:**

Проведене теоретичне дослідження іонізаційного току ПД, показало, що у полум'яно-іонізаційних детекторах, як правило, використовується область насичення поляризованої напруги. Напруга насичення залежить від форми і розташування електродів і від кількості речовини, що поступає в полум'я в одиницю часу, визначення іонізаційного току через чутливість детектору, яка визначається числом позитивних однозарядних іонів, зібраних електродами.

**Література:**

1. Лейте В. Визначення забруднення повітря в атмосфері та на робочому місці / В. Левте [пер. з другого німецького видавництва А.Ф. Дашкевич]. —Л.: Хімія, 1973. —287.
2. Примиський В.Ф., Жужа А.В. «Генератор чистого водню для полум'яно-іонізаційних газоаналізаторів»// Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2013. -№5.-С. 29-32.
3. В.А. Барикіна, В.І. Ларченко, Ю.Н. Медяновський, В.І. Погребняк, Л.А. Конопелько, А.Б. Гринберг. «Оцінка методичної похибки вимірювань сумарної концентрації вуглеводнів в атмосферному повітрі» // Наукові труди «ВНИИАП», Методи та прилади для аналізу складу речовин. 1976. -№4.- С.44-45.



УДК 69.059:351.778.52

В.О. Сплавська, керівник: Г.Г. Фаренюк

### ОЦІНЮВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ БУДІВЕЛЬ

*За матеріалами науково-технічних публікацій та європейських нормативних документів проведено огляд методик енергетичного оцінювання будівель. Наведено загальні межі для оцінювання загального енергоспоживання будівлі, а також алгоритм розрахунку енергетичних оцінок, виражених через первинну енергію та викиди CO<sub>2</sub> відповідно до основних положень європейських нормативних документів.*

*Ключові слова: енергетична ефективність будівлі, енергетичне оцінювання, енергетичний моніторинг, енергетична оцінка.*

В.А. Сплавская, руководитель: Г.Г. Фаренюк

### ОЦЕНИВАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЗДАНИЙ

*По материалам научно-технических публикаций и европейских нормативных документов проведено обзор методик энергетического оценивания зданий. Приведены общие границы для оценивания общего энергопотребления здания, а также алгоритм расчета энергетических оценок, выраженных через первичную энергию и выбросы CO<sub>2</sub> в соответствии с основными положениями европейских нормативных документов.*

*Ключевые слова: энергетическая эффективность зданий, энергетическое оценивание, энергетический мониторинг, энергетическая оценка.*

V. Splavska, supervisor: G. Farenjuk

### ENERGY ASSESSMENT OF BUILDINGS

*Methods of energy assessment of the buildings was overviewed according to the materials of scientific and technical publications and European normative documents. General boundaries for assessment of overall energy use of the building and algorithm for calculation of energy ratings, expressed per primary energy and CO<sub>2</sub> emissions under main thesis of European normative documents, are given in this article.*

*Key words: energy efficiency of the building, energy assessment, energy monitoring, energy rating.*

#### Вступ

Енергетичне оцінювання будівель здійснюється з метою:

- оцінки відповідності будівельним нормам та правилам, вираженої через обмеження на використання енергії або відповідну величину;
- забезпечення прозорості комерційних операцій за рахунок енергетичної сертифікації та/або демонстрації рівня енергетичної ефективності (сертифікація енергетичної ефективності);
- моніторингу енергетичної ефективності будівлі та її інженерних систем;

- допомоги при плануванні заходів з модернізації шляхом прогнозування економії енергії, отриманої від різних заходів.

Розрізняють два типи енергетичних оцінок: розрахована та вимірjana.

Оскільки способи отримання цих оцінок відмінні, вони не можуть бути порівняні безпосередньо. Однак, різниця між цими двома оцінками для однієї і тієї ж будівлі, може використовуватися для оцінки кумулятивного впливу існуючої споруди, систем та умов експлуатації порівняно зі стандартними показниками та статей енергоспоживання не включених до розрахункової енергетичної оцінки.

### **Завдання**

Для енергетичної сертифікації будівель потрібен метод, який міг би застосовуватися як для нових так і для існуючих будівель, та рівноцінно розглядав їх. Така методика для отримання рівноцінних результатів з різних наборів даних надана у європейському стандарті EN 15603. Тому основним завданням даного дослідження буде аналіз основних етапів методики енергетичного оцінювання будівель.

### **Мета дослідження**

Дане дослідження має на меті провести огляд методик енергетичного оцінювання та енергетичної сертифікації будівель наданих у європейських нормативних документах виданих CEN, відповідно до Наказу 2002/91/ЕСЕРВД.

### **Результати дослідження**

В загальному випадку, оцінювання річного енергоспоживання будівлі, охоплює такі статті енергоспоживання як:

- опалення;
- охолодження та осушення;
- вентиляція та зволоження;
- гаряче водопостачання;
- освітлення (для житлових будівель є не обов'язковою статтею);
- інші послуги (у разі потреби).

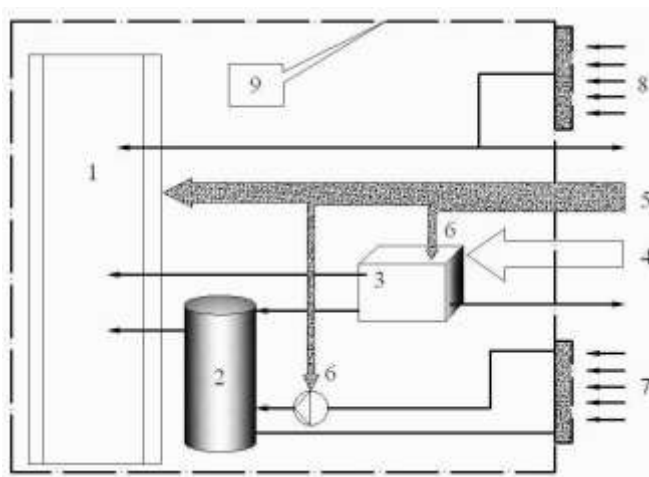
Енергоспоживання при освітленні та інших послугах включається до вимірjаної енергетичної оцінки.

Важливим етапом енергетичного оцінювання будівель є визначення границь оцінювання, вони повинні бути чітко визначені перед оцінюванням. Їх називають границями системи. Границі системи пов'язані з розрахунковим об'єктом (наприклад, квартира, будівля, тощо). У межах системи системні тепловтрати враховують в явному вигляді, а поза межами системи – з використанням відповідних коефіцієнтів перетворення.

Енергія може бути імпортованою чи експортованою через границі системи. Границею системи для енергоносіїв є лічильники.

Отже, якщо частина інженерної системи будівлі (наприклад, котел, охолоджувач, градирня тощо), розташована за межами огорожувальної конструкції будівлі, але формує частину врахованих комунальних послуг, то вона розглядається як така, що знаходиться у межах системи, і таким чином, втрати в системі враховуються в явному вигляді.

Для активних сонячних, вітрових і гідроенергетичних систем, падаюча сонячна радіація на сонячні панелі або кінетична енергія вітру чи води, не є частиною енергетичного балансу будівлі. Тільки енергія поставлена генеруючим обладнанням і додаткова енергія, необхідна для постачання енергії від джерела (наприклад, сонячного колектора) до будівлі враховуються в енергетичному балансі.



1 – споживач, 2 – акумулятор, 3 – котел, 4 – паливо, 5 – електроенергія, 6 – додаткова енергія, 7 – тепловий сонячний колектор, 8 – фотоелектрична панель, 9 - границя

Рисунок 1 – Приклади потоків енергії через границю системи

Розрізняють два основні варіанти енергетичних оцінок будівель:

- розрахункова енергетична оцінка;
- виміряна енергетична оцінка.

Розрахункова енергетична оцінка включає енергоспоживання при опаленні, охолодженні, вентиляції, гарячому водопостачанні і, за необхідності, освітленні. Вона не включає в себе енергію для інших комунальних послуг, якщо це не затверджено на національному рівні. Розрахункова енергетична оцінка може бути:

- стандартною, яка базується на вхідних даних про стандартні кліматичні умови, експлуатацію, оточення і вхідних даних щодо зайнятості, визначених на національному рівні і наведених у національному додатку. Така оцінка називається «проектною оцінкою», якщо застосовується для будівлі, що проектується;
- пристосованою, розрахована з урахуванням даних про клімат, зайнятість, оточення, адаптованих до існуючої будівлі та цілей розрахунку.

Виміряна енергетична оцінка ґрунтується на даних отриманих з вимірювального обладнання та лічильників, встановлених у будівлі. Оцінювання вимірної енергетичної оцінки має проводитися відповідно до п.7 EN 15603.

У наведеній нижче таблиці наведені основні типи оцінок, вихідні дані необхідні для проведення оцінювання та відповідні цілі оцінювання.

Таблиця 1

Тип оцінки	Назва оцінки	Вхідні дані			Мета оцінювання
		Використання будівлі	Клімат	Тип будівлі	
Розрахункова	Проектна	Стандартне	Стандартний	Проектована	Дозвіл на будівництво, сертифікат умов
	Стандартна	Стандартне	Стандартний	Існуюча	Сертифікат енергетичної ефективності, норми та правила
	Пристосована	Залежно від мети		Існуюча	Оптимізація, перевірка, планування модернізації
Виміряна	Експлуатаційна	Фактичне	Фактичний	Існуюча	Сертифікат енергетичної ефективності, норми та правила

Проводити енергетичне оцінювання будівлі можна за двома методами: цілісному та спрощеному.

У цілісному підході, сукупність наслідків тепловитоків і джерел в будівлі та інженерних системах будівлі, що можуть бути утилізовані для кондиціонування приміщення, розглядаються в розрахунку потреб в тепловій енергії.

Можуть бути потрібні ітерації, у зв'язку з тим, що теплові втрати інженерних систем будівлі залежать від вхідної енергії, яка, в свою чергу, залежить від системних джерел теплоти, які утилізують.

Методика розрахунку така:

- а) розробка підсистеми розрахунку відповідно до EN 15241, EN 15243 і EN 15316 серій та визначити регулярні тепловтрати, які утилізують;
- б) додавання регулярних тепловтрат в розрахунок потреб для опалення та охолодження, які утилізують, до інших джерел тепла, які утилізують, що вже включені (наприклад, сонячні і внутрішні теплонаходження, тепловтрати від освітлення, які утилізують, та/або інших інженерних систем будівлі подібних до гарячого водопостачання);
- в) повторне обчислення потреб теплової енергії для опалення і охолодження;

г) повторення кроків від а) до в), доки зміна енергопотреби між двома ітераціями не буде менше визначеної межі (наприклад, 1%) або зупиниться після кількох ітерацій, як затверджено на національному рівні;

д) обчислення різниці між енергією на початку та наприкінці ітерації. Результат - регулярні теплові втрати, які утилізують.

У спрощеному підході регулярні тепловтрати, які утилізують, що отримуються в результаті множення регулярних тепловтрат, які утилізують, на звичайний коефіцієнт утилізації, безпосередньо віднімаються від втрат кожної розглянутої інженерної системи будівлі. Це дозволить уникнути ітерацій.

Процедура розрахунку така:

а) розробка підсистеми розрахунків відповідно до стандартів EN 15241, EN 15243 і EN 15316 і визначення системних тепловтрат, які можуть бути утилізовані;

б) розрахунок системних тепловтрат, які можуть бути утилізовані, множенням теплових системних тепловтрат, які можуть бути утилізовані на звичайний коефіцієнтутилізації;

в) віднімаємо утилізовані теплові втрати системи від загальних теплових втрат системи.

Звичайні значення коефіцієнта утилізації затверджуються на національному рівні (якщо значення коефіцієнта не зазначено, то приймається значення рівне 80% коефіцієнта утилізації теплонадходжень в тепловому балансі, що розраховується відповідно до EN ISO 13790 за допомогою помісячного методу).

Однак, для складних систем (наприклад, установки для опалення і охолодження) рекомендується цілісний підхід для отримання більш точних результатів.

Періодичні вимірювання споживання енергії, дозволяють кількісно оцінити властивості, що стосуються будівлі, такі як: ефективний ККД котла, уявний коефіцієнт тепловтрат або еквівалентна світлосприймаюча площа, тому енергетичний моніторинг – важлива складова точності енергетичного оцінювання будівлі. Річне споживання енергії на опалення можна розрахувати за цими даними.

### **Метод енергетичного моніторингу «energysignature».**

Енергоспоживання на опалення та охолодження залежить від кліматичних даних за відповідний період. Побудова графіка середньої потужності для опалення або охолодження для кількох періодів часу як функціональна залежність від середньої зовнішньої температури дозволяє прискорити процедуру виявлення несправностей у функціонуванні та надає детальну інформацію про енергетичну ефективність будівлі.

Згідно з цим методом моніторингу передбачається, що внутрішня температура постійна, а зовнішня вважається провідним параметром впливу. Застосування такого методу є найбільш ефективним у будівлях зі сталими внутрішніми теплонадходженнями і відносно низькими пасивними сонячними теплонадходженнями.

Енергоспоживання на опалення та охолодження, а також середня зовнішня температура або накопичена різниця температур записується з постійним інтервалом (наприклад, одна година, однак, для неавтоматизованого моніторингу часто використовується тиждень).

Середня потужність визначається діленням енергоспоживання між суміжними даними на тривалість інтервалу часу.

Графік середньої потужності будують як функцію від середньої зовнішньої температури або кількості градусо-днів. Для опалювального періоду отримується діаграма (рис. 2). Лінії проходять через контрольні точки протягом опалювального періоду (опалення ввімкнене, охолодження відключене), сезону охолодження (охолодження ввімкнене, опалення відключене) та проміжних сезонів (обидва відключені) з використанням лінійної регресії (рис.2).

Лінія, проведена поза періодом опалення (або охолодження) має в загальному випадку нахил близький до нульового і показує, по суті, системні втрати та енергію для комунальних послуг, окрім опалення та охолодження (наприклад, ГВП).

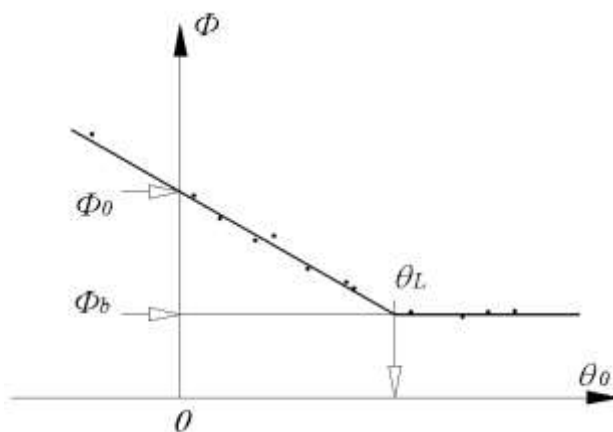
Лінія, проведена протягом періоду опалення (або охолодження) характеризується потужністю  $\Phi_0$  при  $t_{\text{зовн.}} = 0^\circ\text{C}$  та нахилом  $H$ :

$$\Phi = \Phi_0 - H \cdot \theta_e, \quad (1)$$

де  $\Phi$  – середня потужність;

$\theta_e$  – середня зовнішня температура.

$$H = \frac{\Phi_0 - \Phi_b}{\theta_L}$$



$\Phi$  – середня потужність між двома послідовними замірами;

$\Phi_0$  – потужність при  $t_{\text{зовн.}} = 0^\circ\text{C}$ ;

$\Phi_b$  – базова потужність, що не залежить від  $t_{\text{зовн.}}$  (наприклад, для системних втрат і ГВП);

$\theta_L$  – зовнішня температура, яка є пороговим значенням для початку опалювального

сезону;  $\theta_e$  – зовнішня середня температура між двома послідовними замірами

Рисунок 2 – Діаграма моніторингу «energysignature»

Нахил  $H$  відображає чутливість будівлі до зміни зовнішньої температури. Дане рівняння може бути порівняне з загальним, спрощеним середнім енергетичним балансом будівлі:

$$\Phi = H' \cdot (\bar{\theta}_i - \theta_e) + \Phi_a - \eta \cdot (A_e \cdot I_{\text{sol}}), \quad (2)$$

де  $\Phi$  – середня потужність;

$H'$  – коефіцієнт теплопередачі будівлі;

$\bar{\theta}_i$  – середня внутрішня температура;

$\Phi_a$  – потужність, що включає втрату системи і середню потужність для інших комунальних послуг, окрім опалення. У першому наближенні ця потужність не залежить від зовнішньої температури, і якщо характер використання будівлі постійний ця потужність може вважатися середньою потужністю, вимірною в ході проміжного періоду;

$\eta \cdot A_e$  – добуток еквівалентної світлосприймаючої площі та коефіцієнта використання;

$I_{sol}$  – показник сонячної радіації.

Зіставивши формули (1) та (2), отримуємо  $H' = H$ , а також:

$$\Phi_0 = H \cdot \bar{\theta}_i + \Phi_a - \eta \cdot (A_e \cdot I_{sol}) \quad (3)$$

Сезонне споживання енергії на опалення може бути отримане за  $\Phi_0$  та  $H$ , сезонної середньої зовнішньої температури  $\bar{\theta}_e$  і тривалості  $t$  опалювального періоду:

$$Q_h = (\Phi_0 - H \cdot \bar{\theta}_e) \cdot t \quad (4)$$

Ця оцінка може бути отримана для періоду менше опалювального період. Однак, широкий діапазон зовнішніх температур є необхідним для отримання задовільного рівня точності для  $H$  і  $\Phi_0$ .

$$\delta Q_h = \sqrt{t^2 \cdot \delta \Phi_0^2 + \theta_e^2 \cdot t^2 \cdot \delta H^2 + t^2 \cdot H^2 \cdot \delta \theta_e^2 + (\Phi_0 - H \cdot \theta_e)^2 \cdot \delta t^2} \quad (5)$$

Дисперсія окремих вимірювань вище або нижче лінії моніторингу, може бути наслідком результатом:

- змінності сонячних або внутрішніх тепло надходжень, цей метод не прийнятний для будівель з великими пасивними сонячними надходженнями;

- змінності коефіцієнтів теплопередачі, наприклад внаслідок впливу вітру на повітропроникну огорожувальну конструкцію будівлі; несправності в системі опалення або охолодження.

Аналіз можливих пояснень до значних відмінностей між конкретним записом і лінією дозволяє виявити несправності у роботі системи.

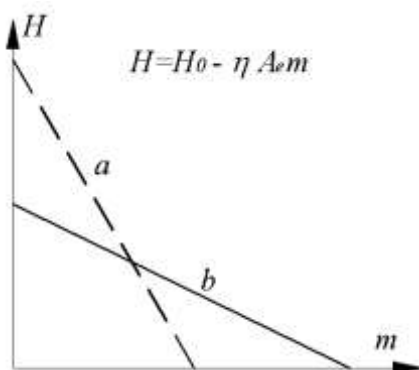
### **Н-метод енергетичного моніторингу**

У пасивних сонячних будівлях, розкид точок навколо лінії стає суттєвим і описаний вище метод не підходить. Ділення загального теплового балансу на  $\Delta\theta = (\bar{\theta}_i - \bar{\theta}_e)$  приводить до виразу для явного коефіцієнту тепловтрат будівлі:

$$H = \frac{\Phi - \Phi_a}{\Delta\theta} = H_0 - \eta \cdot A_e \cdot \frac{I_{sol}}{\Delta\theta} = H_0 - \eta \cdot A_e \cdot m \quad (6)$$

де  $m$  - „метеорологічна” змінна.

Нахил лінії регресії є добутком еквівалентної світлосприймаючої площі та коефіцієнта використання, а вісь ординат є ефективним коефіцієнтом тепловтрат.



$H$  – явний коефіцієнт втрат тепла будівлею;  
 $m$  – метеорологічна змінна, яка представляє собою відношення сонячної радіації до різниці внутрішньої та зовнішньої температур

Рисунок 3 – Діаграма моніторингу «energysignature»

Лінія *a* показує, що будівлі з великою площею оскління з великими втратами та великими теплонадходженнями більш ефективні в помірному кліматі. Лінія *b* стосується добре ізольованої будівлі з незначними пасивними сонячними теплонадходженнями, яка є більш ефективною в північних кліматичних умовах.

### Висновки

В даній статті проведено огляд основних методик енергетичного оцінювання будівель відповідно до методик наданих у європейських нормативних документах. Розглянуто основні типи енергетичних оцінок, необхідні вхідні дані та особливості їх застосування. Результати огляду скомпільовані та надані у таблиці 1.

В ході дослідження було розглянуто два підходи енергетичного оцінювання будівель: спрощений та цілісний. Встановлено, що для складних систем (наприклад, установки для опалення і охолодження) рекомендується застосовувати цілісний підхід для отримання більш точних результатів.

Також, встановлено, що періодичні вимірювання споживання енергії, дозволяють кількісно оцінити властивості, що стосуються будівлі, такі як: ефективний ККД котла, явний коефіцієнт тепловтрат або еквівалентна світлосприймаюча площа, тому енергетичний моніторинг – важлива складова точності енергетичного оцінювання будівлі. В даному дослідженні проаналізовано два методи енергетичного моніторингу: метод «energysignature» та H-m метод.

### Використана література:

1. EN 15603:2008 Energy performance of buildings — Overall energy use and definition of energy ratings.
2. EN 15217:2007 Energy performance of buildings - Methods for expressing energy performance and for energy certification of buildings.
3. EN 13790:2008 Thermal performance of buildings – Calculation of energy use for space heating.



---

## ЗМІСТ

### Пленарне засідання

- Комплексне регулювання режиму електроспоживання промислових споживачів у часі.** *Петрова К.Г.*, аспірант, *Серебренніков Б.С.*, к.т.н., доцент, Кіровоградський національний технічний університет.....4
- Моделювання гідродинамічних процесів функціонування генератора коливань.** *Калюш М.П.*, аспірант, *Сліденко В.М.*, к.т.н., доцент, ІЕЕ НТУУ «КПІ» .....8
- Вторинні паливні ресурси – утворення, зберігання, напрями екологічно безпечного використання.** *Трояновська Н.М.*, студентка, *Борук С.Д.*, к.х.н., доцент, Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича.....12
- Вилуговування металів із хвостосховищ, які містять відходи гірничорудних підприємств, мікробіологічним методом».** *Хомич Н.О.*, студент, *Корнієнко І.М.*, к.т.н., доцент, Дніпродзержинський державний технічний університет.....18
- Про класифікацію теплообмінників-конденсаторів та інтенсифікацію теплообміну.** *Кожемяка Д.В.*, *Бондаренко В.В.*, студенти, *Гавриш А.С.*, к.т.н., доцент ТЕФ НТУУ «КПІ» .....22
- Mathematical Simulation of Gases Emission Processes from Landfills.** *Osipova T.*, *Remez N.*, Dr.Sc.s., Prof., IEE NTUU "KPI".....30
- Оцінка навантажувальної здатності силових трансформаторів з використанням стохастичних моделей вибору.** *Притискач І.В.*, аспірант, *Денисенко М.А.* д.т.н. ФРН, ІЕЕ НТУУ «КПІ».....34
- Ознаки аварійних режимів роботи синхронних двигунів.** *Оборонов Т.Ю.*, аспірант, *Закладний О.М.*, к.т.н., доцент, *Закладний О.О.*, к.т.н., доцент ІЕЕ НТУУ «КПІ».....40

### Управління електротехнічними комплексами

- Модель діагностування енергоефективності синхронного двигуна.** *Сівцова Т.О.* студент, *Оборонов Т.Ю.*, аспірант, *Закладний О.М.*, к.т.н., доцент, *Закладний О.О.* к.т.н., доцент ІЕЕ НТУУ «КПІ».....46
- Адаптивна система управління вітрогенераторною установкою з синхронним генератором.** *Осіпова К.С.*, *Чузунов О.М.*, студенти, *Данілін О.В.*, к.т.н., доцент ІЕЕ НТУУ «КПІ», .....52
- Параметрическая оптимизация системы регулирования температуры приточного воздуха с качественным регулированием.** *Великий С.С.*, студент, *Добровольський А.В.*, студент, *Торопов А.В.*, к.т.н., ст. викл., ІЕЕ НТУУ «КПІ».....58

<b>Моделювання процесу збагачення по міцності. Коцур О.С., аспірант, Шевчук Н.І., Зайченко С.В., ІЕЕ НТУУ «КПІ».....</b>	<b>64</b>
<b>Модель дробильно-помольного комплексу з нейросетевим регулятором. Гаращенко Г.С., студент, Мейта О.В., к.т.н., ст. викл., Поліщук В.О., к.т.н., ст. викл, ІЕЕ НТУУ «КПІ».....</b>	<b>68</b>
<b>Вплив генератора коливань на нафтову свердловину. Р.В. Гранкін, аспірант, В.М.Сліденко, к.т.н., доц., ІЕЕ НТУУ «КПІ».....</b>	<b>73</b>
<b>Обґрунтування параметрів системи технічного діагностування пристрою інтенсифікації нафтовидобутку. Сандул В.М., аспірант, Шевчук С.П., д.т.н., проф., ІЕЕ НТУУ «КПІ».....</b>	<b>75</b>
<b>Керування електроприводом електронавантажувача з вентильним двигуном. Могилат Д.Ю. студент, Закладний О.М., к.т.н., доцент Закладний О.О., к.т.н., доцент Алтухов Є.І., к.т.н., доцент ІЕЕ НТУУ «КПІ».....</b>	<b>79</b>
<b>Алгоритм визначення параметрів та характеристик високомоментних колекторних двигунів та його практична реалізація на базі ПЛК. Золотов В.М., студент, Добровольський А.В., студент, Торопов А.В. к.т.н., ІЕЕ НТУУ «КПІ» .....</b>	<b>86</b>
<b>Двохтрубна трифазна установка для очищення труб від асфальтосмолопарафінових відкладень. Бровко В.О., студент Дубовик В.Г., ст. вик., Лебедев Л.Н., к.т.н., доцент, ІЕЕ НТУУ «КПІ» .....</b>	<b>90</b>
<b>Двохтрубна установка для очищення труб від асфальтосмолопарафінових відкладень. Вишнявська Т.С., студент Дубовик В.Г., ст. вик., Лебедев Л.Н., к.т.н., доцент, ІЕЕ НТУУ «КПІ».....</b>	<b>93</b>
<b>Спосіб очищення труб від асфальтосмолопарафінових відкладень. Гусак Б.В. студент Дубовик В.Г., ст. вик., Лебедев Л.Н., к.т.н., доцент, ІЕЕ НТУУ «КПІ».....</b>	<b>96</b>
<b>Управління конвесрами паливоподачі котельної установки з використанням деревних відходів виробництва. Кадушкевич О.В., студент, Пермяков В.М., к.т.н., доцент Чермалих О.В., к.т.н., доцент, ІЕЕ НТУУ «КПІ».....</b>	<b>99</b>
<b>Паралельний ЕМ алгоритм в машинному зорі. С.М. Кіянець, студент, І.Я. Майданський, ст. вик., О.В. Данілін, к.т.н., доцент, ІЕЕ НТУУ «КПІ».....</b>	<b>106</b>
<b>Підвищення рівня енергоефективності ліфтових установок з регульованим електроприводом. Алмасова О.В., студент, Смоляр В.Г., інженер, Закладний О.М., к.т.н., доцент, Закладний О.О. к.т.н., доцент ІЕЕ НТУУ «КПІ» .....</b>	<b>112</b>
<b>Дослідження проблеми пов'язаної з несинусоїдальними складовими напруги. Д.О. Моцак, С.М. Кіянець, студенти, Л.М. Лебедев к.т.н., доцент ІЕЕ НТУУ «КПІ» .....</b>	<b>125</b>

---

<b>Дослідження електроприводу змінного струму під керуванням нейронної мережі. А.В. Осоченко</b> , студент, <b>Б.Л. Тишечвич</b> к.т.н., доцент ІЕЕ НТУУ «КПІ» .....	132
<b>Параметрическая оптимизация контура стабилизации мощности резания роторного экскаватора с вентиляльным реактивным двигателем. Зубчевський Т.Ю.</b> , студент, <b>Добровольський А.В.</b> , студент, <b>Торопов А.В.</b> , к.т.н., ІЕЕ НТУУ «КПІ».....	140
<b>Дослідження ефективності використання сонячної трекерної установки. Гавалешко С.С.</b> , студент, <b>Пермяков В.М.</b> к.т.н., доцент ІЕЕ НТУУ «КПІ».....	148
<b>Дослідження перехідних процесів у вентиляльному двигуні вентиляторної установки за допомогою цифрової моделі. Пьорушкіна Н.А.</b> , студент, <b>Пермяков В.М.</b> к.т.н., доцент ІЕЕ НТУУ «КПІ».....	153
<b>Пристрій для очищення труб від асфальтосмолопарафінових відкладень. Торбанюк М.О</b> , студент, <b>Дубовик В.Г.</b> , ст. вик., <b>Лебедев Л.Н.</b> , к.т.н., доцент, ІЕЕ НТУУ «КПІ».....	158
<b>Вплив мультиплікатора тиску на гірський масив. О.В. Замараєва</b> , аспірант, <b>Шевчук С.П.</b> , д.т.н., професор, ІЕЕ НТУУ «КПІ».....	162
<b>Імпульсно-струминний модуль для впливу на нафтову свердловину. В.Я. Бокало</b> , аспірант, <b>Сліденко В. М.</b> к.т.н., доцент ІЕЕ НТУУ «КПІ».....	165
<b>Особливості управління багатостадійним процесом подрібнення. Гайдаєнко І.В</b> , студент, <b>Дубовик В.Г.</b> , ст. вик., <b>Лебедев Л.Н.</b> , к.т.н., доцент, ІЕЕ НТУУ «КПІ».....	168
<b>Підвищення рівня енергоефективності роботи енергоблоку ТЕЦ-5. Прусаков Д.А.</b> , студент, <b>Прядко С.Л.</b> , ст. вик., <b>Закладний О.М.</b> , к.т.н., доцент, <b>Закладний О.О.</b> к.т.н., доцент ІЕЕ НТУУ «КПІ» .....	172
<b>Пристрій керування конвеєром з контролем завантаження стрічки. Бичковський А.С.</b> студент, <b>Дубовик В.Г.</b> , ст. вик., <b>Лебедев Л.Н.</b> , к.т.н., доцент, ІЕЕ НТУУ «КПІ».....	178
<b>Параметрическая оптимизация асинхронизированных вентиляльных электродвигателей с возбуждением переменным током с помощью систем автоматизированного проектирования. Л.В. Торопова</b> , аспірант, <b>А.В. Торопов</b> к.т.н., ст. викл., <b>В.М. Чермалых</b> , д.т.н., проф., ІЕЕ НТУУ «КПІ».....	185
<b>Трифазна установка для очищення труб від асфальтосмолопарафінових відкладень. Сидоренко А.С.</b> студент, <b>Дубовик В.Г.</b> , ст. вик., <b>Лебедев Л.Н.</b> , к.т.н., доцент, ІЕЕ НТУУ «КПІ» .....	189
<b>Розробка методу багатокритеріальної оптимізації режимів сушіння шпону в парових роликкових сушарках. Кулаковський Л.Я.</b> , аспірант, <b>Алтухов Є.І.</b> , к.т.н., доцент, ІЕЕ НТУУ «КПІ».....	194
<b>Дискова машина виборчого дроблення. О.М. Соколовський</b> , студент, <b>В.О. Поліщук</b> , <b>С.В. Зайченко</b> , к.т.н., доцент, ІЕЕ НТУУ «КПІ» .....	198

---

---

**Визначення розмірності фазового простору динамічної системи за однією спостережною змінною** *Осадчук М.П.*, аспірант, *Поліщук В.О.*, ст. викл., *Городецький В.Г.*, к.т.н., доцент, ІЕЕ НТУУ «КПІ» .....202

**Керування вентилями двигуном з застосуванням нечіткої логіки.** *Броницький В.О.*, аспірант, *Прядко С.Л.*, ст. викл., *Закладний О.М.*, к.т.н., доцент, *Закладний О.О.* к.т.н., доцент, ІЕЕ НТУУ «КПІ» .....204

### Сталий розвиток енергетики

**Забезпечення стійкого функціонування АСКУЕ в умовах переходу від ринку єдиного покупця до ринку двосторонніх договорів з балансуєчим ринком.** *Павлова Ю.С.*, студент, *Коцар О.В.*, к.т.н., доцент, ІЕЕ НТУУ «КПІ» .....211

**Пути повышения энергоэффективности в условиях либерализованного рынка электрической энергии.** *Варганова О.В.*, студент, *Коцар О.В.*, к.т.н., доцент, ІЕЕ НТУУ «КПІ» .....218

**Вибір методу прогнозування попиту на електричну потужність в умовах ринку «доба наперед».** *Галабійський П.М.*, студент, *Коцар О.В.*, к.т.н., доцент, ІЕЕ НТУУ «КПІ» .....227

**Практичні аспекти побудови та експлуатації АСКОЕ кінцевих споживачів.** *Поліщук О.Ю.*, студент, *Коцар О.В.*, к.т.н., доцент, ІЕЕ НТУУ «КПІ» .....236

**Досвід енергетичних обстежень промислових підприємств і торговельних закладів.** *Матвійчук Ю.В.*, студент, *Коцар О.В.*, к.т.н., доцент, ІЕЕ НТУУ «КПІ» .....250

**Світовий досвід організації збору та обробки даних комерційного обліку в лібералізованих ринках електричної енергії.** *Ткаченко Д.К.*, студент, *Коцар О.В.*, к.т.н., доцент, ІЕЕ НТУУ «КПІ» .....257

**Оцінка ступеню участі кінцевого споживача у формуванні графіка навантаження енергосистеми.** *Сухарь А.О.*, студент, *Коцар О.В.*, к.т.н., доцент, ІЕЕ НТУУ «КПІ» .....266

**Аналіз впливу диференційованих за періодами часу тарифів на електричну енергію на попит споживачів на електричну потужність.** *Яроцька Т.В.*, асистент, *Матвійко Н.О.*, студент, *Находов В.Ф.*, ктн., доцент, ІЕЕ НТУУ «КПІ» .....273

**Застосування технології бенчмаркінгу для порівняння енергоефективності вищих навчальних закладів.** *Мидловець О.А.*, студент, *Чернявський А.В.*, к.т.н., доцент, ІЕЕ НТУУ «КПІ» .....281

**Оцінка адекватності, точності та порівняння методів подвійного центрованого ковзного середнього і нейронних мереж в прогнозуванні режиму споживання електричної енергії НТУУ «КПІ» на 2013 р.** *Панасюк О.П.*, студент, *Соловей О.І.*, к.т.н., доцент, ІЕЕ НТУУ «КПІ» .....288

---

Щодо питання застосування САПР під час проектування освітлення промислових об'єктів. <i>Єременко О.М.</i> , студент, <i>Чернявський А.В.</i> , к.т.н., доцент, ІЕЕ НТУУ «КПІ» .....	297
Дослідження можливого потенціалу енергозбереження з використанням ТН в системі вентиляції на прикладі дошкільного навчального закладу. <i>Листопадська Т.В.</i> , студент, <i>Ленькин О.В.</i> ІЕЕ НТУУ «КПІ» .....	303
Аналіз та прогнозування електроспоживання на підприємствах молочної галузі. <i>Кулікова Є.О.</i> , студент, <i>Чернявський А.В.</i> , к.т.н., доцент, ІЕЕ НТУУ «КПІ» .....	309
Перспективні архітектури Microgrid та особливості їх застосування. <i>Рачицький В.С.</i> , студент, <i>Денисюк С.П.</i> , д.т.н., проф. ІЕЕ НТУУ «КПІ» .....	315
Аналіз техніко-економічних показників впровадження рекуперативних систем вентиляції Lossnay. <i>Єрмолаєнко Д.П.</i> , студент, <i>Суходуб І.О.</i> , аспірант, <i>Ковальчук А.М.</i> , к.т.н., ІЕЕ НТУУ «КПІ» .....	324
Використання пакету програм PowerFactory 14.1 у вирішенні задач математичного моделювання електроенергетичної системи. <i>Астахов Д. Г.</i> , студент, <i>Бойко І.Ю.</i> , <i>Федосенко М. М.</i> , к.т.н., доцент, ІЕЕ НТУУ «КПІ».....	331
Порівняння стандартів якості електричної енергії. <i>Базюк Т.М.</i> , аспірант, <i>Ільєнко Д.Ю.</i> , студент, <i>Радиш І.П.</i> , к.т.н. доцент, ІЕЕ НТУУ «КПІ».....	340
Аналіз особливостей підключення розосередженої генерації при побудові систем Microgrid. <i>Д.Г. Дерев'янка</i> , аспірант, <i>М.Ю. Попик</i> студент, ІЕЕ НТУУ «КПІ».....	348
Ранжування показників енергоефективності для побудови інтегрованих систем енергопостачання. <i>Т.М. Базюк</i> , аспірант, <i>Ю.М. Чернуха.</i> , студент, ІЕЕ НТУУ «КПІ».....	357
Використання активного споживача з точки зору оптимізації графіків споживання. <i>Т.М. Базюк, І.В.</i> аспірант, <i>Золотоверха.</i> студент, ІЕЕ НТУУ «КПІ».....	367
Визначення оптимальних умов для побудови систем оперативного контролю ефективності енергоспоживання. <i>Богданова Ю.О.</i> , студент, <i>Бедерак Я.С.</i> , інженер, <i>Іванько Д.О.</i> , аспірант, <i>Находов В.Ф.</i> , к.т.н., доцент, ІЕЕ НТУУ «КПІ».....	376
Вибір методу побудови стандартів енергоспоживання на основі кількісних та якісних критеріїв. <i>Головко А.В.</i> , студент, <i>Іванько Д.О.</i> , аспірант, <i>Находов В.Ф.</i> , к.т.н. доцент, ІЕЕ НТУУ «КПІ».....	385
Компенсація реактивної потужності. Теперішнє та майбутнє. <i>Данилюк І.О.</i> , студент, <i>Голованьов М.Ю.</i> к.т.н. доцент, ІЕЕ НТУУ «КПІ».....	393
Вибір трансформаторів по термічній стійкості та струмам короткого замикання при імовірнісній вихідній інформації. <i>Озеров Р.Є.</i> , студент, <i>Голованьов М.Ю.</i> , к.т.н., доцент, ІЕЕ НТУУ «КПІ».....	401

---

<b>Розрахунок вихідних потужності сонячної панелі з урахуванням невизначеності інформації. Ярмолюк О.С.,</b> аспірант, <b>Замковий П.О.,</b> ІЕЕ НТУУ «КПІ».....	410
<b>Вибір системи електропостачання віддалених об'єктів. Купцов Д.В.</b> студент, <b>Соловей О.І.</b> к.т.н., доцент, ІЕЕ НТУУ «КПІ».....	418
<b>Комплексний аналіз способів та засобів компенсації реактивної потужності в електричних мережах. Моргун К.К.,</b> студент, <b>Замулко А. І.,</b> к.т.н., доцент, ІЕЕ НТУУ «КПІ» .....	425
<b>Аналіз особливостей забезпечення стійкості та надійності систем з інтеграцією джерел розосередженої генерації. Дерев'янку Д.Г.,</b> аспірант, <b>Суменко К.Ю.,</b> студент, <b>Процько В.Г.,</b> студент, ІЕЕ НТУУ «КПІ».....	432
<b>Аналіз впливу сонячних електростанцій на показники якості електричної енергії. Дерев'янку Д.Г.,</b> аспірант, <b>Мирошниченко В.В.,</b> студент, ІЕЕ НТУУ «КПІ».....	439
<b>Підвищення ефективності функціонування засобів обмеження струмів витоку". Кононенко О.А.,</b> студент, <b>Побігайло В.А.,</b> к.т.н., доцент, ІЕЕ НТУУ «КПІ».....	445
<b>Підвищення ефективності функціонування засобів обмеження струмів короткого замикання та перевантаження. Кононенко О.А.,</b> студент, <b>Побігайло В.А.,</b> к.т.н., доцент, ІЕЕ НТУУ «КПІ».....	447

### Геотехнологія, екологія та промислова безпека

<b>Противоточно-ступенчатая адсорбционная очистка сточных вод от поверхностно-активных веществ. Грайворонская И.В.,</b> аспірант, <b>Хоботова Э.Б.,</b> д.х.н., проф., Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет.....	451
<b>Санитарно-химическая оценка доменных шлаков металлургических комбинатов Украины. Калмыкова Ю.С.,</b> аспірант, <b>Хоботова Э.Б.,</b> д.х.н., проф., <b>Дубовик А.Ю.,</b> Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет.....	455
<b>Забруднення важкими металами ґрунтів поблизу теплових електростанцій. Левченко А.Є.,</b> студент, <b>Ігнатенко М.І.,</b> <b>Хоботова Е.Б.,</b> д.х.н., проф., Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет .....	462
<b>Перспективи утилізації молочної сироватки з метою отримання водню. Арутюнов Д.О., Пересипкіна Н. В.,</b> ІЕЕ НТУУ «КПІ», факультет біотехнології і біотехніки.....	469
<b>Екологічний аудит урбанізованих територій. Ополінський І.О.,</b> студент, <b>Дичко А.О.,</b> к.т.н., доц., ІЕЕ НТУУ «КПІ», каф. ІЕ .....	471
<b>Структурні елементи методики моніторингу якості повітря урбоєкосистем. Кудрявська Т.Б.,</b> аспірант, <b>Лавриненко Ю.,</b> студент, <b>Дичко А.О.,</b> к.т.н., доц., ІЕЕ НТУУ «КПІ», каф. ІЕ .....	474

<b>Оцінювання якості середовища проживання. Зайцев В.Л., студент, Дичко А.О., к.т.н., доцент, Гантар Ю.М., ІЕЕ НТУУ «КПІ», каф. ІЕ, Мінаєва Ю.Ю., Київський університет управління та підприємництва.....</b>	<b>477</b>
<b>Оцінювання ризиків біоіндикації. Остапчук А.І., аспірант, Єремєєв І.С., д.т.н., ДВНЗ «Київський університет управління та підприємництва» (КУУП), факультет менеджменту, кафедра екології, природокористування та моніторингу довкілля.....</b>	<b>480</b>
<b>Математичне моделювання взаємодії сейсмовибухових хвиль з охоронними об'єктами з урахуванням їх частотних характеристик на Кошівського гранітного кар'єру. Наавгуст Д.А., студент, Ремез Н.С., д.т.н., проф., ІЕЕ НТУУ «КПІ», каф. ІЕ.....</b>	<b>483</b>
<b>Проблема утилізації медичних відходів. Шабельник І.Ю., студент, Сергієнко М.І., ст. викл., ІЕЕ НТУУ «КПІ», каф. ІЕ .....</b>	<b>490</b>
<b>Очищення стічних вод з використанням методів деструкції активного мулу. Садова Ю.М., аспірант, Матасова О.О., студент, Дичко А.О., к.т.н., доц., ІЕЕ НТУУ «КПІ», каф. ІЕ.....</b>	<b>494</b>
<b>Визначення фізико-хімічних показників якості автомобільних бензинів з присадками. Роїк І.В., аспірант, Кофанова О.В., к.х.н., доцент, ІЕЕ НТУУ «КПІ», каф. ІЕ .....</b>	<b>498</b>
<b>Досвід використання заощадливого статико-динамічного методу відколу кам'яних блоків. Гребенюк Т.В., аспірант, Ткачук К.К., проф., д.т.н., ІЕЕ НТУУ «КПІ», каф. ІЕ.....</b>	<b>500</b>
<b>Удосконалення енергозберігаючої технології виготовлення кубовидного щебеню. Савчук В.П., здобувач, Ткачук К.К., проф., д.т.н., ІЕЕ НТУУ «КПІ», каф. ІЕ .....</b>	<b>506</b>
<b>Динамика изменения коэффициента сопротивления горной породы при копании ковшом экскаватора. Евтеева Л.И., соискатель, Крючков А.И., к.т.н., доцент, ИЭЭ НТУУ "КПИ", каф. ИЭ.....</b>	<b>510</b>
<b>Розробка рекомендацій по підвищенню екологічної безпеки робочої зони малярної ділянки на заводах. Онос Л.М., магістр, Дичко А.О., к.т.н., доц., ІЕЕ НТУУ «КПІ», каф. ІЕ .....</b>	<b>512</b>
<b>Ефективність застосування сучасної бурової техніки на кар'єрах України. Сергієнко М.І., ст. викл., Жукова Н.І., ст. викл., ІЕЕ НТУУ «КПІ», каф. ІЕ.....</b>	<b>518</b>
<b>Основні проблеми забруднення водних об'єктів. Оцінка заходів для знезараження води в сучасному водопостачанні. Мороз І.М., студент, Дичко А.О., к.т.н., доц., ІЕЕ НТУУ «КПІ», каф. ІЕ.....</b>	<b>524</b>
<b>Перспективні шляхи утилізації відходів деревини. Кутра К.Е., студент, Жукова Н.І., ст. викл., Сергієнко М.І., ст. викл., ІЕЕ НТУУ «КПІ», каф. ІЕ.....</b>	<b>529</b>

---

**Обґрунтування доцільності видобутку бурого вугілля з подальшою його газифікацією.** *Костюк І.В.*, студент, *Крючков А.І.*, к.т.н., доц., *Жукова Н.І.*, ст. викл., ІЕЕ НТУУ «КПІ», каф. ІЕ, *Смоляр В.Г.*, інженер, каф. АУЕК.....535

**Утилізація технічної води підземних гірничих підприємств.** *Крючков А.І.*, к.т.н., доц., *Сергієнко М.І.*, ст. викл., *Жукова Н.І.*, ст. викл., ІЕЕ НТУУ «КПІ», каф. ІЕ .....541

**Використання іт-технологій при вирішенні задач в екології.** *Ополінський І.О.*, студент, *Козьяков В.С.*, к.т.н., доцент, ІЕЕ НТУУ «КПІ», каф. ІЕ .....547

**Аналіз факторів впливу об'єктів поводження з твердими побутовими відходами в Україні.** *М.В. Почкай.*, *С.П. Пушкін.*, ІЕЕ НТУУ «КПІ» .....549

#### ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІ ЕКОБЕЗПЕЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ОБЛАДНАННЯ

**Оптимізація параметрів сонячної установки для потреб гарячого водопостачання на базі плоского сонячного колектора.** *Бикова А.В.*, студент, *Дешко В.І.*, д.т.н., проф., ІЕЕ НТУУ "КПІ".....551

**Принципи моделювання систем централізованого теплозабезпечення.** *Домбровський Т.В.*, студент, *Дешко В.І.*, д.т.н., проф., ІЕЕ НТУУ «КПІ» .....559

**Дослідження впливу елементів віконних конструкцій на теплопередачу через огорожуючі конструкції.** *Мінакова Д.В.*, студент, *Фаренюк Г.Г.*, к.т.н., ІЕЕ НТУУ «КПІ».....565

**Методи впливу теплопровідних включень на теплоізоляційні характеристики огорожуючих конструкцій.** *Вальнюк А.С.*, студент, ІЕЕ НТУУ «КПІ» .....572

**Порівняння ефективності різних типів енергетичних установок на базі ГТД.** *Короткий В.В.*, студент, *Шкляр В.І.*, к.т.н., доц., *Дубровська В.В.*, ІЕЕ НТУУ «КПІ»..... 578

**Дослідницький стенд «параболоїдний сонячний концентратор - двигун Стірлінга УДС-1 - електричний генератор» та його базові характеристики.** *Довгий С.С.*, студент, *Єманова Н.О.*, студент, *Студенець В.П.*, ІЕЕ НТУУ «КПІ» .....587

**Вибір підігрівників в структурі теплотехнологічного комплексу цукрового заводу.** *Кучер А.В.*, студент, *Василенко С.М.*, ІЕЕ НТУУ «КПІ».....595

**Термодинамічна компактність – критерій термодинамічної досконалості ДВЗ. Оптимізація циклів за цим критерієм.** *Склянка А.В.*, студент, *Єрошенко В.А.*, д.т.н., проф., ІЕЕ НТУУ «КПІ».....602

**Вплив електричного поля на розподіл зарядів та особливості графіку вольт-амперної характеристика струму в залежності від значень напруги насичення.** *Приміський В.П.*, *Жужа А.В.*, ІЕЕ НТУУ «КПІ».....608

**Оцінювання енергетичної ефективності будівель.** *Славська В.О.*, *Фаренюк Г.Г.*, ІЕЕ НТУУ "КПІ".....613