



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



**МАТЕРІАЛИ  
ХІ НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ  
ІНСТИТУТУ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ ТА  
ЕНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТУ**

**ЕНЕРГЕТИКА. ЕКОЛОГІЯ. ЛЮДИНА**

**(ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ)**

**24 – 25 КВІТНЯ 2019 року**

**Київ  
2019**

Енергетика. Екологія. Людина. Зб. наукових праць ІЕЕ, КПІ імені Ігоря Сікорського – Київ: ІЕЕ, 2019. – 308 с.

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

До збірника включено статті за такими напрямками: сталий розвиток енергетики, енергетичний менеджмент та інжиніринг, сучасні системи забезпечення електричною енергією, інжиніринг та автоматизація електротехнічних комплексів, мехатроніка енергоємних виробництв, проблеми видобутку корисних копалин, геотехнічне і міське підземне будівництво, інженерна екологія та ресурсозбереження, охорона праці, промислова та цивільна безпека, 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»*

### **Організаційний комітет:**

Голова – Денисюк С.П., д.т.н., проф., директор ІЕЕ;

заступник голови – Дичко А.О., д.т.н., доц., заст. директора ІЕЕ з наукової роботи;

Члени оргкомітету: Попов В.А. – д.т.н., проф., завідувач кафедри електропостачання; Дешко В.І. – д.т.н., проф., завідувач кафедри теплотехніки та енергозбереження; Розен В.П. – д.т.н., проф., завідувач кафедри автоматизації управління електротехнічними комплексами; Ткачук К.К. – д.т.н., проф., завідувач кафедри інженерної екології; Шевчук С.П. – д.т.н., проф., завідувач кафедри електромеханічного обладнання енергоємних виробництв; Броницький В.О. – ас. каф. ІЕ, Лебедев Л.М. – к.т.н., доц. каф. АУЕК, Лістовщик Л.К. – к.т.н., доц. каф. ЕМОЕВ, Студенець В.П. – к.т.н., доц. каф. ТЕ, Закладний О.О. – к.т.н., доц. каф. ЕП.

### **Адреса організаційного комітету:**

Україна, Київ, 03056, вул. Борщагівська, 115, корпус № 22, кім. 202а

Інститут енергозбереження та енергоменеджменту

Сайт конференції: [www.en.iee.kpi.ua](http://www.en.iee.kpi.ua)

Укладання збірника наукових праць: Закладний О.О.

Матеріали подані у авторській редакції.

Відповідальність за зміст і достовірність даних несуть автори тез.

**ISSN 2307-7239**

© Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», 2019

## ЗМІСТ

### ПЛЕНАРНЕ ЗАСІДАННЯ

|                                                                                                                                                         |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Прогнозування розвитку локальної енергетичної системи енергоспоживання на основі техноценологічного підходу. <i>Василенко В. І., Беспала Н.Г.</i> ..... | 8  |
| Основні напрямки розвитку регіональної енергетичної системи. <i>Беспала Н.Г.</i> .....                                                                  | 14 |
| Розрахунок кратності повітрообміну та її вплив на енергопотребу будівлі. <i>Гетманчук Г.О., Білоус І.Ю.</i> .....                                       | 26 |
| Переривчасті режими роботи системи опалення жилого приміщення. <i>Дешко В. І., Суходуб І. О., Яценко О. І.</i> .....                                    | 32 |

### СЕКЦІЯ № 1. СТАЛИЙ РОЗВИТОК ЕНЕРГЕТИКИ. СУЧАСНІ СИСТЕМИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЮ ЕНЕРГІЄЮ

|                                                                                                                                                                         |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Підвищення ефективності контролю функціонування вес в лібералізованому ринку електричної енергії України. <i>Бас С.Д., Коцар О.В.</i> .....                             | 42 |
| Використання електролізних установок для виробництва екологічно чистого водню. <i>Володимирчук О.А.</i> .....                                                           | 48 |
| Оцінка ефективності нормативного забезпечення електропостачання споживачів в лібералізованому ринку електричної енергії України. <i>Голодний О.С., Коцар О.В.</i> ..... | 53 |
| Порівняльний аналіз техніко-економічних характеристик акб при їх використанні в різних схемах електропостачання. <i>Лило І.В., Гліба Д.М.</i> .....                     | 59 |
| Адаптивне планування попиту в умовах лібералізації ринку електричної енергії України. <i>Стецина А.О., Коцар О.В.</i> .....                                             | 64 |
| Установка для вироблення й очищення біогазу для гібридної системи енергозабезпечення. <i>Костюк В.О., Єфремов В.П.</i> .....                                            | 71 |
| Особливості регулювання систем комунального водопостачання. <i>Закладний О.О., Рибаченко К.П.</i> .....                                                                 | 76 |
| Оцінка показників надійності системи електропостачання з генерувальними об'єктами розосередженого типу. <i>Борозенець А.О.</i> .....                                    | 82 |
| Особливості роботи насосів систем тепловодопостачання. <i>Закладний О.О., Марухняк Д.В.</i> .....                                                                       | 86 |

### СЕКЦІЯ 2. ЕНЕРГЕТИЧНИЙ МЕНЕДЖМЕНТ ТА ІНЖИНІРИНГ

|                                                                              |  |
|------------------------------------------------------------------------------|--|
| Дослідження стану комфортності в приміщеннях спеціалізованої школи «Грааль». |  |
|------------------------------------------------------------------------------|--|

|                                                                                                                                                                                                 |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <i>Чубенко Д.Е., Виноградов-Салтиков В.О.</i> .....                                                                                                                                             | 96  |
| Теплотехнічне обстеження та визначенням теплової ефективності роботи систем опалення та гарячого водопостачання житлового будинку. <i>Бубнов В.В., Виноградов-Салтиков В.О.</i> .....           | 104 |
| Моделювання споживання енергії житловою будівлею з визначенням потенціалу енергозбереження від термомодернізації. <i>Мельнікова К.І., Шовкалюк М.М.</i> .....                                   | 111 |
| Гофровані теплообмінні поверхні кожухопластинчастих теплообмінників. <i>Одуденко Ю. М., Гавриш А. С.</i> .....                                                                                  | 118 |
| Про деякі питання інтенсифікації теплообміну в конденсаторах і способи захисту робочих поверхонь. <i>Сторожук М. С., Гавриш А. С.</i> .....                                                     | 124 |
| Аналіз розвитку сучасної вітроенергетики. <i>Бузоверя Д.В., Гавриш А. С.</i> .....                                                                                                              | 133 |
| Аналіз точкової індивідуальної термосанації огорожуючих конструкцій багатоквартирних житлових будинків. <i>Максименко О.Е., Дешко В.І.</i> .....                                                | 143 |
| Термодинамічний накопичувач енергії та повірковий розрахунок його ефективності. <i>Бондаренко В.В, Студенець В.П.</i> .....                                                                     | 150 |
| Використання твердопаливних пелетних котлів для системи опалювання середньої загальноосвітньої школи № 121. <i>Лівіщенко А.А., Шкляр В.І., Дубровська В.В.</i> .....                            | 155 |
| Енергоефективність міні-ГЕС Закарпаття. <i>Фіцай М. М., Шкляр В.І., Дубровська В.В.</i> .....                                                                                                   | 159 |
| <b>СЕКЦІЯ 3. ІНЖИНІРИНГ ТА АВТОМАТИЗАЦІЯ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ КОМПЛЕКСІВ</b>                                                                                                                        |     |
| Система автоматичного керування направленим рухом видобувної машини. <i>Почення Г.Л., Прядко С.Л.</i> .....                                                                                     | 165 |
| Інтелектуальна система прогнозування короткострокового споживання енергії, на базі штучної нейронної мережі, з використанням багатофакторного аналізу. <i>Докинина С.Ю., Тишевич Б.Л.</i> ..... | 170 |
| Захист асинхронного електродвигуна з живленням від перетворювача частоти. <i>Дубовик В.Г., Лебедєв Л.М., Барсукова К.І., Боднарчук О.Ю.</i> .....                                               | 178 |
| Оцінка технічного стану машин методом контролю вібрації. <i>Дубовик В.Г., Лебедєв Л.М., Грибан Д.О., Харкевич Р.В.</i> .....                                                                    | 185 |
| Керування вітроенергетичною установкою по ланцюгах живлення. <i>Дубовик В.Г., Лебедєв Л.М., Козир А.І., Сторожук М.П.</i> .....                                                                 | 190 |
| Вибір накопичувача кінетичної енергії методом аналізу ієрархій. <i>Захарчук О.О.</i> .....                                                                                                      | 196 |

|                                                                                                                                                                              |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Дослідження динамічних режимів роботи ес-двигунів зі стабілізованою продуктивністю при роботі в аеродинамічній трубі. <i>Литвиненко С.О.</i> .....                           | 201 |
| Автоматизований комплекс для контролю роботи стаціонарних установок гірничих підприємств. <i>Левкович А.О. , Прядко С.Л.</i> .....                                           | 205 |
| Енергоефективний електропривод з вентильним двигуном для шахтних бурильних машин. <i>Слива В.В , Прядко С.Л.</i> .....                                                       | 210 |
| Визначення споживання електроенергії вентиляторним агрегатом місцевого провітрювання з регульованим електроприводом. <i>Балушок М.Ю.</i> .....                               | 216 |
| Створення нейронних мереж в системі matlab для задач управління на прикладі нейрорегулятора електроприводу. <i>Мугенов Д. Д.</i> .....                                       | 220 |
| Дослідження режимів роботи конвеєрної установки з урахуванням пружності стрічки. <i>Поволоцький П.Б.</i> .....                                                               | 225 |
| Система регулювання повітрообміну в громадських приміщеннях в залежності від кількості присутніх людей. <i>Бровко В.О.</i> .....                                             | 231 |
| Застосування інтелектуальних систем для ідентифікації стохастичних процесів. <i>Докинина С.Ю., Тишевич Б.Л.</i> .....                                                        | 235 |
| Підвищення енергоефективності роботи вентиляційної установки шляхом використання регульованого асинхронного. <i>Скворцов С.В., Пермяков В.М.</i> .....                       | 244 |
| <b>СЕКЦІЯ 4. МЕХАТРОНІКА ЕНЕРГОЄМНИХ ВИРОБНИЦТВ</b>                                                                                                                          |     |
| Алгоритм визначення оптимальної температури підігріву нафти для систем керування при транспортуванні методом «гарячої» перекачки. <i>Куліш Р. Д., Городецький В.Г.</i> ..... | 254 |
| Струминний насос дворежимної дії для ремонту нафтових свердловин за допомогою кислотної обробки. <i>Жуковський М.О.</i> .....                                                | 260 |
| Удосконалення дробильно-помольного комплексу. <i>Мейта О. В., Перевозник Д.О.</i> .....                                                                                      | 263 |
| Пристрій для відкачки рідин глушіння із свердловини. <i>Мирутенко П.П.</i> .....                                                                                             | 273 |
| Застосування явища імплзії в процесі відновленні продуктивності нафтової свердловини. <i>Мельничук А.І., Літовицький Л.К.</i> .....                                          | 274 |
| <b>СЕКЦІЯ 5. ІНЖЕНЕРНА ЕКОЛОГІЯ ТА РЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯ</b>                                                                                                                     |     |
| Аналіз проблеми утилізації гальванічних джерел електроенергії в Україні. <i>Макарова В.А., Сергієнко М.І.</i> .....                                                          | 278 |

|                                                                                                                                                                                      |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Аналіз антропогенного навантаження на річку Стир. <i>Єзгор А. В., Гребенюк Т. В.</i> .....                                                                                           | 282 |
| Порівняльний аналіз екологічного стану річки Рось за 2014 - 2018 роки. <i>Білоус А. Я., Гребенюк Т. В.</i> .....                                                                     | 285 |
| Застосування системи Ocean Cleanup у акваторії Чорного моря. <i>Хомяк І.В., Гребенюк Т. В.</i> .....                                                                                 | 289 |
| Енергія солоної води. <i>Дуднік М. О., Гребенюк Т. В.</i> .....                                                                                                                      | 292 |
| Підвищення рівня екологічної безпеки тец за допомогою управління технологічними параметрами із застосуванням ексерго-екологічного аналізу. <i>Радецька О. Й., Тверда О. Я.</i> ..... | 292 |
| <b>СЕКЦІЯ 6. ОХОРОНА ПРАЦІ, ПРОМИСЛОВА ТА ЦИВІЛЬНА БЕЗПЕКА</b>                                                                                                                       |     |
| Пожежна безпека під час підготовки та проведення вогневих робіт на підприємствах хімічної та харчової промисловості балтійських країн і України. <i>С.А. Гавриш</i>                  |     |
| <i>А.С. Гавриш, І.В. Гайдай.</i> .....                                                                                                                                               | 300 |
| Безпека виконання вантажно-розвантажувальних робіт в Еквадорі і України. <i>С.А. Гавриш</i>                                                                                          |     |
| <i>А.С. Гавриш, Л.Х.А. Гальєгос</i> .....                                                                                                                                            | 304 |

# **ПЛЕНАРНЕ ЗАСІДАННЯ**

УДК 621.3

**В. І. Василенко**, асистент ORCID:0000-0001-7282-6459  
**Н.Г. Беспала**, магістрант ORCID 0000-0002-4466-6491  
Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

## **ПРОГНОЗУВАННЯ РОЗВИТКУ ЛОКАЛЬНОЇ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ СИСТЕМИ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ НА ОСНОВІ ТЕХНОЦЕНОЛОГІЧНОГО ПІДХОДУ**

*У статті розглянуто проблеми енергетичної ефективності, особливості та методи прогнозування розвитку та споживання енергії локальною енергетичною системою.*

*Розглянута методика прогнозування енергетичного споживання для вирішення задач оптимального управління електроспоживання за допомогою техноценологічного підходу.*

*Для локальної енергетичної системи формалізовано базову сукупність рангів, визначено їх функціональні обов'язки та наведено математичні описи використання техноценологічного підходу.*

**Ключові слова:** енергетична ефективність, техноценоз, ранговий аналіз

**Вступ.** Одним з важливих факторів економії паливно енергетичних ресурсів (далі – ПЕР) вважають наявність та повномасштабну реалізацію програм енергозбереження, тобто низки заходів, які дають змогу підвищити енергетичну ефективність виробництва, споживання енергії [1-3].

Локальна енергетична система (ЛОЕС) – це тип систем для отримання видів енергії в місцях споживання, або в безпосередній близькості від них, з максимальним використанням відновлюваних та місцевих ресурсів енергії [1].

Серед питань прогнозування розвитку ЛОЕС, які значним чином впливають на соціально-економічне становище та знаходяться в компетенції локальних органів влади, слід віднести: розвиток енергетичної інфраструктури, підвищення ефективності виробництва та споживання енергії, оптимізація енергоспоживання, в першу чергу, за рахунок збільшення використання власних видів ПЕР та нетрадиційних відновлюваних джерел енергії, дотримання існуючих екологічних норм, а в подальшому, перехід до сталого розвитку [2,3].

**Метою роботи** є застосування і адаптація техноценологічного підходу для прогнозування розвитку ЛОЕС та формування програми модернізації ефективності локальної системи.

**Аналіз існуючих методів прогнозування розвитку локальної енергетичної системи.** Серед питань розвитку локальної енергетичної системи, які значним чином впливають на соціально-економічне становище, слід віднести: розвиток енергетичної інфраструктури, підвищення ефективності виробництва енергоресурсів, оптимізація енергоспоживання, в першу чергу, за рахунок збільшення використання власних видів ПЕР та нетрадиційних відновлюваних джерел енергії, дотримання існуючих екологічних норм. В загальному плані, існуючі системи енергозабезпечення регіонів мають певні вади, які формують технічні, фінансово-економічні, соціально-політичні та адміністративно-управлінські проблеми, більшість з яких можна визначити як загрози енергетичної безпеки регіонів України. До таких загроз слід віднести [2-4]:

- недосконалість процесів організації та управління енергозабезпеченням регіонів;
- зношеність й технологічна відсталість об'єктів генерації електричної і теплової енергії, транспортних та розподільчих мереж електричної і теплової енергії та природного газу;
- значні втрати при виробництві, транспортуванні, розподілі й особливо при споживанні енергії;

- незадовільне фінансове становище більшості об'єктів регіональної енергетики;
- значна нерівномірність розташування об'єктів генерації;
- відсутність достатніх коштів для модернізації й розвитку енергетичних об'єктів та інфраструктури постачання в регіони енергетичних ресурсів, а також несприятливий для залучення інвестицій клімат у державі;
- значний рівень монополізації регіонального енергопостачання (електричної та теплової енергії);
- високий рівень забруднення довкілля енергетичними підприємствами регіону та недостатній рівень використання місцевих вторинних енергетичних ресурсів і відновлюваної енергетики.

Для ідентифікації технічного стану обладнання найбільше застосування знайшли такі методи прогнозування[5-9]:

1. Статистичні методи, засновані на розподілі по класах у відповідність з класифікацією за правилом Байеса (двоетапний метод, морфологічний аналіз та факторний аналіз).

2. Динамічні методи, засновані на уявленні зв'язку між вхідними та вихідними сигналами об'єкта за допомогою передавальної функції. Передавальна функція визначається як відношення вихідного і вхідного сигналів об'єкта, перетворених за Лапласом (регресійний аналіз, наївний метод, нормативне прогнозування).

У ряді випадків вимоги до прогнозу, а саме вихідної інформації для реальних спостережень виявляються нездійсненними, тому одержувані оцінки виявляються неефективними, а прогноз - неточним. Досить складною є проблема вибору незалежних факторів, що впливають. Все це призводить до досить складної реалізації багатфакторних регресійних прогнозних моделей електроспоживання за умови дотримання заданої точності прогнозу[6,7].

3. Метод штучних нейронних мереж, заснований на використанні елементів, функціональні можливості яких аналогічні більшості елементарних функцій біологічного нейрона. Важливою перевагою використання нейронних мереж в задачах діагностики є здатність до навчання. В процесі роботи системи діагностики можна виконувати додавання або коригування прогнозування [8].

4. Техноценоз, включає ряд етапів, до складу яких входять процедури рангового аналізу взаємопов'язані між собою. Метою рангового аналізу є статистичний аналіз даних, крім того їх оптимізацію, і покладатися в якості основного критерію форму рангових і видових розподілів. Рангові аналіз включає процедури інтервального оцінювання, параметричного нормування, прогнозування та нормування споживання ресурсів. Поглиблений аналіз рангових параметричних розподілів дає можливість значно підвищити ефективність рангового аналізу[9].

Запропоновані методи можуть бути використані на практиці при комплексній оцінці стану обладнання, що дозволяє застосовувати оцінку устаткування по фактичному стану та розглядати окремо не кожен прилад, а об'єднання в кластери устаткування, виділених в просторі і часі, проводити планування робіт по ремонту і діагностиці по фактичному стану, здійснювати прогноз зміни в роботі устаткування на наступний часовий інтервал.

Термін техноценоз визначається як спільнота всіх виробів, що включає всі популяції; має слабкі зв'язки і слабкі взаємодії елементів (виробів), що утворюють систему штучного походження, яка характеризується несправністю часу життя ценозу і особини, неможливістю виділення однозначної системи показників. Стійкість технічної системи обумовлена дією законів енергетичного і інформаційного відборів за аналогією з живими системами, де діє закон природного відбору.

### Особливості прогнозування розвитку локальної енергетичної системи

При прогнозуванні енергетичного споживання об'єктами техноценозу ставиться завдання, що показники споживання ресурсів об'єктами виступають в якості функціональних параметрів, за якими будуються криві рангового розподілу. Для вирішення поставленого завдання потрібно проведення попередніх досліджень, і описового аналізу [11].

Подальший аналіз виконаний для 24 закладів освіти міста Києва. Кілька дрібних об'єктів виключені з розгляду через неповноту вихідних даних.

За допомогою встановлення рангів порядкового номеру об'єкта, якщо всі розташовуються у порядку зростання споживання теплової та електричної енергії. Чим більшу (меншу) суму рангів отримає об'єкт, тим вища (нижча) його якість.

Ранговий коефіцієнт конкордації Кендалла використовується з метою визначення залежності між кількісними і якісними ознаками, що характеризують однорідні об'єкти і ранжированих за одним принципом. Для яких можна записати рівняння [13]:

$$W = \frac{12 \cdot S}{m^2(n^3 - n)}; \quad (1)$$

де  $S$  - сума різниць між числом послідовностей і числом інверсій за другою ознакою;

$m$  - число факторів;

$n$  - кількість об'єктів.

Отримане значення оцінюється на значимість за допомогою коефіцієнта Пірсона множенням даного коефіцієнта на кількість експертів і на число ступенів свободи ( $m-1$ ). Отриманий критерій порівнюється з табличним значенням, і при перевищенні значення першого над останнім, говорять про значущість досліджуваного коефіцієнта. Розраховані дані представлено у таблиці 1.

Таблиця 1 – Розрахункові коефіцієнти конкордації споживання електричної енергії для закладів освіти.

| $T$ рік | $W$   | $X^2$  |
|---------|-------|--------|
| 2015    | 0,846 | 17,92  |
| 2016    | 0,838 | 17,949 |
| 2017    | 0,851 | 17,955 |

Коефіцієнт конкордації показує узгодженість переміщення об'єктів по ранговій поверхні. Якщо всі ранги при русі по ранговій поверхні збігаються, то  $W=1$ , якщо повністю не збігаються - то  $W=0$ . Таким чином, якщо  $0 < W < 0,5$ , то коефіцієнт конкордації не значущий, якщо більше 0,5 - значущий.

Для досліджуваної сукупності даних коефіцієнт конкордації значущий, що свідчить про взаємозв'язок досліджуваного техноценозу. Перевірка двох гіпотез показала, що генеральна сукупність даних є яскраво вираженим техноценозом.

Виділення і опис техноценозу супроводжується формуванням бази даних. В рамках цієї процедури в цьому дослідженні здійснено збір інформації з досліджуваної області, а саме, даних про фактичне споживання закладами освіти електроенергії з історією на глибину 3 років за період з 2015 по 2017рр. Це дозволило отримати розгорнуту картину електроспоживання і створити електронну базу даних для подальшого аналізу.

$$W_r = \frac{W_n}{r^\beta}; \quad (2)$$

де  $r$  - ранг по параметру, в порядку убутання параметра розташовують об'єкти;  
 $W_n$  - максимальне значення параметра особи з рангом 24, тобто в першій точці;  
 $\beta$  - ранговий коефіцієнт, що характеризує ступінь крутизни кривої розподілу.  
 Вручну коефіцієнт  $\beta$  визначається за формулою:

$$\beta = \operatorname{tg} \alpha = \frac{\ln W_{24}}{\ln r}. \quad (3)$$

Отримані результати розрахунків відображено у таблиці 2.

Таблиця 2 – Ранговий розподіл теплової енергії для ЗОСШ

| Т рік | Параметри розподілу |         | Аналітична залежність      |
|-------|---------------------|---------|----------------------------|
|       | $W_n$               | $\beta$ |                            |
| 2015  | 775,51              | 0,884   | $\frac{775,51}{r^{0,884}}$ |
| 2016  | 770,72              | 0,891   | $\frac{770,72}{r^{0,891}}$ |
| 2017  | 636,16              | 1,094   | $\frac{636,16}{r^{1,094}}$ |

Сукупність отриманих рангових розподілів по параметру електроспоживання задає рангову поверхню, представлену на рисунку 1.

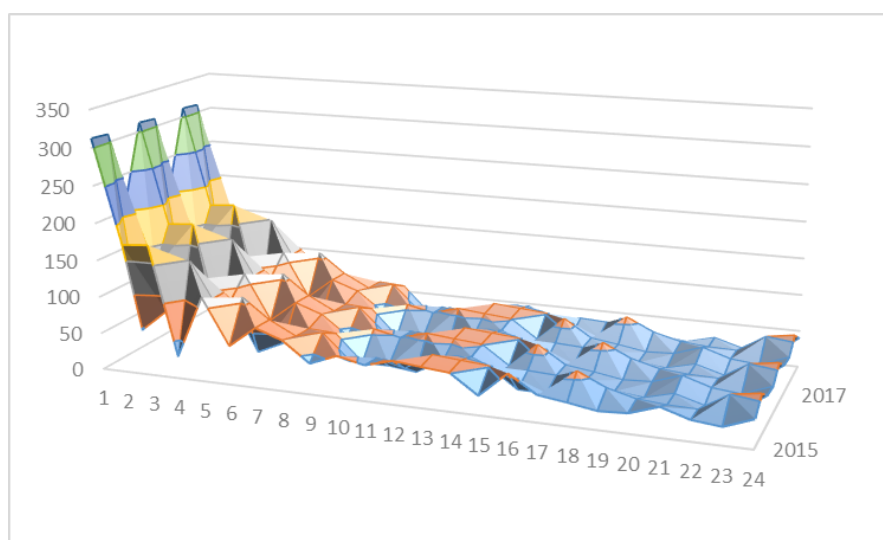


Рисунок 1 -Тривимірна рангова поверхню об'єктів техноценозу за період з 2015 по 2017рр: абсциса - ранг об'єкта; ордината - часовий інтервал (рік); апліката – електроспоживання закладів освіти, кВт год.

Подальша апроксимація значень на межах ділянок дає змінний довірчий інтервал розподілу. З огляду на прийняті допущення щодо експериментальних точок, що виходять за межі довірчого інтервалу, можна зробити наступні висновки. Якщо точка входить в довірчий інтервал, то в межах гаусового розкиду параметрів можна судити, що даний об'єкт споживає електроенергію нормально для своєї ділянки розбиття рангового розподілу. Якщо точка знаходиться нижче довірчого інтервалу, то це, як правило, свідчить про порушення нормального технологічного процесу електроспоживання на даному об'єкті. Якщо точка знаходиться вище інтервалу, то на відповідному об'єкті має місце аномально велике споживання електроенергії. Саме на ці об'єкти в першу чергу повинно націлюватися поглиблене енергетичне обстеження, що зображено на рисунку 2.

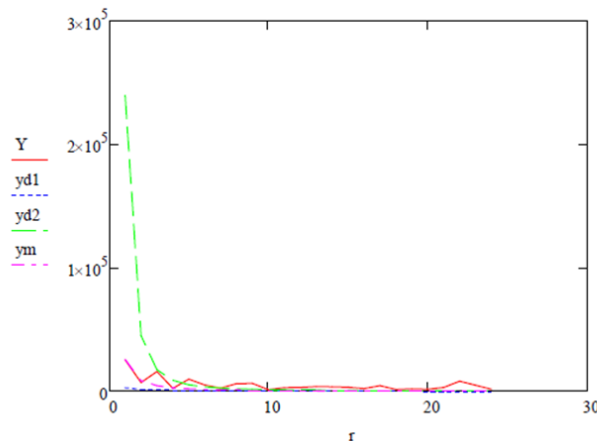


Рисунок 2 - Гаусовий довірчий інтервал для об'єктів техноценозу

Завдяки аналізу довірчого інтервалу можна оцінювати в будь-який момент часу і прогнозувати зміну в майбутньому динамічних властивостей як техноценоз в цілому, так і його об'єктів зокрема.

Виявлення аномальних зон допомагає визначити об'єкти техноценозу, які потребують першочергової модернізації та впровадження заходів з енергозбереження. Завдяки цьому ми можемо прогнозувати розвиток локальної енергетичної системи.

**Висновки.** У роботі застосовується та адаптується техноценологічний підходу для прогнозування розвитку ЛОЕС.

1. Актуалізується визначення обсягів електроенергетики і потужності для регіону і для кожного муніципального освіти як кінцевого споживача на підставі проведення детального аналізу місячних і річних об'єктів електропостачання, а саме для 24 закладів освіти міста Києва.

2. На етапі побудови емпіричної моделі процесу енергоспоживання, техноценоз здійснюється як повномасштабна статистична обробка даних по енергоспоживанню, яка включає взаємопов'язані процедури рангового аналізу. Для досліджуваної сукупності даних коефіцієнт конкордації значущий, що свідчить про взаємозв'язку досліджуваного техноценоз. Перевірка двох гіпотез показала, що генеральна сукупність даних є яскраво вираженим техноценозом.

3. Процедура оптимізації системи складається в спільній роботі з табульованих і графічним розподілами і порівняно ідеальної кривої з реальною, після чого потрібно впровадити заходи на підвищення енергетичної ефективності об'єктів в системі, щоб точки реальної кривої прагнули лягти на ідеальну криву.

## Перелік літератури

- [1] Солоніцин О. Г. Локальні електроенергетичні системи з широким використанням поновлюваних джерел : дис. канд. техн. наук : 05.09.03 / Солоніцин Олександр Геннадійович – Владивосток, 2006. – 247 с.
- [2] Оновлення Енергетичної стратегії України на період до 2030 р. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://mpe.kmu.gov.ua/fuel/control/uk/publish/article?artid=222035>.
- [3] Перелік основних нормативно-правових актів регулювання питань енергоефективності та енергозбереження [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/uk/doccatalog/list?currDir=208607>.
- [4] Єрмілов С.Ф., Гаєць В.М., Яценко Ю.П., Григоровський В.В. / Енергоефективність як ресурс інноваційного розвитку : Національна доповідь про стан та перспективи реалізації державної політики енергоефективності у 2008 році / [Ліп В.Е. та ін.]. – К. : НАЕР, 2009. – 93 с
- [5] Кудрін Б.І. Введення в технетіку. Томськ: ТГУ, 1993. 552 с.
- [6] Малишев Е.А. Методи прогнозування та планування в енергетичній галузі // Соціально-економічні та загальні науки. // Вісник 2012. №6 (65). С. 178-181.
- [7] Основи математичної статистики: Навчальний посібник для ін-тів фіз. культ./Під ред. В. С. Іванова. М.: Фізкультура та спорт, 1990. 176 с.
- [8] Круглов В.В., Борисов В.В. 2002. Искусственные нейронные сети. Теория и практика. М., Горячая линия-Телеком, 382.
- [9] Гнатюк В.І., Лагуткін О.Е. Рангові аналіз техноценоз. Калінінград: БНЦ РАПН - КВІ ФПС РФ, 2000. 86 с.
- [10] Гнатюк В.І., Северин О.Є. Рангові аналіз і енергозбереження. Калінінград: КВІ ФПС РФ, 2003. 120 с.
- [11] Гнатюк В.І. і ін. М. : Журнал «Електрика», 2003, №№ 2 - 6; 2004, № 7; 2005, № 2; 2006, №№ 1, 7, 12; 2007, №№ 2, 3, 7, 8, 11, 12; 2008, №№ 4, 8. Цикл статей, які розкривають досвід рішення завдань оптимального управління електроспоживання балансується.
- [12] Корн Г., Корн Т. Довідник з математики. М. : Наука, 1978. 832 с.

**Vira Vasylenko, assistant ORCID:0000-0001-7282-6459**

**Nataliia Bespala, master ORCID 0000-0003-3801-8284**

**National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"**

*The article deals with the problems of energy efficiency, features and methods of forecasting the development and consumption of energy by the local energy system.*

*The method of forecasting of energy consumption for solving the problems of optimal control of electricity consumption with the help of technocenological approach is considered.*

*For the local energy system, a basic set of ranks is formalized, their functional responsibilities are determined, and mathematical descriptions of the use of the technocenological approach are given.*

*Key words: energy efficiency, technocenosis, rank analysis.*

УДК 621.3

Н.Г. Беспала, магістрант ORCID 0000-0002-4466-6491  
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут  
імені Ігоря Сікорського»

## ОСНОВНІ НАПРЯМКИ РОЗВИТКУ РЕГІОНАЛЬНОЇ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ СИСТЕМИ

*У статті проаналізовано особливості регіональних програм та стратегій в яких розглянуто питання розвитку локальних енергетичних систем. Представлено порівняльну характеристику деяких регіональних програм з розвитку локальних енергетичних систем. Проведено аналіз регіональних програм з метою*

**Ключові слова:** енергетична ефективність, модернізація, енергетична система, регіональна програма, Smart Grid, розвиток локальних енергетичних систем, DSO.

### Вступ

Задача зниження рівня втрат електроенергії є важливою складовою частиною більш загальної задачі зменшення енергоспоживання і ефективного використання енергетичних ресурсів спонукає до прийняття нормативно-правових актів та програмних документів як на державному, так і на регіональному рівнях, в яких ставиться завдання підвищення енергоефективності. Можливості та напрями розвитку відновлюваної енергетики на конкретних територіях відображають відповідні регіональні програми.

Дієвими шляхами модернізації локальної енергетичної системи та підвищення енергоефективності є розвиток системи з точки зору розвитку: з відновлюваних джерел, зміни конфігурації та модернізації систем постачання енергії, зміни техніки та технологій генерації.

Модернізація та інноваційний розвиток енергетичних систем з використанням новітніх технологічних рішень і систем повинні починатися з інфраструктури – в першу чергу саме ці перетворення повинні стати каталізатором подальшого розвитку всієї енергетики.

Однією із концепцій є Smart Grid, що можна визначити, як швидко зростаючий комплекс технологій, технологічних процесів, улаштувань та додатків, за допомогою яких створюються електронні комунікації нового покоління. Впровадження концепції Smart Grid є повністю інтегрованою, саморегулюючою і само відновлюваною електроенергетичною системою, що має мережеву топологію і включає в себе всі генеруючі джерела, магістральні та розподільні мережі і всі типи споживачів електричної енергії, керовані єдиною мережею інформаційно-керуючих пристроїв і систем в режимі реального часу [1].

Оператори системи розподілу (DSO) є організаціями, що залучають найбільші обсяги інвестицій у реалізацію проектів Smart Grid, в основному демонстраційні. Зі зростанням рівнів впровадження поновлюваних і розподілених енергетичних ресурсів, електромобілів та активної участі у попиті, DSO відіграватимуть все більш важливу роль у сприянні ефективному функціонуванню роздрібних ринків, надаючи кінцевим користувачам енергії можливість вибрати кращі енергетичні контракти та дозволити роздрібним компаніям пропонувати варіанти послуг, які найкраще відповідають потребам споживачів[2,3].

У країнах ЄС для впровадження Smart Grid, з точки зору розвитку мережі, розробили проект, в якому потрібно зробити 10 кроків, багато з яких тісно взаємопов'язані і будуть розвиватися одночасно, що зображено у таблиці 1.

Об'єднавши 10 кроків у три етапи розвитку: Фаза сприяння – це розробка моделей регулювання та ринку, стандартизацію та тестування перспективних проектів. На цьому етапі

на другому етапі розгортання проводиться масштабне впровадження, зокрема, функцій «розумного управління мережею» та «розумної інтегрованої генерації» в енергетичній системі. На етапі впровадження та комерціалізації з'являються нові послуги комерційних сторін[2].

Таблиця 1 - 10 кроків, які необхідно зробити для впровадження Smart Grid

| № етапу | Назва етапу                                             | № кроку | Назва кроку                                                                              |
|---------|---------------------------------------------------------|---------|------------------------------------------------------------------------------------------|
| I       | Сприяння - як на національному рівні, так і на рівні ЄС | 1       | Забезпечення регуляторних стимулів для інноваційних інвестицій у мережу                  |
|         |                                                         | 2       | Розробка моделей ринку                                                                   |
|         |                                                         | 3       | Встановлення стандартів та забезпечення захисту даних та конфіденційності                |
|         |                                                         | 4       | Тестування через демонстраційні проекти та обмін знаннями                                |
| II      | Розгортання в державах-партнерах                        | 5       | Тиражування Smart Metering - Поінформовані клієнтів                                      |
|         |                                                         | 6       | Моніторинг та управління мережею та розподіленою генерацією                              |
|         |                                                         | 7       | Перехід до комплексного місцевого та центрального балансування всіх поколінь             |
|         |                                                         | 8       | Агрегація розподілених джерел енергії                                                    |
| III     | Комерціалізація в державах-партнерах                    | 9       | Інтеграція широкомасштабної електронної мобільності, опалення, охолодження та зберігання |
|         |                                                         | 10      | Перехід до реальної участі клієнта на енергетичному ринку                                |

**Метою роботи** аналіз ключових показників та шляхів розвитку регіональних енергетичних систем, які наведено в регіональних програмах, аналіз особливостей цих програм.

#### **Дослідження напрямків розвитку регіональних енергетичних систем**

Основні напрямки розвитку повинні базуватися на розвитку мережевої інфраструктури і генеруючих потужностей, забезпеченні задоволення довгострокового і середньо-термінового попиту на електричну енергію і потужність, формуванні стабільних і сприятливих умов для залучення інвестицій в будівництво об'єктів електроенергетики.

Повинні враховувати такі особливості її формування[3]:

- досягнення необхідного балансу між виробництвом і споживанням електроенергії в енергосистемі, включаючи запобігання виникненню локальних дефіцитів виробництва електричної енергії та потужності і обмеження пропускної здатності електричних мереж;

- скоординоване планування будівництва і введення в експлуатацію об'єктів мережевої інфраструктури і генеруючих потужностей;

- інформаційне забезпечення діяльності органів державної влади при формуванні державної політики у сфері електроенергетики та організації комерційної та технологічної інфраструктури галузі, суб'єктів електроенергетики та споживачів електричної енергії, інвесторів;

- координація планів розвитку паливно-енергетичного комплексу, транспортної інфраструктури, програм територіального планування, схем і програм перспективного розвитку електроенергетики.

Основними принципами формування регіональної електроенергетики повинні бути[4]:

- застосування нових технологічних рішень при формуванні довгострокових схем і програм перспективного розвитку електроенергетики;

- координованість розвитку регіональної енергетики та інноваційних програм суб'єктів електроенергетики;

- скоординований розвиток магістральної і розподільної мережевої інфраструктури.

Інтелектуальна мережа (Smart Grid) - це мережа електроенергії, яка може розумно інтегрувати поведінку та дії всіх своїх користувачів для забезпечення сталого, економічного та безпечного постачання електроенергії. Як інструмент, що забезпечує настільки необхідну гнучкість, інтелектуальні мережі надають потенційні вигоди всім ланцюгам енергетичної системи[2-4].

Smart Grid, дозволяють DSO контролювати електроенергію, що протікає в мережах. На основі зібраних даних DSO зможуть адаптуватися до мінливих умов, автоматично змінюючи конфігурацію мережі та контролюючи підключений попит та розподілену генерацію. Smart Grid також створюють нові можливості для клієнтів та постачальників послуг[5].

Перевагою впровадження концепції Smart Grid, щодо розвитку регіональної енергетичної системи, виступають такі показники[4-6]:

- зменшення витрат на інтеграцію відновлюваних джерел у порівнянні зі звичайними інвестиціями;

- забезпечення нових стимулів для клієнтів, шляхом активного управління споживанням електроенергії.

- зменшення частоти відключень і витрат на їх уникнення;

- ефективніше використовувати існуючу інфраструктуру для виробництва, транспортування та споживання електроенергії, що призводить до зменшення потреби в нових лініях;

- оптимізація використання енергетичних ресурсів і збільшення загальної економії енергії.

#### **Перспективи впровадження DSO та DSO 2.0**

DSO є операційними менеджерами мереж розподілу енергії, що працюють на низьких, середніх і, в деяких країнах, високих рівнях напруги. Трансмісійні мережі транспортують великі обсяги високої напруги на великих відстанях, часто від великих електростанцій до околиць великих міст або промислових зон, де вона перетворюється на більш низькі напруги, розподілені по всіх кінцевих користувачів через розподільчу мережу. Підземні та підземні кабелі, що ведуть до вашого будинку або бізнесу, експлуатуються DSO[7].

Основні обов'язки DSO - це безпека постачання та якість обслуговування залишаються незмінними, але для того, щоб продовжувати забезпечувати їх, DSO повинні розвиватися, стаючи все більш активними менеджерами мережі. Для цього DSO потребують більшого інструментарію та адаптованої законодавчої та регуляторної бази. Також можна виділити чотири принципи діяльності DSO[8]:

1 DSO повинен керувати своєю діяльністю таким чином, що відображає розумне очікування користувачів мережі та інших зацікавлених сторін, включаючи новий бізнес моделі

2 DSO повинна виступати в якості нейтрального посередника у проведенні свого ядра функції.

3 DSO повинні діяти в інтересах суспільства, беручи до уваги витрати та вигоди.

4 Споживачі володіють своїми даними, і DSO повинні визнати це при обробці даних.

Водночас, оператори розподілу електроенергії вже стикаються з проблемами, пов'язаними зі збільшенням частки періодичної та децентралізованої генерації відновлюваних джерел. Враховуючи вплив, який це матиме на дистриб'юторську мережу, технічні стандарти, пов'язані з підключенням та встановленням, є надзвичайно важливими для дистрибуційного бізнесу. Крім того, інтелектуальні електромережі вимагатимуть більш високого рівня автоматизації порівняно з мережами сьогодні. Інтелектуальна електромережа від завтрашнього дня відрізняється від існуючої дистриб'юторської мережі тим, що вона буде оснащена широкими можливостями телекомунікацій[9].

Телекомунікації для Smart Grid не повинні обмежуватися сегментами доступу (як для мобільних, так і для фіксованих мереж). Насправді всі частини телекомунікаційної інфраструктури повинні бути однаково враховані, тобто основою, носієм, доступом і наданням / наданням послуг. DSO не рекомендують будь-яку попередньо визначену домінуючу телекомунікаційну технологію: всі дротові (волоконно-оптичні, мідні, електромережі), радіолінії (дуже висока частота, надвисока частота, мікрохвильова піч), супутникові лінії, провідні та бездротові технології, з точки зору їх ефективності та питань кібербезпеки.

Також точки зору DSO найбільш важливими є [10]:

- однозначна ідентифікація об'єктів в межах розглянутої мережі; для цього необхідно використовувати спільну систему ідентифікації об'єктів, включаючи всі сітки, що беруть участь у розумній мережі;

- класифікація об'єктів, що використовуються в сітці;

- унікальна схема позначення значно зменшує планування та експлуатаційні витрати

- аналіз несправностей на декількох сітках, ідентифікація обладнання, схильного до несправностей

- ідентифікація та розподіл повідомлень про стан в мережах зв'язку (напр. SCADA, протоколи обліку).

Детальний опис принципів наведено у таблиці 2.

Розвиток цих нових можливостей потребуватиме інвестицій у інструменти, людей та інфраструктуру. Значна частина цього необхідна протягом найближчих кількох років, якщо DSO повинні бути готові виконати енергетичний перехід. Зокрема, необхідні інвестиції для:

- Створити видимість потоків енергії, навантажень і з'єднань на локальному рівні розподілу

- впровадження інтеграції гнучких рішень у мережі

- розробка платформ для забезпечення гнучкості послуг для збалансування місцевої мережі.

Регулюючі органи та політики повинні пам'ятати про темпи змін у технологіях та ступінь участі клієнтів та винагороджувати інновації там, де це необхідно. Водночас вони повинні сприяти передбачуваному та стабільному поверненню інвестицій, наскільки це дозволяють національні умови, стимулюючи більш якісне обслуговування за допомогою значущих та досяжних цілей та результатів для DSO.

Таблиця 2 – Керівні принципи для розвитку DSO.

| Підтримує безпеку та надійність сітки                                                                              | Забезпечує енергетичний перехід, що полегшує перехід споживачів до низьковуглецевого майбутнього за найнижчою ціною              | Визначає найбільш економічні рішення для споживачів енергії                                                                                                                                                                                                                                        |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Безпечно розвиває та експлуатує активну систему розподілу, що включає мережі, попит, генерацію та інші гнучкі ПЕД. | Створює рівні умови для нових і існуючих гнучких технологій, провайдерів і рішень і доступу до широкого спектру потоків доходів. | Сприяє проектуванню ринків, що поєднують місцеві, регіональні, національні та міжнародні рішення, які є найкращими для клієнтів.                                                                                                                                                                   |
| Приймає до уваги двосторонні енергетичні потоки та більшу переривчастість постачання.                              | Інтегрує всі типи генерації та готує та полегшує поглинання електростанцій.                                                      | Дозволяє новим локальним ринкам здійснювати однорангову торгівлю, що дає всім учасникам, незалежно від того, чи можуть вони бути покупцями, агрегатори, традиційні гравці або треті сторони, рівний доступ до енергетичного ринку, не ставлячи під загрозу стійкість мережі або безпеку постачання |
| Координує обмін інформацією між DSO і операторами системи передачі, щоб збалансувати всю систему.                  | Оптимізує рішення щодо інвестицій у мережу, використовуючи альтернативні гнучкі рішення.                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Забезпечує, використовує та координує послуги гнучкості, щоб збалансувати локальну мережу.                         |                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |

Фінансові стимули для інновацій повинні заохочувати DSO до прийняття та впровадження нових технологій та підходів, мінімізуючи фінансові ризики. Підтримка наукових досліджень і розробок, яка орієнтована на технологічні інновації, дозволить DSO виконувати свою роль як нейтральний посередник ринку та надавати послуги з розумної мережі.

Перехід до DSO 2.0 означатиме взаємодію з політиками і регуляторів для визначення нових ролей і функцій DSO. Це нові функціональні зони вимагають нових підходів до традиційних програми та можливості[9,10]:

1. Системні операції: Це дозволить створити видимість над потужністю потоків, навантажень і з'єднань на рівні розподілу. Рішення Smart Grid дозволять візуалізувати дані, відправляти їх моделювання та оптимізація довгострокових активів. В той же самий час, DSOs повинні розширити розгортання датчиків через мережу для моніторингу на всіх рівнях напруги, включаючи віддалений моніторинг, управління та автоматизацію даних обмінів.

2. Планування мережі: Цей процес створить інтегрований набір розширених моделей мережевого планування та методів оцінки відновлювальних джерел енергії. Узгоджений підхід системні операції, обмін інформацією та планування на рівень передачі допоможе зберегти енергію, що протікає через всю систему, а не тільки локальну мережу.

3. Управління активами: DSO повинні пройти перевірку та підтвердити а повний набір сучасних інструментів роботи з мережею. Це вимагатиме розширеного спілкування можливостей для виявлення та реагування на зміни в навантаженні та моніторингу продуктивності мережі в реальному часі.

4. Управління системою: Ця функція здійснює аналіз чутливості, щоб зрозуміти масштаби та вплив впровадження відновлювальних джерел енергії на мережу та необхідність зменшення ризику. Це допоможе встановити та визначити пріоритети інвестицій у навички.

5. Управління гнучкістю: Ця можливість буде розробляти платформи для забезпечення гнучкості послуг для найбільш економічно ефективної роботи системи. Вона включатиме нові ринкові рамки для допоміжних послуг для заохочення участі власників та агрегаторів ПЕР в координації з DSO.

6. Комерційні операції: DSO повинні будувати цифрові інформаційні канали для клієнтів і постачальників і розробляти оцифровані платформи для спрощених запитів, підключень і установок для клієнтів.

Основні можливості, необхідні для майбутнього DSO, в операціях та управлінні системами, мережевому плануванні, управлінні активами, комерційній діяльності та операціях з клієнтами відображено у таблиці 3. Деякі з них - це вдосконалення або розширення існуючих операцій як оператори локальних мереж; інші будуть новими для ролі DSO 2.0.

Таблиця 3 - Функції та діяльність DSO 2.0

| Координація системи                                                                                                            | Планування мережі                                                                         | Відновлення системи та захисту                                                         | Управління даними                                                                                                     | Закупівля гнучкості                                                                                                                        |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Управління місцевими та регіональними зонами балансування для задоволення потреб клієнтів та сприяти інтеграції всієї системи. | Управління мережею розподілу електроенергії для підтримки безпечної та безпечної системи. | Підтримка безпеки всієї системи шляхом надання місцевих і регіональних гнучких послуг. | Управління обміном даними з інтелектуального обліку та інших джерел даних                                             | Координація або розміщення платформи для забезпечення гнучкості в розподільчій мережі.                                                     |
| Надання послуг                                                                                                                 | Інвестиційне планування                                                                   | Підключення та права доступу                                                           | Спрощення ринку послуг                                                                                                | Завантажувальна мережа                                                                                                                     |
| Координація послуг від широкої мережі з метою максимального використання всієї системи                                         | Визначення та забезпечення вимог до потужності електричної мережі.                        | Забезпечення справедливий і економічний доступ до мережі розподілу.                    | Взаємодія з операторами системи передачі з метою розвитку ринків послуг локальної мережі та оптимізації всієї системи | Розробити механізми зарядки, які дають змогу ринку ефективно реагувати на фізичні обмеження, що передують будь-якій потребі втручання DSO. |

### Аналіз шляхів та програм розвитку регіональних енергетичних систем.

На даний час в регіонах України та в Російській Федерації діють Програми розвитку регіонів на 2018-2025 рр. Підвищення ефективності і надійності функціонування комунальної енергетики регіону планується здійснити шляхом модернізації тепло-генеруючого обладнання, залучення в енергетичний обіг вторинних поновлюваних джерел енергії, впровадження сучасних енергоефективних технологій та устаткування на засадах сталого

розвитку. Залучення в енергобаланс вторинних поновлюваних енергоресурсів розглядається як один з інструментів підвищення енергонезалежності регіону.

**Розвиток регіональної енергетичної системи міста Києва.**

Регіональна цільова економічна програма енергоефективності у місті Києві, а саме План заходів на 2016-2018 рр. з реалізації Стратегії розвитку міста Києва до 2025 р розроблена відповідно до Стратегії сталого розвитку України на період до 2030 року [11]. Ця програма містить досить вичерпний аналіз можливостей використання потенціалу розвитку області. В ній чітко окреслені заходи з розвитку. Відповідно до програми заплановані такі заходи:

- впровадження енергозберігаючих технологій
- комплексна термосанация будівель бюджетної сфери м. Києва
- встановлення сучасних приладів обліку споживання електричної енергії в харчоблоках, які забезпечать можливість дистанційного збору даних для здійснення оперативного контролю та аналізу за споживанням
- модернізація теплового обладнання у харчоблоках
- будівництво кабельної лінії електропередачі 110 кВ "Новокиївська-Московська" від підстанції "Московська" до підстанції "Новокиївська";
- будівництво ліній електропередачі 110 кВ "ТЕЦ-5 - Славутич - Позняки" з комплектною розподільною установкою елегазовою (КРУЕ) 110 кВ підстанції "Позняки"
- будівництво кабельної лінії електропередачі 110 кВ "Західна - І черга живлення ПС "ВУМ".

**Розвиток регіональної енергетичної системи Київської області.**

У Київській області на даний час діє Обласна комплексна програма енергоефективності та енергозбереження на 2018–2025 рр. [11]. Основною метою впровадження є реалізація програми технічної реконструкції виробництва, сформульованої у інвестиційних планах, - через впровадження прогресивних технологій виробничих процесів, удосконалення організаційної структури, перехід на більш високий рівень організації виробництва шляхом залучення інвестицій.

В основу Програми покладено впровадження інвестиційних планів, що спрямовані на досягнення максимального ефекту зі скорочення рівня технологічних витрат електроенергії (далі – ТВЕ) - комплексу організаційних та технічних заходів із зниження ТВЕ, що в свою чергу включає[11,12]:

- впровадження організаційних та технічних заходів із зниження технологічних витрат електроенергії;
- проведення реконструкції та відновлювальних робіт в електромережах та заміна застарілого обладнання;
- залучення інвестицій для розвитку та досягнення високого технічного та економічного рівня Компанії;
- підвищення рівня надійності електропостачання споживачів області електроенергією;
- впровадження автоматизованої системи комерційного обліку споживання електроенергії (АСКОЕ) периметру енергопостачальної компанії, АСКОЕ споживачів та підстанцій;
- модернізацію діючого устаткування в рамках інвестиційних планів розвитку електричних мереж.

У всіх областях України діє потужний міжнародний проект «Місцевий розвиток, орієнтований на громаду», що фінансується Європейським Союзом та Програмою розвитку Організації Об'єднаних Націй за сприяння органів місцевого самоврядування. Одним із його напрямів є проекти з підвищення енергоефективності на місцевому рівні, до яких належить і

використання місцевих відновлюваних джерел енергії та заходів направлених на розвиток регіональних енергетичних систем.

**Розвиток регіональної енергетичної системи Белградської області.**

Натомість, для порівняння розвитку регіональних програм розглянемо заходи, які впроваджено в таких регіонах як Белградська область та місто Москва.

У Програмі Белградської області проаналізовано стан енергоефективності економіки області, визначено проблеми та мету цієї програми: зменшення енергоємності виробництва одиниці продукції, виконаних робіт, наданих послуг; скорочення рівня невиробничих втрат паливно-енергетичних ресурсів тощо. Декотрі із заходів, які наведено[12]:

- реконструкція та модернізація електростанцій на наступних видах палива: газ, тверде паливо, мазут
- реконструкція повітряних ліній середньої і низької напруги 35-0,38 кВ
- реконструкція кабельних ліній середньої і низької напруги 35-0,38 кВ;
- протяжність КЛ середньої напруги 35-6 кВ, що виводяться на реконструкцію;
- протяжність КЛ низької напруги 0,38 кВ, що виводяться на реконструкцію;
- реконструкція повітряних ліній високої напруги 110 кВ і вище;
- реконструкція та (або) розширення підстанцій;
- сумарна встановлена потужність підстанцій, виведених на реконструкцію і (або) розширення;
- впровадження АСКУЕ у споживачів електроенергії;
- заміна однофазних індукційних електролічильників класу точності 2.5 на нові прилади з класом точності (2.0 або 1.0);
- енергозбереження та підвищення енергетичної ефективності на енергоємних промислових виробництвах;
- реалізація типових проектів в галузі енергозбереження та підвищення енергетичної ефективності в промисловості.

**Розвиток регіональної енергетичної системи в місті Москва.**

Формування в місті Москві енергоефективного суспільства - це стратегія розвитку її економіки інноваційним шляхом. Перехід до «екологічного варіанту» розвитку міста повинен бути здійснений в найближчі роки, інакше економічне зростання буде гальмуватися через брак і дорожнечу енергії. Москва має широкі можливості для такого переходу. Відповідно до програми заплановані такі заходи [13-16]:

- будівництво та реконструкція електромережевого господарства розподільчих електричних мереж 6-20 кВ;
- реконструкція РЗА РТП 10 кВ;
- модернізація обладнання та каналів зв'язку захисту ліній (РЗА) 110/220 кВ на енергооб'єктах використовуючи швидкодіючі захисти ліній типу REL551, RED 670;
- підвищення енергоефективності метрополітену;
- реконструкція ПС 220 кВ "Мневники" з впровадженням надпровідникового струмообмежувального прибору;
- модернізація газових електростанцій;
- модернізація централізовано опалювальних будівель сфери послуг;
- модернізація систем гарячого водопостачання сфери послуг;
- модернізація систем освітлення в житлових будівель.

**Співставлення та аналіз впроваджених заходів, щодо розвитку регіональних енергетичних систем.**

Досвід розробки регіональних програм розвитку енергетики заслуговує окремої уваги, адже від них великою мірою залежить просування проектів з використання відновлюваної

енергетики, залучення нових технологій та впровадження багатьох заходів з енергозбереження на регіональному й місцевому рівнях.

Зменшення енергоємності продукції та послуг програмами передбачається досягти за рахунок впровадження сучасних технологій, устаткування і обладнання, а також зменшення втрат енергоресурсів. Впровадженні заходи у регіонах проаналізовано у таблицях 3 та 4, де співставленні схожі впроваджені заходи і містах Києва та Москви, і в Київській та Белгородській областях [10-16].

Таблиця 4 – Співставлення впроваджених заходів у Києві та Москві

| Назва регіону | Схожі впровадженні заходи, що направлені на розвиток системи                                   | Інші впровадженні заходи по регіонам                                                                                                        | Вартість впроваджених заходів, млн грн |
|---------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|
| м. Київ       | Технічний розвиток, модернізація та будівництво електричних мереж та обладнання                | Відшкодування частини суми кредиту, залученого об'єднанням співвласників багатоквартирних будинків на впровадження енергоефективних заходів | 117 986 182                            |
|               | Заходи по зниженню та/або недопущенню понаднормованих витрат електроенергії                    | Впровадження АСКОВ для споживачів-юридичних осіб                                                                                            |                                        |
|               | Впровадження та розвиток автоматизованих систем диспетчерсько-технологічного керування (АСДТК) | Впровадження АСКОВ на межі балансової належності мереж із учасниками ОРЕ.                                                                   |                                        |
| м. Москва     | Модернізація газових електростанцій                                                            | Побудова ізольованих введів в індивідуальні житлові будівлі.                                                                                | 1 320 366 558                          |
|               | Модернізація централізовано опалювальних будівель сфери послуг                                 | Підвищення енергоефективності залізничного транспорту                                                                                       |                                        |
|               | Модернізація систем гарячого водопостачання сфери послуг                                       | Підвищення енергоефективності метрополітену                                                                                                 |                                        |
|               | Модернізація систем освітлення в житлових будівлях                                             | Переведення автобусів на гібридні аналоги                                                                                                   |                                        |
|               | Модернізація котелень                                                                          | Переведення легкових автомобілів на гібридні аналоги                                                                                        |                                        |

Таблиця 5 – Співставлення впроваджених заходів у Київській та Белгородській областях

| Назва регіону       | Схожі впровадженні заходи, що направлені на розвиток системи                          | Інші впровадженні заходи по регіонам                                                                                                                                                                                                                      | Вартість впроваджених заходів, млн грн |
|---------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|
| Київська область    | Технічний розвиток, модернізація та будівництво електричних мереж та обладнання       | Модернізація програмно-технічних засобів автоматизації оперативно-диспетчерського управління – оперативно інформаційного комплексу (ОІК), системи телевимірювань, телесигналізації на диспетчерських центрах Компанії – в мережах 110-35кВ та 10-6-0,4кВ. | 224 171 164                            |
|                     | Заміна теплових мереж за новими технологіями                                          | Оптимізація схем нормальних режимів експлуатації електричних мереж.                                                                                                                                                                                       |                                        |
|                     | Заміна двигунів в системах водопостачання і водовідведення на енергоефективні         | Зниження часу експлуатації неоптимальних схем розподілу та постачання електроенергії, за рахунок скорочення тривалості виконання ремонтних та аварійно-відновлювальних робіт.                                                                             |                                        |
| Белградська область | Впровадження частотно-регульованого приводу                                           | Реконструкція та модернізація електростанцій на наступних видах палива: газ, тверде паливо, мазут                                                                                                                                                         | 1 811 412 000                          |
|                     | Оснащення приладами обліку використовуваних енергетичних ресурсів                     | Реконструкція повітряних ліній середньої і низької напруги 35-0,38 кВ                                                                                                                                                                                     |                                        |
|                     | Комплексний енергозберігаючий капітальний ремонт багатоквартирних житлових будинків   | Заміна двигунів в системах водопостачання і водовідведення на енергоефективні                                                                                                                                                                             |                                        |
|                     | Частка утеплених квартир                                                              | Впровадження частотно-регульованого приводу                                                                                                                                                                                                               |                                        |
|                     | Частка компактних люмінесцентних ламп і світлодіодів в системах квартирної освітлення | Оснащення приладами обліку використовуваних енергетичних ресурсів                                                                                                                                                                                         |                                        |

Впровадженні заходи, щодо розвитку регіональної енергетичної системи відповідають концепції Smart Grid, яка відповідає меті програм розвитку регіональної енергетичної системи. Впровадження технології Smart Grid також означає фундаментальну реорганізацію електроенергетичної галузі щодо:

- забезпечення безперебійної роботи електричної мережі в умовах зростання навантаження;
- скорочення втрат електроенергії за рахунок впровадження систем «інтелектуального» обліку з можливістю оцінки якості електроенергії та обмеження навантаження;
- розвиток комунікаційного середовища, здатного надійно і якісно підтримувати двонаправлений інформаційний обмін між постачальниками і споживачами енергоресурсів.

**Висновки.** У роботі проведено аналіз ключових показників та шляхів розвитку регіональних енергетичних систем, які наведено в регіональних програмах. Основною метою розвитку регіональної електроенергетики є підвищення ефективності енергетичного комплексу суб'єктів при безумовному забезпеченні його енергетичної

1 Закріплення на законодавчому рівні впровадження концепції Smart Grid – це ефективний метод модернізації енергетичного сектора, реформування енергетичних ринків, покращення конкурентоспроможності енергетичної галузі, створення нових робочих місць та прискорення економічного зростання. Так як, Smart Grid, дозволяють DSO контролювати електроенергію, що протікає в мережах. DSO можуть адаптуватися до мінливих умов, автоматично змінюючи конфігурацію мережі та контролюючи підключений попит та розподілену генерацію.

2 Перехід до DSO 2.0 означатиме взаємодію з політиками і регуляторів для визначення нових ролей і функцій DSO. Вони повинні розвиватися, стаючи все більш активними менеджерами мережі. Для цього DSO потребують більшого інструментарію та адаптованої законодавчої та регуляторної бази, що у свою чергу впливає на розвиток енергетичної системи. Регулюючі органи та політики повинні сприяти передбачуваному та стабільному поверненню інвестицій, наскільки це дозволяють національні умови, стимулюючи більш якісне обслуговування за допомогою значущих та досяжних цілей та результатів для DSO. Для інновацій фінансові стимули повинні заохочувати DSO до прийняття та впровадження нових технологій та підходів, мінімізуючи фінансові ризики. Підтримка наукових досліджень і розробок, яка орієнтована на технологічні інновації, дозволить DSO виконувати свою роль як нейтральний посередник ринку та надавати послуги з розумної мережі.

#### Список літератури

- [1] SMART GRID [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.oe.energy.gov/smartgrid.htm>.
- [2] 10 кроків до Smart Grid [Електронний ресурс]. – Режим доступу : [www.eurelectric.org](http://www.eurelectric.org).
- [3] З чого починається зміна, якщо вже вирішено майбутнє? [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://www.eurelectric.org/media/3637/ey-report-future-of-dsos.pdf>
- [4] Перелік основних нормативно-правових актів регулювання питань енергоефективності та енергозбереження [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/uk/doccatalog/list?currDir=208607>.
- [5] Стан і перспективи розвитку технологій «інтелектуальних» електромереж, управління попитом та систем режимного управління в умовах розвитку поновлюваних джерел енергії у зарубіжній енергетичній сфері [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://ua.energy/wp-content/uploads/2018/04/1.-Stan-rozvytku-smart-grid.pdf>
- [6] Єрмілов С.Ф., Гасць В.М., Яценко Ю.П., Григоровський В.В. / Енергоефективність як ресурс інноваційного розвитку : Національна доповідь про стан та перспективи реалізації державної політики енергоефективності у 2008 році / [Ліп В.Е. та ін.]. – К. : НАЕР, 2009. – 93 с

- [7] DSO ПРЕОРИТЕТИ ДЛЯ СТАНДАРТИЗОВАНИЙ SMART GRID [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://www.edsoforsmartgrids.eu/wp-content/uploads/public/DSO-Priorities-Smart-Grid-Standardisation.pdf>
- [8] Ролі DSO у сприянні участі споживачів на ринку [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://www.ceer.eu/documents/104400/-/-/cf33cb12-82bf-afc0-9b02-09afc46b0526>
- [9] Моделювання переходу DSO з використанням моделі архітектури Smart Grid [Електронний ресурс]. – Режим доступу : [http://www.energynetworks.org/assets/files/Modelling-DSO-Transition-Using-SGAM\\_Issue2.1\\_PublicDomain.pdf](http://www.energynetworks.org/assets/files/Modelling-DSO-Transition-Using-SGAM_Issue2.1_PublicDomain.pdf)
- [10] План заходів на 2016-2018 рр. з реалізації Стратегії розвитку міста Києва до 2025 р. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://old.kyivcity.gov.ua/files/2016/12/2/Plan-Strategy-2025.pdf>.
- [11] Оновлення Енергетичної стратегії України на період до 2030 р. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://mpe.kmu.gov.ua/fuel/control/uk/publish/article?artid=222035>.
- [12] ПРОГРАМА енергозбереження (підвищення енергоефективності) Київської області на 2017 - 2020 роки [Електронний ресурс]. – Режим доступу : [http://koda.gov.ua/wp-content/uploads/2017/04/Proekt\\_Programi\\_3149.pdf](http://koda.gov.ua/wp-content/uploads/2017/04/Proekt_Programi_3149.pdf)
- [13] Проекту Спільного Впровадження «Модернізація системи розподільчих електромереж ПАТ «АЕС Київобленерго». [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.seia.gov.ua/seia/doccatalog/document?id=137441>.
- [14] ПАСПОРТ національної програми Російської Федерації «Енергозбереження та підвищення енергетичної ефективності на період до 2020 року» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://docs.cntd.ru/document/432818115>
- [15] ПРОГРАМА в області енергозбереження і підвищення енергетичної ефективності ВАТ «ЗЕК» на 2014 - 2019 рр. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://www.abok.ru/for\\_spec/articles.php?nid=3774](https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=3774)
- [16] ДЕРЖАВНА ПРОГРАМА МІСТА МОСКВИ «ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ В МІСТІ МОСКВА» НА 2012-2016 рр. І НА ПЕРСПЕКТИВУ ДО 2020 РОКУ [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://docs.cntd.ru/document/537928809>

**Nataliia Bespala, master ORCID 0000-0002-4466-6491**  
**National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"**

*The article analyzes the peculiarities of regional programs and strategies in which the issues of development of local energy systems are considered. A comparative description of some regional programs for the development of local energy systems is presented. An analysis of regional programs with the purpose.*

**Key words:** energy efficiency, modernization, power system, regional program, Smart Grid, development of local power systems, DSO.

УДК 620.91: 697.1

Гетманчук Г.О., магістрант 6 курсу, гр. ОТ-81мн  
Науковий керівник: Білоус І.Ю., ас.

**РОЗРАХУНОК КРАТНОСТІ ПОВІТРООБМІНУ ТА ЇЇ ВПЛИВ НА  
ЕНЕРГОПОТРЕБУ БУДІВЛІ  
CALCULATION OF MULTIPLICITY OF AIR EXCHANGE AND ITS INFLUENCE  
ON THE ENERGY DEMAND OF BUILDINGS**

***Анотація:** В світовому енергобалансі на функціонування будівель витрачається найбільша частка енергоносіїв, ледь частка з яких припадає на теплову енергію. Особливість будівель в Україні в тому, що близько 80% не відповідають сучасним вимогам енергоефективності. Дана наукова робота спрямована на удосконалення методів та засобів моделювання енергетичного стану будівель з урахуванням експлуатаційних факторів із застосуванням динамічних сіткових моделей*

**Ключові слова:** енергопотреба, динамічні сіткові моделі, кратність повітрообміну, інфільтрація.

***Abstract:** In the world energy balance on the functioning of buildings, the largest share of energy resources is consumed, the largest share of which falls on thermal energy. The feature of buildings in Ukraine is that about 80% do not meet the current requirements of energy efficiency. This scientific work is aimed at the improvement of methods and means of modeling the energy status of buildings taking into account operational factors using dynamic network models.*

**Key words:** power consumption, dynamic net models, multiplicity of air exchange, infiltration.

**Вступ.**

Ефективне використання енергоносіїв для України наразі є актуальною задачею, зважаючи на енергетичну залежність нашої держави. На функціонування будівель витрачається понад 40% енергоносіїв, основну частку складає теплова енергія. Переважна більшість будівель в Україні не відповідає сучасним вимогам енергоефективності. Європейські спеціалісти наразі активно застосовують методи моделювання на стадії проектних робіт та для проведення енергетичних аудитів, тому дана наукова робота є актуальною з наукової та практичної точки зору.

На енергетичні характеристики будівель має вплив ряд параметрів, таких як теплофізичні властивості оболонки, геометрія, теплонадходження від сонця та додаткові внутрішні, опалення, повітрообмін та особливості експлуатації.

Дослідження виконане моїми попередниками показали, що кратність найбільш суттєвий параметр який впливає на зміну внутрішньої температури повітря в приміщенні, а, відповідно, на базовий рівень енергоспоживання. При цьому кратність повітрообміну задається як нормативна стала величина, хоча даний параметр має динамічну природу і змінюється в залежності від зовнішніх та внутрішніх параметрів.

Світові тенденції оцінки енергетичної ефективності будівель спрямовані на зменшення часових інтервалів розрахунку. При цьому вихідні дані повинні бути відповідного кроку дискретизації.

**Мета та завдання.**

Підвищення ефективності управління використанням енергії на основі деталізації показників, розробки та удосконалення методів та засобів моделювання енергетичного стану

будівель, у тому числі врахування сукупності часової мінливості погодних та експлуатаційних факторів в динамічній сітковій моделі будівлі.

Завдання:

- провести аналіз кліматичних баз даних;
- провести узагальнення методики визначення кратності повітрообміну;
- розробити динамічну сіткову модель кімнати для визначення енергетичних характеристик будівлі;
- провести математичне моделювання енергопотреби будівлі для репрезентативної групи приміщень.

### **Об'єкт дослідження**

Об'єкт дослідження кімната – будівлі масової забудови 1970-х років.

Було обрано групу репрезентативних приміщень розташованих на північній (Пн) та південній (Пд) стороні будівлі на 1, 3 та 6 поверсі.

Розміри кімнати 5,5×6,1 м, висота приміщення 3,2 м. Кімната має одну зовнішню стіну (5,5×3,2 м) з вікном (5×2 м). Зовнішня стіна має термічним опір 0,8 м<sup>2</sup>°C/Вт (основний шар – цегляна кладка в одну цеглину). Вікно з подвійним застлінням у дерев'яних спарених плетіннях. Внутрішні стіни – цегляна кладка в пів-цеглини. Перекриття над опалювальними приміщеннями залізобетонні – 20 см. Вентиляція – природна. Будівля знаходиться в м. Києві. Проектна внутрішня температура повітря 18°C. Система опалення – повітряна. Коефіцієнт пропускання сонячних теплонадходжень світлопрозорих конструкцій в зону кімнати становить 0,56. Кліматичні погодинні дані для міста Київ використані з Міжнародного погодного файлу IWEC [1]. Сонячні теплонадходження в зону кімнати розраховані з використанням даних IWEC файлу на основі методики "Full interior and exterior with reflection", що враховує відбивання від поверхонь та ґрунту та інші не менш вагомні фактори.

### **Матеріал і результати досліджень.**

Для розрахунку енергетичних характеристик будівель в Україні використовуються кліматичні характеристики для відповідного регіону/обласного центру, середньорічні та середньомісячні показники зовнішньої температури, сонячних теплонадходжень на горизонтальну та вертикальні поверхні для, відповідно, стаціонарного та квазістаціонарного методів розрахунку.

В Україні все ширшого застосування набувають динамічні моделі визначення енергетичних характеристик будівель, які потребують використання погодинних кліматичних даних. Так як нормативної погодинної кліматології в Україні не існує, в роботі було використано кліматичні данні з файлу IWEC [1]. Погодинні значення з файлу IWEC [1] включають в себе температуру сухого термометра, швидкість та напрям вітру, повну, пряму (direct normal) та розсіяну (diffuse horizontal) сонячну радіацію на горизонтальну поверхню тощо. Для території України створено кліматичні IWEC файли типового року для міст Києва і Одеси у вільному доступі.

Як було відмічено, кратність повітрообміну найбільш суттєво впливає на зміну внутрішньої температури повітря. Проте повітрообмін дуже важко визначити експериментально. Навіть при однакових конструкціях вікон, з точки зору повітропроникності, природнім чином в приміщення потрапляє різна кількість повітря. В реальних умовах експлуатації значення повітрообміну динамічно змінюється та залежить від поверху будівлі, швидкості та напрямку вітру, зовнішньої температури, сонячних теплонадходжень та повітропроникності вікон.

Тому в роботі запропонована методика, яка створена на базі підходів [3-5]. За даною

методикою загальна різниця тисків в будівлі створюється трьома різними механізмами: ефект стека, тиску вітру, примусового тиску вентилятора механічної вентиляції.

За наведеною вище методикою та використавши міжнародний кліматичний IWEC файлу типового року для міста Києва, який наводить погодинні значення, було досліджено зміни тисків по висоті від стек ефекту, вінд ефекту та загальну різницю тисків в залежності від зміни таких параметрів як, температура зовнішнього повітря, напрямок та швидкість вітру.

На рис. 1 представлено графік профілів зміни тисків по висоті від стек ефекту, в залежності від зміни температури навколишнього середовища, при однакових значеннях коефіцієнту тиску вітру  $-0,35$  та швидкості вітру  $2-4$  м/с. З графіка видно, що від середини висоти будівлі перепад тиску по модулю збільшується зі зниженням температури. Як наведено в методиці ASHRAE [4-5], дане явище пов'язане з різницею густин між теплим і холодним повітрям і не залежить від орієнтації приміщення.

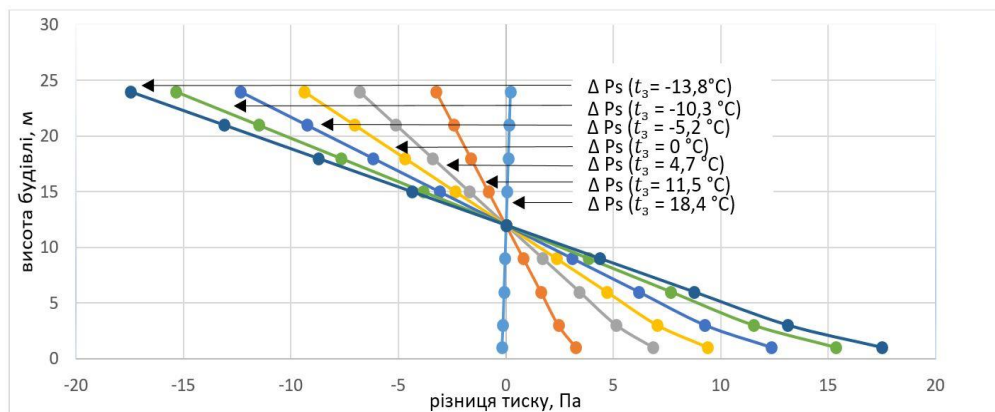


Рис. 1 – зміна тиску від стек ефекту в залежності від зміни температури повітря навколишнього середовища

На рис. 2 представлено графіки профілів зміни тисків від вітру на північну та на південну сторони, в залежності від поверху будівлі та напрямку вітру і, відповідно, коефіцієнту тиску вітру. Репрезентативними були обрані дні, в які швидкість вітру становила  $3$  м/с, а температура зовнішнього повітря  $-3^{\circ}\text{C}$ . З графіків видно, що величина зміни тиску від вітру зростає з висотою. З навітряної сторони будівлі величина вітряного тиску є додатною, а з підвітряної від'ємною.

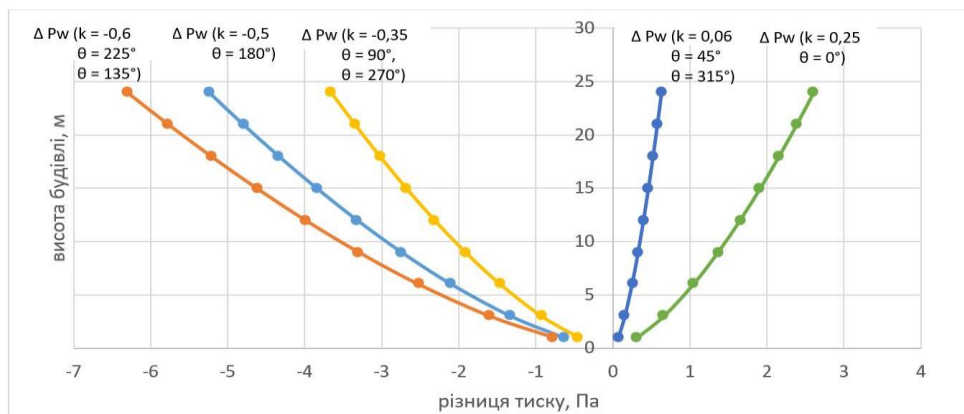


Рис. 2 - зміна тиску від вітру в залежності від зміни напрямку вітру на північну сторону

На рис. 3 представлено графік профілів зміни тисків від вітру на північну сторону в

залежності від зміни швидкості вітру для типового напрямку. Температура зовнішнього повітря в обрані для аналізу дні становить 3°C. Також було обрано два характеристичні/типові напрямки вітру для I температурної зони, а саме північний (рис.3) та північно-західний. З графіка видно, що різниця тиску вітру збільшується зі зростанням швидкості вітру.

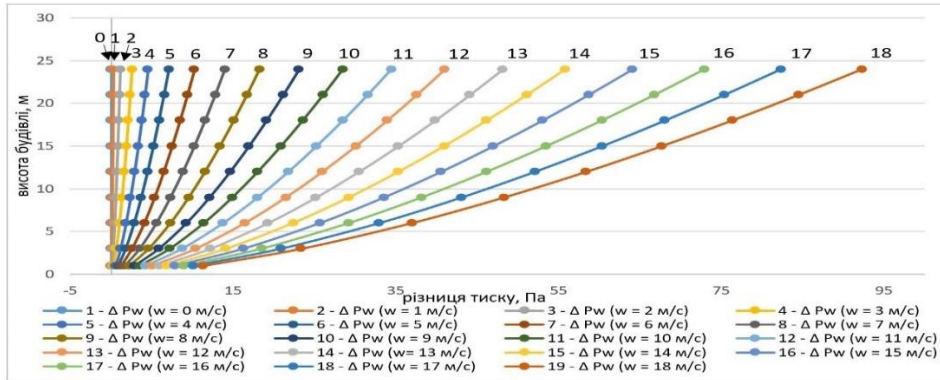


Рис. 3 - Зміна тиску від вітру в залежності від зміни швидкості вітру при північному напрямку вітру північній стороні будівлі

Так як примусової вентиляції в об'єкті досліджень немає, загальний тиск визначатиметься як сума різниці тисків від ефекту стека та різниці тиску від вітряного ефекту.

Розрахунок кратності повітрообміну проводився за наведеною вище узагальненою методикою [3-5] на основі погодинних даних кліматичного файлу IWEC типового року для міста Києва [1]. Погодинні результати усереднені до добових значень та представлені на рис. 4 для репрезентативних приміщень на 1, 3 та 6 поверхах будівлі Північної орієнтації.

Аналогічні розрахунки проводились і для південної орієнтації будівлі.

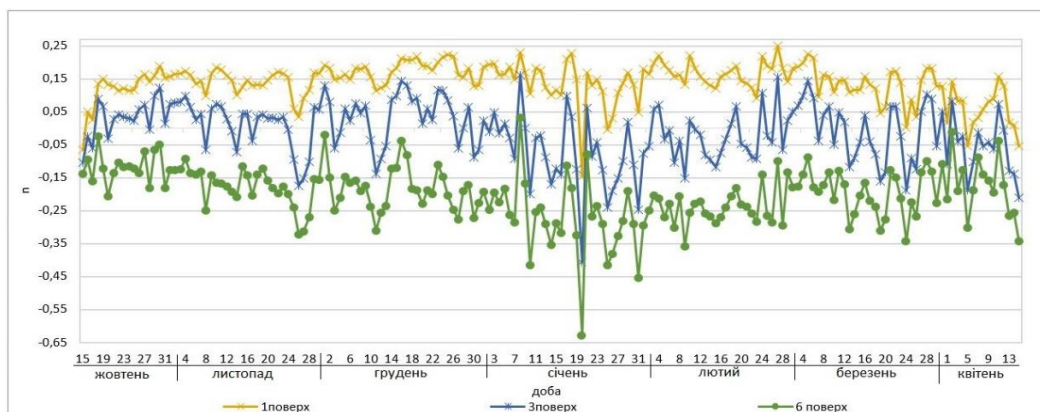


Рис. 4 – зміна кратності повітрообміну по місяцям за опалювальний період для північної орієнтації

На першому поверсі спостерігається явище інфільтрації (приплив свіжого повітря природнім чином через нещільності у віконних конструкціях), на середньому третьому поверсі по всіх місяцях кратність середньому близька до нуля, що пов'язано зі NPL будівлі (стек ефект), на шостому поверсі спостерігається ексфільтрація, що пояснює від'ємні значення кратності повітрообміну. Тобто на першому поверсі відбувається підсмоктування повітря, а на шостому його викидання.

З графіків видно, що величина кратності повітрообміну має змінний характер, це пов'язано з динамічною зміною температури навколишнього середовища, швидкості на напрямку вітру.

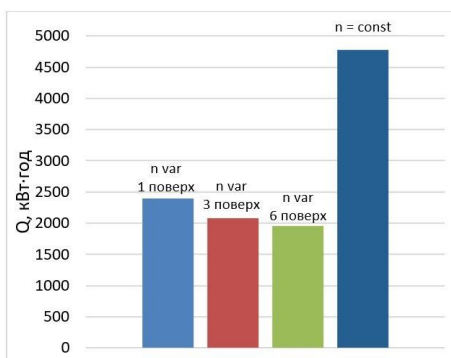
Для дослідження того, як кратність повітрообміну впливає на енергопотребу будівлі, була використана динамічна сіткова модель - п'ять опорів, одна ємність (5R1C) [6], що дозволяє реалізувати модель у спрощеному трьох вузловому погодинному методі.

Модель реалізована в середовищі Mathcad.

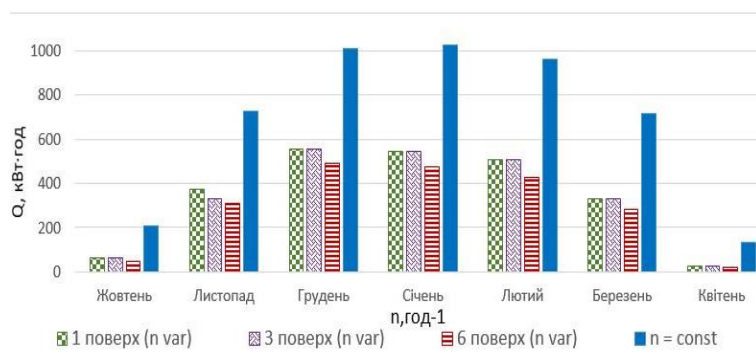
На основі цієї моделі [6] та погодинних даних сонячних теплонадходжень та температури зовнішнього середовища взятих з міжнародного файлу IWEC [1], та розрахованої кратності повітрообміну за методикою ASHRAE [4-5], було проведено погодинне моделювання репрезентативної групи приміщень.

Результати моделювання буди усереднені для річних та помісячних інтервалів для порівняння енергопотреби отриманої для нормативного значення та для даних отриманих розрахунковим чином.

На рис. 5 (а) наведено річну енергопотребу репрезентативних кімнат на різних поверхах будівлі північної орієнтації. За базовий рівень обрано енергопотреба розрахована для нормативної кратності повітрообміну. Різниця між базовим рівнем при  $n=\text{const}$  і розрахунковими даними  $n=\text{var}$  значна, наприклад, енергопотреба кімнати з південною орієнтацією на першому поверсі на 62,2 % менша від базового рівня, на третьому на 69,5%, на шостому на 73,41%, для кімнат орієнтованих на північ на першому поверсі на 49,9%, на третьому на 56,5%, на шостому на 59,0%.



а)



б)

Рис. 5 - Енергопотреба на опалення репрезентативних приміщень північної орієнтації в річному (а) та помісячному (б) розрізі

На рис. 5 (б) наведено помісячну енергопотребу репрезентативних кімнат на північну орієнтацію при  $n=\text{const}$  та  $n=\text{var}$ , отримане на основі узагальненої методики ASHRAE.

З графіка видно, що різниця між базовим рівнем при  $n=\text{const}$  і розрахунковими даними  $n=\text{var}$  в період міжсезоння в приміщеннях орієнтованих на північ сягає 80%, а холодні місяці близько 50%. В приміщеннях орієнтованих на південну сторону в період міжсезоння взагалі немає споживання теплової енергії, адже втрати теплоти на підігрів інфільтраційного повітря невеликі, а сонячні теплонадходження значні, тому вікна слугують як пасивна система опалення.

На рис. 6 наведено погодинне навантаження на систему опалення для нормативного значення кратності повітрообміну та розрахункового.

Енергопотреба при  $n=\text{const}$  обрана за базовий рівень і від нього розраховується економія впровадження енергозберігаючих заходів, проте в реальності, за рахунок природної вентиляції (нещільностей у віконних конструкціях), надходження свіжого повітря в зону кімнати значно зменшуються, а відповідно зменшується і енергопотреба будівлі.

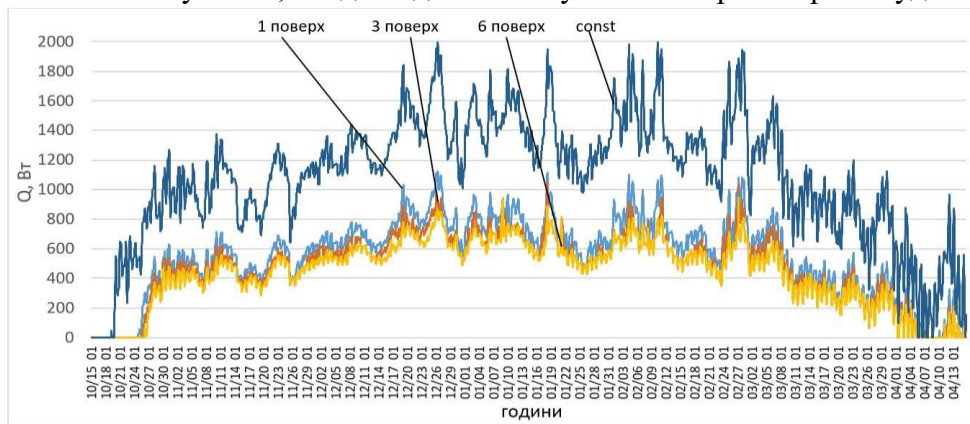


Рис. 6 – Погодинне навантаження на систему опалення репрезентативних приміщень розташованих на північній орієнтації будівлі

### Висновки.

Створено динамічну імітаційну модель кімнати на основі підходів стандартів ДСТУ Б EN ISO 13790:2011 та EN ISO 13786:2007. На основі створеної динамічної математичної моделі кімнати досліджено вплив динамічної зміни кратності повітрообміну на енергопотребу будівлі. Проведено співставлення відмінності питомої енергопотреби розрахованої для  $n=\text{const}$  та розрахованого значення ( $n=\text{var}$ ). Відмінність енергопотреби може становити до 50%, в порівнянні з базовою лінією.

### Список літератури.

1. International Weather for Energy Calculations [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: [https://energyplus.net/weather-location/europe\\_wmo\\_region\\_6/UKR](https://energyplus.net/weather-location/europe_wmo_region_6/UKR).
2. ФАЙЛИ ASHRAE INTERNATIONAL WEATHER ДЛЯ РОЗРАХУНКІВ ЕНЕРГІЇ 2.0 (IWEC2) [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.ashrae.org/technical-resources/bookstore/ashrae-international-weather-files-for-energy-calculations-2-0-iwec2>
3. BERGE A. Analysis of Methods to Calculate Air Infiltration for Use in Energy Calculations. Sweden 2011. 98 p.
4. ASHRAE Standard 62.2-2003 Ventilation and Acceptable Indoor Air Quality in Low-Rise Residential Buildings.
5. ASHRAE Fundamentals Handbook. 1997. P. 85
6. Білоус І.Ю. ОЦІНЮВАННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ БУДІВЛІ В УМОВАХ ДИНАМІЧНОЇ ЗМІНИ ХАРАКТЕРИСТИК СЕРЕДОВИЩА: автореф. дис. канд. тех. наук: 19.02.2019 / КПІ імені Ігоря Сікорського. Київ, 2019. 20 с.
7. ДСТУ Б EN ISO 13790:2011. Енергоефективність будівель. Розрахунок енергоспоживання при опаленні та охолодженні (EN ISO 13790:2008, IDT). [На заміну ГОСТ 26629.85; чинний з 01.01.2013]. К. : НДІБК, 2011. 229 с.
8. EN ISO 13786:2007. Thermal performance of building component - Dynamic thermal characteristics - Calculation methods. — CEN. European Committee for Standardization, 2007. 27 p.

УДК 697.1

Дешко В. І., д-р техн. наук, проф.

Суходуб І. О., канд. техн. наук.

Яценко О. І., аспірант

Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

## ПЕРЕРИВЧАСТІ РЕЖИМИ РОБОТИ СИСТЕМИ ОПАЛЕННЯ ЖИЛОГО ПРИМІЩЕННЯ

*У даній роботі досліджено вплив переривчастого режиму опалення на рівень споживання теплової енергії на основі енергетичної моделі квартири. Також, наведені результати практичного дослідження фактичного профілю температури в квартирі для робочого та вихідного днів. За результатами моделювання визначена економія теплової енергії від застосування переривчастого режиму опалення.*

**Ключові слова:** енергозбереження, переривчасте опалення, енергетичне моделювання, EnergyPlus.

*In this paper the impact of intermittent heating modes on energy consumption in apartment is investigated by energy modelling. Also, results of practical research of actual temperature profiles were presented for weekday and weekend. According to the simulation results, heat energy savings from the use of intermittent heating mode are determined.*

**Key words:** energy saving, intermittent heating, building energy modelling, EnergyPlus.

### Вступ

В останні роки необхідність скорочення обсягів використання природних ресурсів, а також споживання енергії, призвела до необхідності вивчення нових аспектів енергоефективності в житлових і громадських будівлях. Нормативні акти, що діють у багатьох європейських країнах, дотримуються двох стратегій, які, як правило, включають підвищення теплоізоляційної здатності огорожувальних конструкцій та зменшення тривалості роботи опалювальних приладів протягом доби [1].

Одним з найбільш ефективних методів економії теплової енергії, при забезпеченні комфортних температурних умов, є використання переривчастого режиму для системи опалення. Такий режим полягає у зниженні температури, та відповідно теплового навантаження, системи опалення в неробочі години. Основною причиною відсутності широкого розповсюдження даного підходу в будівлях є низький рівень розкриття цього методу в літературі, а також невелика кількість практичних результатів впровадження. Недостатньо також і науково-обґрунтованих рекомендацій, які стосуються раціонального вибору переривчастого режиму.

Добовий режим роботи переривчастої системи опалення умовно можна розділити на три періоди:

- початок роботи системи опалення (період натопу), під час якого температура у приміщенні підвищується від мінімально допустимої до розрахункової внутрішньої температури;

- період усталеного режиму, під час якого в приміщенні підтримується стала температура внутрішнього повітря;
- завершення роботи системи опалення (період остигання), під час якого температура у приміщенні знижується до мінімально допустимої.

У роботі [2] розглянуто різні режими переривчастого опалення та визначено економію при їх застосуванні.

Тепловий потік під час розігріву приміщення набагато більше ніж під час усталеного режиму. Тож величина додаткової потужності системи опалення при переривчастому опаленні в нормальному та економічному режимах залежить від наступних показників [3]:

- кількість часу, необхідного для досягнення розрахункової внутрішньої температури;
- величина зниження внутрішньої температури по відношенню до розрахункової;
- теплоакуюча здатність будівлі;
- повітрообмін під час розігріву.

У роботі [4] оптимізовано споживання енергії комбінованої системи теплопостачання в умовах переривчастого режиму. В роботі також встановлено, що необхідно забезпечити максимальну продуктивність системи опалення в період нагрівання. У той же час визначено, що найбільша економія досягається для будинків з низькою теплоємністю. Таким чином необхідно розробити такий енергозберігаючий підхід, який забезпечить максимальну економію теплової енергії при мінімальних капітальних і експлуатаційних витратах. Ефективність оптимального переривчастого режиму опалення також досліджено у роботах [2, 5, 6].

Аналіз ефективності переривчастого режиму роботи системи опалення здійснюється за допомогою різних методів з урахуванням тих чи інших впливових факторів. Одним з таких методів є квазістаціонарний підхід. Згідно з [7], цей метод розрахунку може надати лише приблизну оцінку енергетичної ефективності, так як не враховує накопичувальну здатність огорожувальних конструкцій будівлі, а лише їх опір теплопередачі. Цей метод розрахунку доцільно використовувати для визначення споживання енергії при переривчастому режимі роботи системи опалення в будівлях з відносно легкими конструкціями, а також в будівлях з великою площею застління. В роботі [8] показано вплив динамічних характеристик матеріалів огорожувальних конструкцій на енергоспоживання в умовах переривчастого режиму. Процес охолодження будівлі при припиненні теплопостачання детально досліджується в роботі [9].

Відомо, що швидкість досягнення комфортної внутрішньої температури на початку роботи системи опалення не регулюється нормами. Тому довжину перехідних процесів у переривчастому режимі можна розрахувати за допомогою динамічного підходу. Такий підхід враховує опір теплопередачі огорожувальних конструкцій та внутрішніх перегородок, а також їх динамічні характеристики. Сучасне спеціалізоване програмне забезпечення для аналізу енергоспоживання будівель зазвичай використовує динамічний підхід для досягнення високоякісних результатів.

### **Мета та завдання**

Метою даної роботи є представлення практичних даних, отриманих в результаті аналізу переривчастого режиму опалення житлового приміщення, з метою підтвердження ефективності такого заходу. Відповідно до поставленої мети головним завданням є дослідження економії від реалізації переривчастого режиму. Для створення моделі житлового приміщення використовується програмне забезпечення для енергетичного моделювання EnergyPlus.

### Опис досліджуваного приміщення та режиму опалення в ньому

Об'єктом дослідження є реальна квартира у місті Києві. План квартири наведений на рисунку 1. Квартира поділена п'ять зон за призначенням кімнат: дві спальні, кухня, ванна кімната та хол.

Теплопередача в приміщенні квартири здійснюється за наступним принципом. Тепло від опалювальних приладів потрапляє в кімнати шляхом випромінювання та конвекції, повітря накопичує частину тепла, а інша частина передається внутрішнім та зовнішнім конструкціям. Теплообмін через огорожувальні конструкції відбувається шляхом конвекції та теплопровідності. Через ідентичні температурні умови в сусідніх квартирах, стіни, стеля та підлога, прилеглі до інших квартир, приймаються адіабатними.

Модель приміщення створена в програмному забезпеченні DesignBuilder, яке використовує двигун EnergyPlus для виконання динамічного моделювання енергетичних потоків. Програмне забезпечення враховує теплову інерційність конструкцій, теплові та масові перетоки між зонами, а також інженерні системи будівлі, включаючи системи опалення та вентиляції [10].

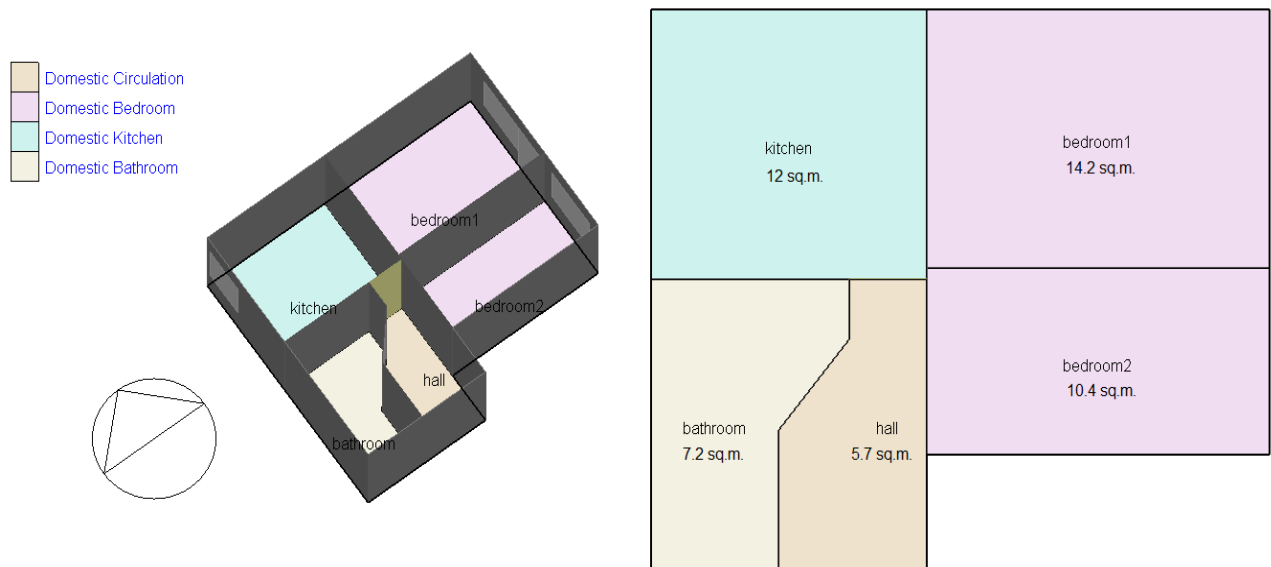


Рисунок 1 – Програмна модель квартири, поділена на зони:  
спальня 1, спальня 2, кухня, ванна кімната, хол

Основні розмірні параметри та теплотехнічні характеристики зовнішніх огорожувальних конструкцій квартири наведено в таблиці 1.

Таблиця 1 – Характеристики конструктивних елементів приміщення

| Конструктивні елементи  | Матеріали конструкцій                                              | U, Вт/(м²·К) |
|-------------------------|--------------------------------------------------------------------|--------------|
| Зовнішні стіни          | Зовнішнє оздоблення 10 мм<br>Мінеральна вата 50 мм<br>Цегла 400 мм | 0,479        |
| Вікна та балконні двері | Двохкамерні з напленням та аргонном, профіль 5-камерний            | 1,064        |
| Внутрішні перегородки   | Цегла 125 мм                                                       | -            |

Опалення квартири здійснюється від індивідуального джерела – газового водогрійного котла. Котел обладнаний автоматикою, яка дозволяє регулювати виробництво тепла в залежності від внутрішньої і зовнішньої температури. Всі кімнати в квартирі опалюються.

Окрім інженерних систем, модель квартири в EnergyPlus враховує внутрішні теплові надходження від людей, системи освітлення та електричного обладнання, а також повітрообмін у кімнатах. Програма дозволяє задавати графіки внутрішніх параметрів та роботи інженерних систем [10].

Температурний режим в квартирі протягом опалювального періоду підтримується на рівні 16-22 °С. Фактично, заданий режим опалення відповідає графіку зайнятості. Одним з критеріїв тривалості переривання теплопостачання та пов'язаного з ним зниження температури внутрішнього повітря є вимога, щоб конденсат не потрапляв на внутрішні поверхні зовнішніх огорожувальних конструкцій [11]. Фактично, режим опалення квартири для робочого та вихідного дня заданий за допомогою автоматики таким чином, як показано на гістограмах на рисунку 3.

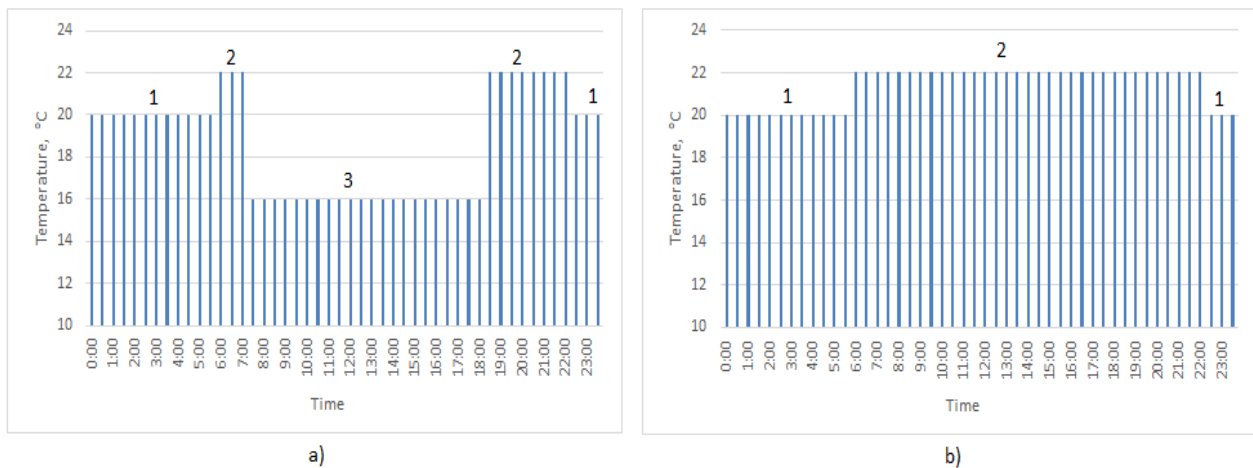


Рисунок 3 – Температурний режим всередині квартири, запрограмований для котла, для робочого (а) та вихідного (б) дня:

1 – нічне зниження температури; 2 – комфортний температурний режим;  
3 – зниження температури в робочий час

### Порівняльний аналіз переривчастого режиму опалення

Для того, щоб проаналізувати фактичну температуру повітря в приміщенні в двох спальнях та кухні було розміщено реєстратори температури та вологості (DS1923, точність вимірювання температури  $\pm 0,5$  °С). Дані про внутрішню температуру зібрані з 5-хвилинним інтервалом. Практичні дослідження допомогли отримати графік температурного профілю, показаний на рисунках 4 і 5.

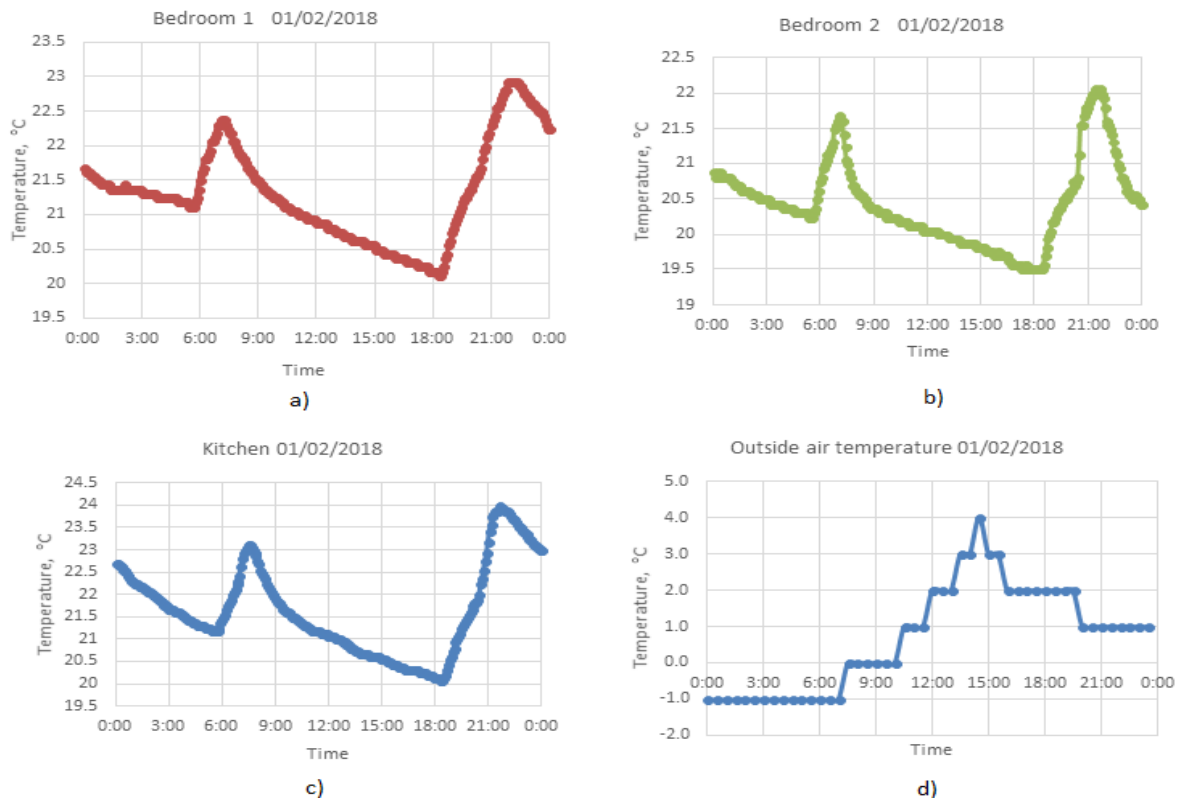


Рисунок 4 – Профілі температури внутрішнього (а – спальня 1, б – спальня 2, с – кухня) та зовнішнього повітря (д) для робочого дня

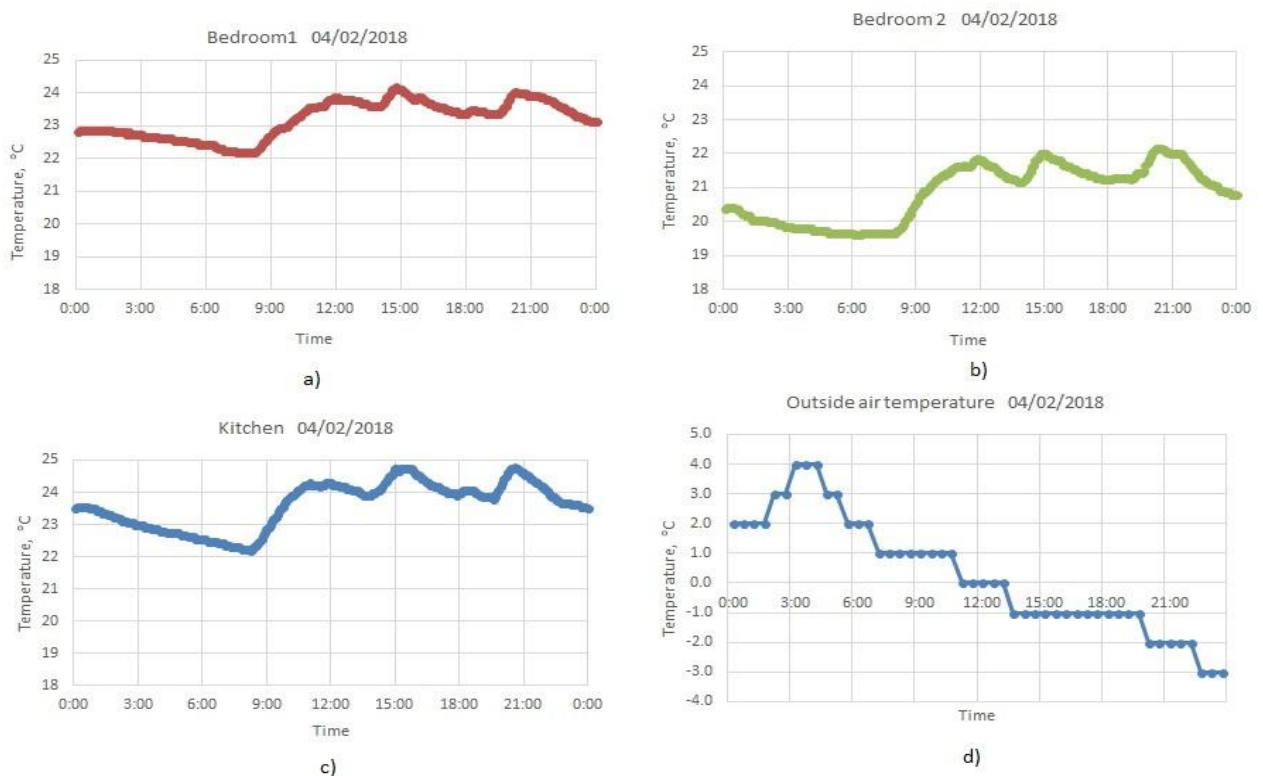


Рисунок 5 – Профілі температури внутрішнього та зовнішнього повітря для вихідного дня

На графіках на рисунках 4 та 5 показано, що температура в досліджуваних кімнатах не опускається нижче 19,5 °С. Отже, програмовані 16 °С не досягаються взагалі. Значною мірою на це впливає зовнішня температура, а також динамічні характеристики матеріалів огорожувальних конструкцій. На графіках також помітно, що внутрішня температура в спальні 1 та на кухні перевищує задану. Це пов'язано з тим, що автоматика котла моделює виробництво тепла, в залежності від внутрішньої температури на термостаті, який розташований в спальні 2. Тож, аналізуючи графіки, слід зазначити, що система опалення квартири потребує гідравлічного балансування.

За допомогою програмного забезпечення EnergyPlus була розроблена математична модель теплового режиму приміщення. Програмна модель враховує теплоінерційні властивості огорожувальних конструкцій, а також вплив зміни зовнішньої температури з часом. Таким чином, в результаті моделювання переривчастого режиму опалення в програмному забезпеченні EnergyPlus, для тих самих зовнішніх температур повітря, були отримані графіки профілю температури, зображені на рисунках 6 і 7. Для врахування різниці між фактичним та програмним (з IWES файлу) сонячним випромінюванням, також наведені графіки кількості сонячного випромінювання, що потрапляє на поверхню вікон в аналізовані дні, в програмній моделі.

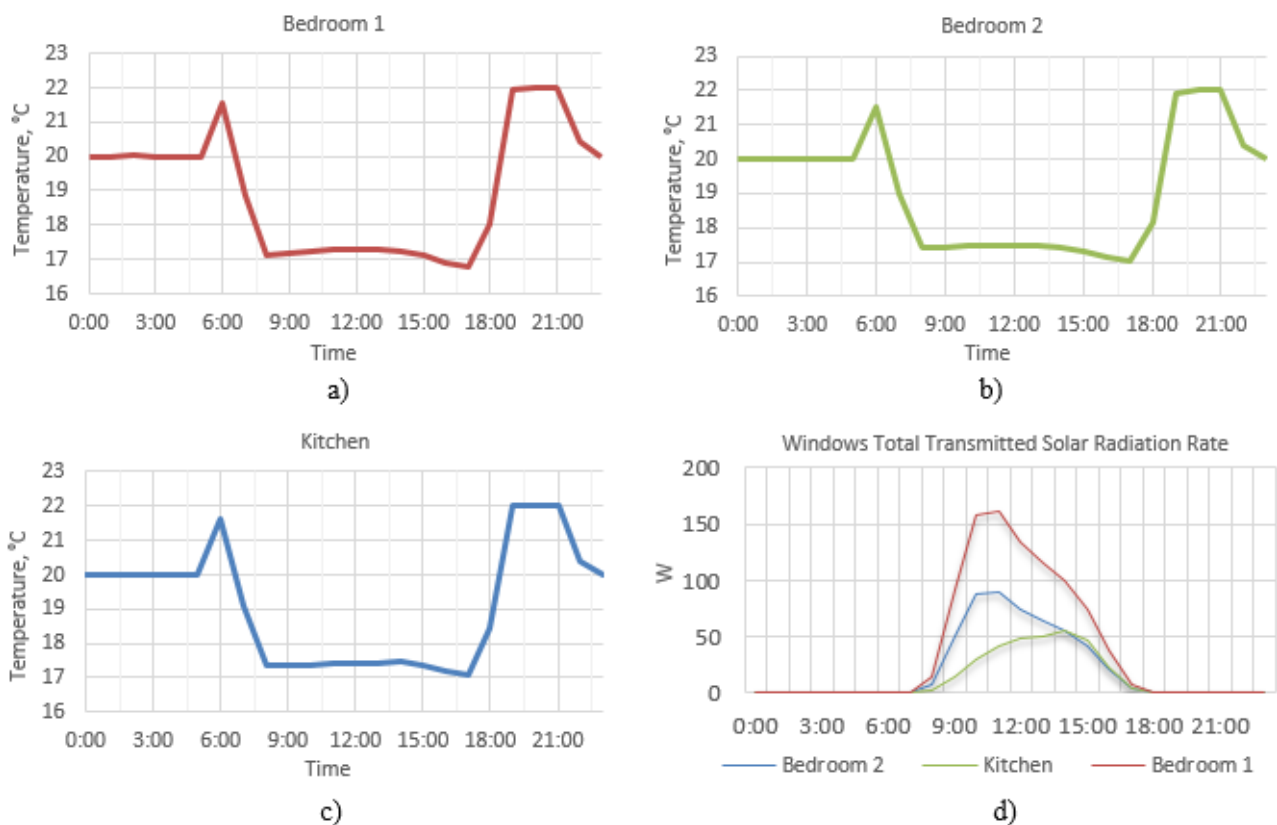


Рисунок 5 – Модельовані профілі температури внутрішнього повітря (а – спальня 1, б – спальня 2, с – кухня) та сонячної радіації (d) для робочого дня

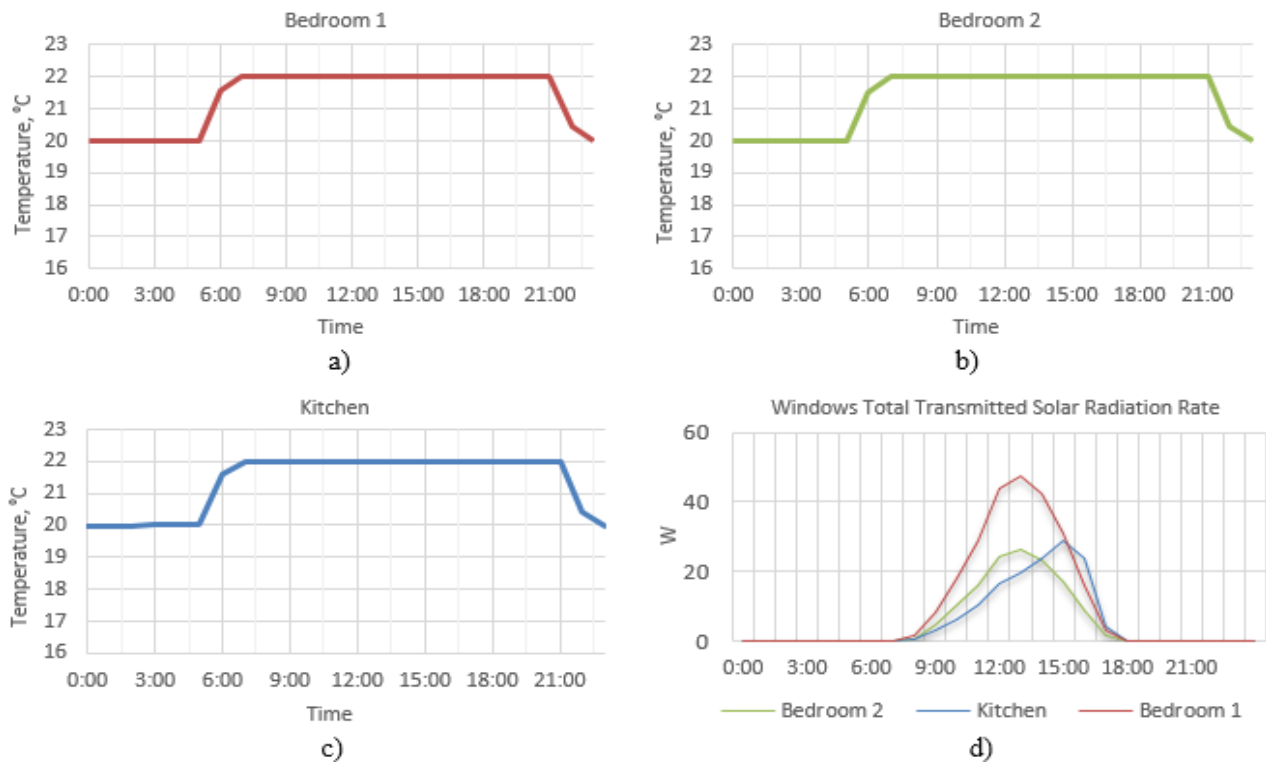


Рисунок 6 – Модельовані профілі температури внутрішнього повітря та сонячної радіації для вихідного дня

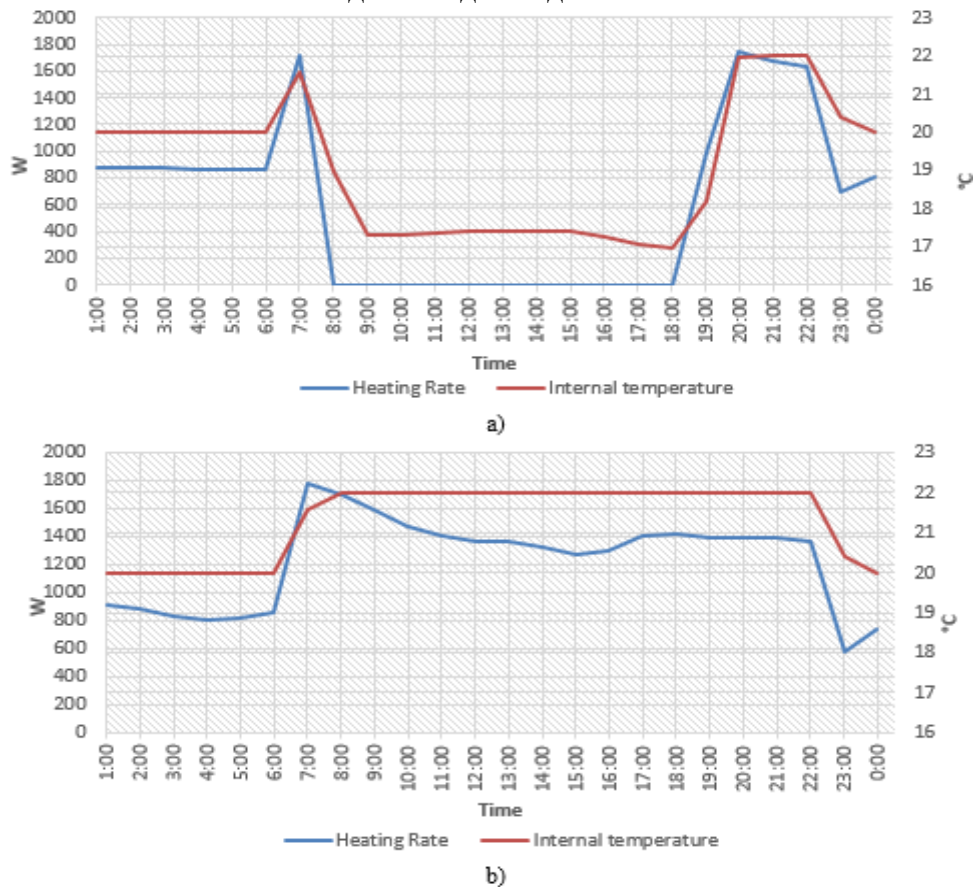


Рисунок 7 – Результати моделювання залежності середньої температури в квартирі (internal temperature) від навантаження (heating rate) на систему опалення в робочий (а) та вихідний (б) дні

Необхідно зазначити, що вплив теплової інерції конструкцій більше виражений в реальних графіках на рисунках 4 і 5.

Для аналізу навантаження на систему опалення всієї квартири в ті самі дні, були створені графіки, зображені на рисунку 7.

#### Результати моделювання переривчастого режиму опалення

При постійному регулюванні системи опалення можна досягти значних заощаджень. За допомогою енергетичної моделі в EnergyPlus було визначено економію теплової енергії, використовуваної на потреби опалення квартири, за опалювальний період. Тож, досліджено енергоспоживання при постійному режимі опалення 22°C та переривчастому режимі 16-22°C (рисунок 3). В таблиці 2 наведені змодельовані та фактичні результати енергоспоживання квартири. Фактичне споживання за опалювальний період було приведено до стандартних погодних умов з врахуванням фактичних та нормативних градусо-днів (ГД).

Таблиця 2 – Енергоспоживання квартири

| Режим роботи системи опалення | EnergyPlus | Фактичне |
|-------------------------------|------------|----------|
| Постійний, кВт·год            | 4805,56    | -        |
| Переривчастий, кВт·год        | 4019,44    | 4824,92  |

На рисунку 9 наведено результати помісячного моделювання енергоспоживання квартири для різних зон при постійному та переривчастому режимах роботи системи опалення.

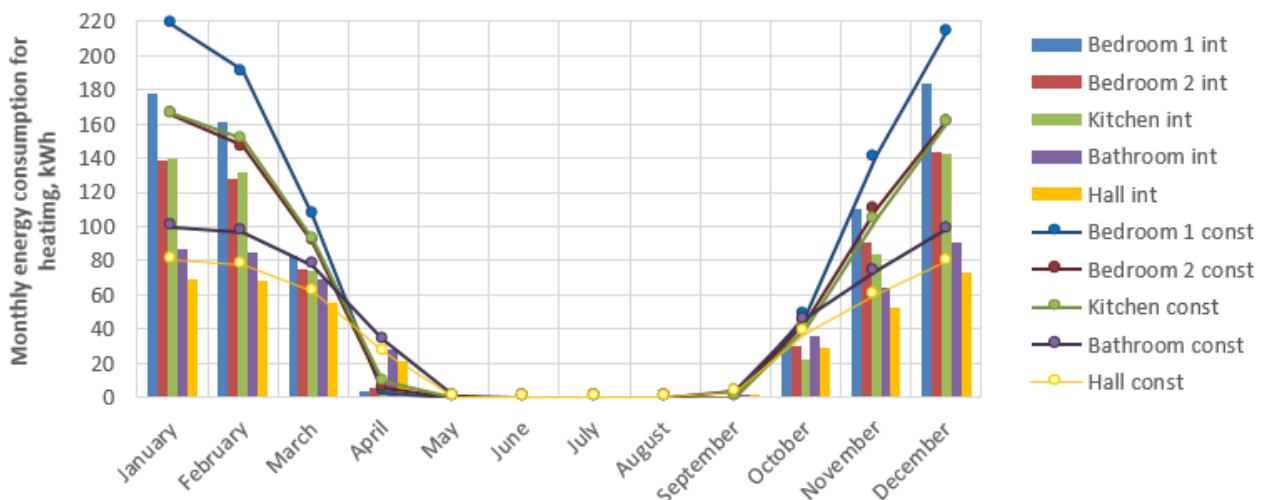


Рисунок 8 – Результати помісячного моделювання енергоспоживання квартири при постійному (const) та переривчастому (int) режимах роботи системи опалення

#### Висновки

Наявність результатів практичного дослідження профілю температури при переривчастому режимі роботи системи опалення квартири дає можливість прослідкувати недоліки в роботі системи опалення та порівняти фактичні дані з результатами моделювання. Кількість спожитої теплової енергії за результатами складеної моделі наближена до значення фактичного теплоспоживання квартири за опалювальний період.

Програмно створена динамічна модель надає можливість аналізувати потенціал енергозбереження при застосуванні різних варіантів переривчастого режиму опалення. Згідно з результатами моделювання в EnergyPlus, економія теплової енергії від застосування

переривчастого режиму опалення для розглянутої квартири сягає 16,4%. Таким чином використання сучасного спеціалізованого програмного забезпечення для динамічного аналізу теплового режиму приміщень дозволяє досягти якісних результатів.

### Список використаної літератури

1. Nannei E., Tanda G., An analysis of energy consumption and thermal comfort in buildings in daily intermittent heating, Dipartimento di Ingegneria Energetica Università degli Studi di Genova, pp. 1248-1259
2. Дешко В. І. Моделювання режимів опалення приміщень / В. І. Дешко, І. Ю. Білоус // Енергетика: економіка, технології, екологія. - 2016. - № 3. - С. 97-104.
3. Дацюк Т.А. Моделирование теплового режима жилых помещений при прерывистом отоплении / Т.А. Дацюк, Ю.П. Ивлев, В.А. Пухкал // Современные проблемы науки и образования: электронный научный журнал. – 2014. - №5. – Библиогр.: 6 назв.
4. Баласанян Г. А. Моделирование режима прерывистого отопления комбинированной системы теплоснабжения с тепловым насосом / Г. А. Баласанян, А. А. Климчук, М. Б. Миняйло // Вестник Нац. техн. ун-та "ХПИ" : сб. науч. тр. Темат. вып. : Энергетические и теплотехнические процессы и оборудование. – Харьков : НТУ "ХПИ". – 2015. – № 17 (1126). – С. 97-102.
5. Анисимова, Е. Ю. Энергоэффективность теплового режима здания при использовании оптимального режима прерывистого отопления [Текст] / Е. Ю. Анисимова // Вестник ЮУрГУ. Серия "Строительство и архитектура" : науч. журн. - 2012. - № 38, Вып. 15. - С. 55-59.
6. Панферов, В.И. Об оптимальном управлении тепловым режимом зданий / В.И. Панферов, Е.Ю. Анисимова, А.Н. Нагорная // Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика» : науч. журн. - 2007. - Вып. 8. - № 20 (92). - С. 3-9.
7. Куценко А.С. Анализ энергоэффективности прерывистого режима отопления здания / А.С. Куценко, С.В. Коваленко, В.И. ТОВАЖНЯНСКИЙ // Журнал "Ползуновский вестник". – 2014. – №4-1. – С.247-253.
8. Yu. Vychtikov, M. Saparev, A. Chulkov Analyzing energy consumption while heating one-layer building envelopes in conditions of intermittent heating, MATEC Web of Conferences 106, 06013 (2017)
9. Голишев О. М. Дослідження процесу остигання будівлі в умовах припинення теплопостачання / О. М. Голишев, А. О. Голишев, Д. В. Михалків, Е. В. Серебреніков // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". Теорія і практика будівництва. - 2016. - № 844. - С. 58-63.
10. The official website EnergyPlus Energy Simulation Software. – Website: [https://energyplus.net/sites/default/files/pdfs/pdfs\\_v8.3.0/InputOutputReference.pdf](https://energyplus.net/sites/default/files/pdfs/pdfs_v8.3.0/InputOutputReference.pdf)
11. Табунщиков Ю. А. Математическое моделирование и оптимизация тепловой эффективности зданий [Текст] / Ю. А. Табунщиков, М. М. Бродач. – М.: АВОК-ПРЕСС, 2002. – 194 с.

## **СЕКЦІЯ 1.**

# **СТАЛИЙ РОЗВИТОК ЕНЕРГЕТИКИ. СУЧАСНІ СИСТЕМИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЮ ЕНЕРГІЄЮ**

УДК 621.311

*Бас С.Д., магістрант, науковий керівник Коцар О.В., канд.техн.наук, доцент,  
кафедра електропостачання, Інститут енергозбереження та енергоменеджменту,  
Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»*

## **ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ КОНТРОЛЮ ФУНКЦІОНУВАННЯ ВЕС В ЛІБЕРАЛІЗОВАНОМУ РИНКУ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ УКРАЇНИ**

*Стаття присвячена підвищенню ефективності контролю функціонування ВЕС в лібералізованому ринку електроенергії України. Сформовано тему, завдання, мету, роботи, визначено предмет та об'єкт магістерського дослідження. Проаналізовано сучасний стан розвитку вітроенергетики в світі. Визначено місце вітроенергетики України в світі. Проаналізовано стан розвитку вітроенергетики України. Визначено фактори, що вплинули на розвиток вітроенергетики України. Проаналізовано області України за вітровим потенціалом. Розглянуто місце вітроенергетики в енергобалансі України.*

**Ключові слова:** розосереджена генерація, вітрові електричні станції, ВДЕ, ВЕС, відновлювана енергетика, встановлена потужність, вітроенергетика, вітроенергетичний сектор України.

*The article is devoted to increase of efficiency of control of operation of WES in the liberalized electricity market of Ukraine. The theme, the task, the purpose, the work, the object and the object of the master's study are determined. The current state of wind energy development in the world is analyzed. The place of Ukraine's wind energy in the world is determined. The state of wind energy development in Ukraine is analyzed. The factors that influenced the development of wind energy in Ukraine were determined. Areas of Ukraine under the wind potential have been analyzed. The place of wind energy in the energy balance of Ukraine is considered.*

**Keywords:** distributed generation, wind power plants, RES, wind power plants, renewable energy, installed power, wind power, wind power sector of Ukraine.

### **Вступ**

Останніми роками альтернативні та відновлювані джерела енергії (ВДЕ) дедалі стають головним трендом розвитку сучасної електроенергетики. З кожним роком збільшується суми інвестицій: у 2018 р. загальна сума інвестицій в світі на розвиток альтернативної енергетики становила 333,5 млрд. дол., будуються нові генеруючі потужності. Станом на кінець 2018 року встановлена потужність вітроенергетики в світі склала 600,278 тис. МВт, що на 164,994 тис. МВт більше, ніж в 2015 році [1].

Застосування ВДЕ для виробітку електроенергії зменшує викиди CO<sub>2</sub>, що позитивно вплинуло на економічний та на екологічний стан країни.

Проте, існує і низка проблем, які пов'язані з відновлюваною енергетикою. Зокрема, це складність прогнозування виробітку електричної енергії, захист від впливу ВДЕ на електричну мережу, значні території родючих земель, які не можна ефективно використовувати для сільського господарства, утилізація, зокрема, акумулюючих пристроїв, які використовуються в установках ВДЕ, тощо. В зв'язку з цим виникає багато проблем, які треба досліджувати та вирішувати.

### Мета та завдання

Вітроенергетика є одним з найперспективніших секторів у ВДЕ, тому, метою даної статті є визначення шляхів підвищення ефективності використання ВЕС в Україні.

Завданнями цієї статті являється аналіз розвитку вітроенергетики в світі та в Україні. Зокрема, необхідно оцінити потенціал вітрових електричних станцій в Україні, виконати порівняльний аналіз ефективності функціонування ВЕС в Україні, дослідити особливості купівлі/продажу електроенергії, що вироблена ВЕС, в лібералізованому ринку електричної енергії України, дослідити законодавчі та нормативні бази України які найбільше впливають на розвиток вітроенергетики.

### Матеріал і результати досліджень

Протягом ХХІ ст. альтернативна енергетика розвивається швидкими темпами, подекуди вже випереджаючи традиційну енергетику. У 2018 р. загальна сума інвестицій в світі на розвиток альтернативної енергетики становила 333,5 млрд дол. Серед країн найбільший вклад у альтернативну енергетику зробили: Китай – 132,6 млрд дол. (39,8 %), США – 64,2 млрд дол. (17,1 %), Японія – 23,4 млрд дол. (7,0 %) [1].

Країни Європи загалом інвестували у альтернативну енергетику 57,4 млрд дол. (17,2 % загальносвітової суми інвестицій). Але європейські країни значно раніше за інших долучилися до розвитку альтернативної енергетики.

Таким чином, вкладання великих інвестицій у відновлювальну енергетику не змусило довго чекати результату та відбулося у збільшенні величини встановленої потужності ВЕС (рис. 1).

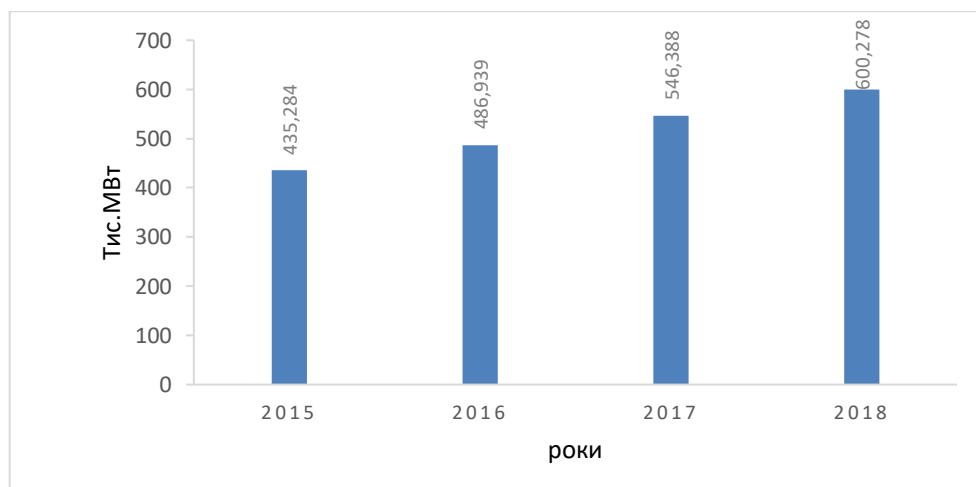


Рис. 1. Встановлена потужність ВЕС в світі

Про рівень розвитку вітроенергетики можна судити за такими характеристиками, як обсяг інвестицій у галузь, встановлена потужність ВЕС та кількість виробленої ВЕС електроенергії [1-3]. Зведені дані станом на 2018 рік наведено в табл. 1.1.

Таблиця 1.1. Зведені характеристики розвитку вітроенергетичної галузі станом на 2018 рік

| Країна         | Обсяг інвестицій у вітроенергетику, млрд. дол. | Встановлена потужність ВЕС, тис.МВт. | Обсяги виробленої ВЕС електроенергії, тис. МВт·год |
|----------------|------------------------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------------------------|
| Китай          | 132,6                                          | 221,630                              | 630000                                             |
| США            | 56,9                                           | 96,363                               | 275000                                             |
| Німеччина      | 10,5                                           | 59,313                               | 189475                                             |
| Великобританія | 10,4                                           | 20,743                               | 101658                                             |
| Україна        | 2,4                                            | 0.621                                | 1,181                                              |

Україна має достатній потенціал для розвитку вітроенергетики, проте він різний в кожній області України. Так, є регіони країни, де встановлення ВЕС є більш перспективним через кліматичні особливості, і регіони, де встановлення ВЕС не є перспективним. Розвиток вітроенергетики по областях України наведено на рис. 2:

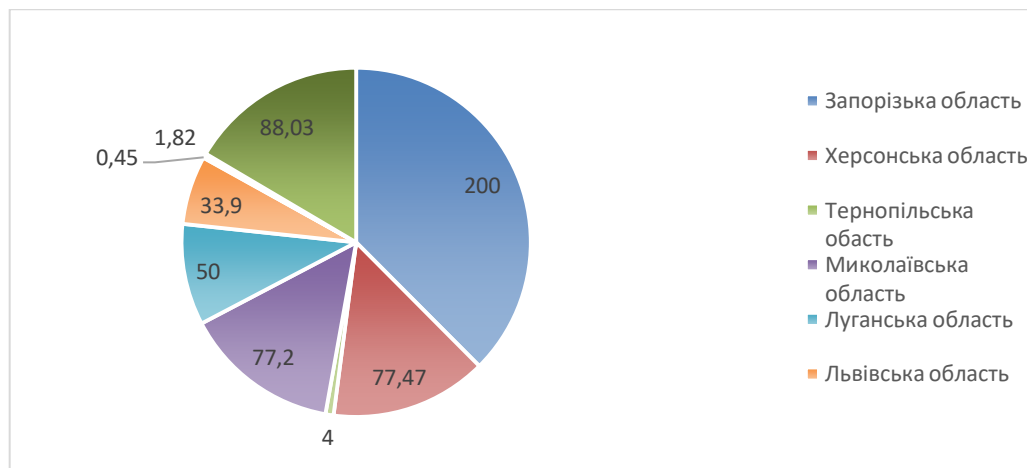


Рис. 2. Встановлена потужність ВЕС по областях України, МВт

В Україні вітроенергетика має позитивні тенденції розвитку. Так, 2018 рік став для вітроенергетики України найбільш динамічним за останні 4 роки. У 2018 році поліпшуються темпи росту вітроенергетичних потужностей. За рік було введено 678 тис.МВт – найкращий показник з 2015 року. Станом на 31 грудня 2018 року загальна встановлена потужність національного вітроенергетичного сектору України становить 621 тис. МВт, з яких 533 тис. МВт знаходяться на материковій частині країни (зокрема, 138 тис. МВт – в Луганській та Донецькій областях) [3].

В цілому на кінець 2018 р. вітроенергетичний сектор України збільшив як встановлену потужність, так і кількість виробленої електроенергії (рис. 3-6).

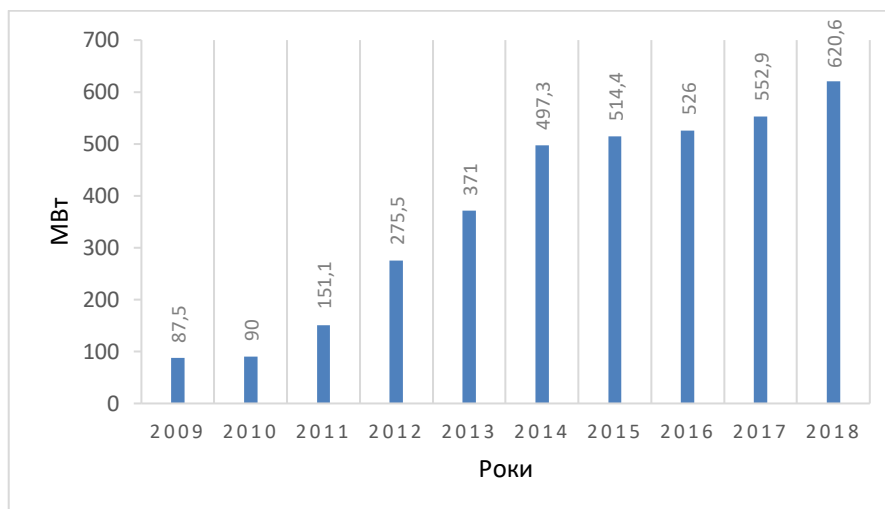


Рис. 3. Динаміка розвитку вітроенергетичного сектору України, МВт

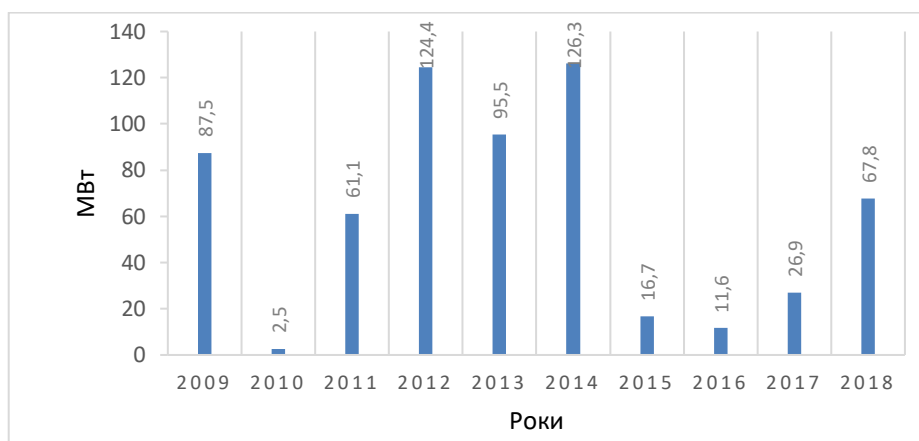


Рис. 4 Щорічний приріст вітроенергетичних потужностей, МВт

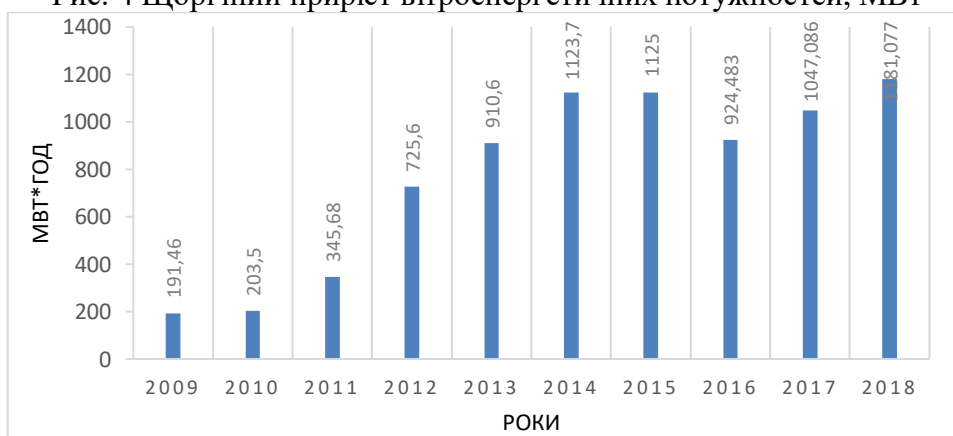


Рис. 5 Кількість відпущеної електроенергії по роках

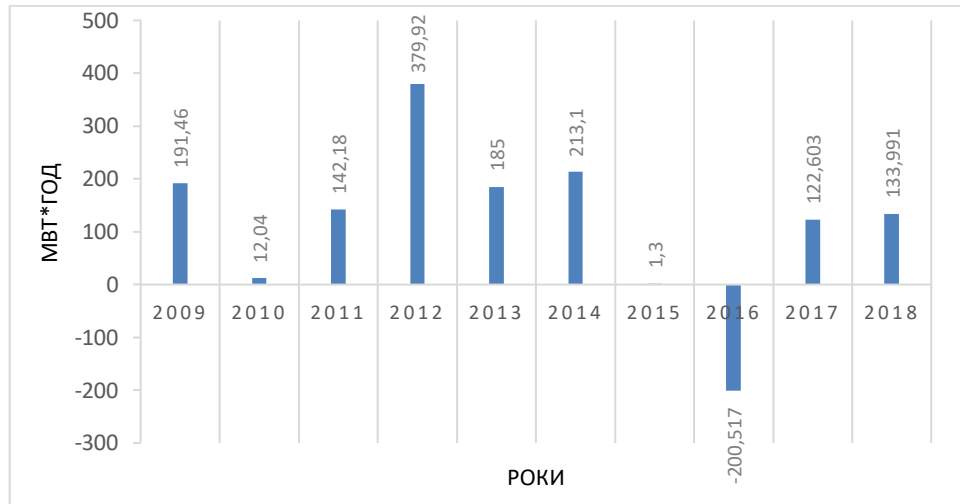


Рис. 6 Збільшення відпуску електричної енергії по роках

Порівняльні дані щодо встановленої потужності та кількості виробленої електричної енергії в Україні по різних видах ВДЕ наведено в табл. 2:

Таблиця 2 Порівняльна таблиця щодо встановленої потужності та кількості виробленої електроенергії.

| ВДЕ    | Встановлена потужність, МВт | Встановлена потужність, частка від ВДЕ, % | Генерація електроенергії, млн. кВт·год | Генерація електроенергії, частка від ВДЕ, % |
|--------|-----------------------------|-------------------------------------------|----------------------------------------|---------------------------------------------|
| ВЕС    | 394,7                       | 18,6                                      | 1181,077                               | 42,3                                        |
| СЕС    | 1388,276                    | 65,6                                      | 1101,164                               | 39,4                                        |
| Біогаз | 46,2                        | 2,2                                       | 175,626                                | 6,3                                         |
| МГЕС   | 98,8                        | 4,7                                       | 231,017                                | 8,3                                         |
| БіоЕС  | 51,3                        | 2,4                                       | 103,111                                | 3,7                                         |

Основними чинниками, які вплинули на розвиток вітроенергетики України, є нормативне та правове забезпечення функціонування ВЕС в лібералізованому ринку електроенергії України та впровадження «зеленого тарифу» для ВЕС.

*Нормативне та правове забезпечення.* З впровадження закону України «Про ринок електричної енергії» відкриваються нові можливості перед ВДЕ та вітроенергетики зокрема. Передбачається, що електрична енергія, вироблена на об'єктах електроенергетики, що використовують відновлювані джерела енергії, може бути продана її виробниками за двосторонніми договорами, на ринку «на добу наперед» (РДН), внутрішньодобовому ринку (ВДР) та балансуєчному ринку (БР) за відповідними ринковими цінами, або гарантованому покупцю за «зеленим» тарифом з урахуванням надбавки до нього [4].

Немало змін відбулося і в нормативному забезпеченні, що спонукало до розвитку ВДЕ в Україні. На даний час найбільш впливовими на вітроенергетичну галузь є ДСТУ 8292:2015, ІЕС 61400-25-2:2015 Standard | rural electrification, wind power | Wind, ДСТУ 4051-2001 Станції електричні вітрові, ДСТУ 3896-2007 Вітроенергетичні установки та вітроелектричні станції та ін.

*Економічні засади:* Чинний закон про зелений тариф – «Про внесення змін до деяких законів України щодо забезпечення конкурентних умов виробництва електроенергії з альтернативних джерел енергії» – прийнятий Верховною Радою України 4 червня 2015 року. Він встановлює дію заохочувальних тарифів на період до 2030 року як для промислових електростанцій, так і приватних домоволодінь [5].

Ціна на купівлю електричної енергії за зеленим тарифом змінюється залежно від року впровадження в експлуатацію об'єкту електрогенерації. Ця ціна регулюється Законом України «Про внесення змін до деяких законів України щодо забезпечення конкурентних умов виробництва електроенергії з альтернативних джерел енергії», який прийнятий Верховною Радою України 4 червня 2015 року [6].

### **Висновок**

Підсумовуючи, можна сказати, що Україна стрімко розвивається у відновлювальній енергетиці та вітроенергетиці зокрема. Проводиться інвестування галузі, встановлюються нові потужності, збільшується виробництво електричної енергії, змінюється законодавча база, що сприяє подальшому розвитку галузі. Але перед Україною постають складні питання: чи правильно ми використовуємо та чи раціонально розміщаємо нові ВЕС, чи ефективно ми використовуємо енергію вітру, чи раціонально використовуються сільськогосподарські землі України, та як встановлення нових вітрогенеруючих потужностей вплине на стан енергетики в Україні.

### **Список використаних джерел**

1. World Wind Energy Association [Електронний ресурс] Режим доступу до ресурсу: <https://wwindea.org/>
2. Стаття УВЕА 23.01.2019 [Електронний ресурс]//BloombergNF-2019.- Режим доступу до ресурсу : <http://uwea.com.ua/ru/news/entry/v-2018-godu-investicii-v-zelenuyu-energetiku-vnov-prevysili-300-milliardov/>
3. Вітроенергетичний сектор України 2018 [Електронний ресурс]/Плачкова І.В. Конеченкова А.Є.// -2019.-Режим доступу до ресурсу [http://uwea.com.ua/uploads/docs/uwea\\_2018\\_ua\\_web.pdf](http://uwea.com.ua/uploads/docs/uwea_2018_ua_web.pdf)
4. Закон України «Про ринок електричної енергії» [Електронний ресурс]/Верховна Рада України.// -2019.-Режим доступу до ресурсу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2019-19>
5. Зелений тариф в Вітроенергетиці [Електронний ресурс]/Зелений тариф// -2018.-Режим доступу до ресурсу: <http://eenergy.com.ua/zelenij-tarif/zelenyj-taryf-v-vitroenergetytsi/>
6. Ціна на зелений тариф [Електронний ресурс]/Зелений тариф// -2018.-Режим доступу до ресурсу: <https://eenergy.com.ua/zelenij-tarif/tsina-na-zelenij-tarif/>
7. ДСТУ 8292:2015 [Електронний ресурс]/НАН України// -2015.-Режим доступу до ресурсу :[http://online.budstandart.com/ru/catalog/doc-page.html?id\\_doc=62875](http://online.budstandart.com/ru/catalog/doc-page.html?id_doc=62875)
8. ІЕС 61400-25-2:2015 Standard | rural electrification, wind power | Wind [Електронний ресурс]// -2019.-Режим доступу до ресурсу: <https://webstore.iec.ch/publication/22813>

9. ДСТУ 4051-2001 Станції електричні вітрові [Електронний ресурс]/ ЗАТ «ОКБ Будшляхмаш.// -2001.-Режим доступу до ресурсу :[http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id\\_doc=54263](http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=54263)

Володимирчук О.А.  
кафедра електропостачання

## ВИКОРИСТАННЯ ЕЛЕКТРОЛІЗНИХ УСТАНОВОК ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ЕКОЛОГІЧНО ЧИСТОГО ВОДНЮ

**Анотація:** розглянуті питання використання різних типів електролізних установок для виробництва водню. Представлена принципова схема одноконтурної електролізної установки та розглянутий принцип роботи даної установки. Проведено порівняльний аналіз техніко-економічних показників різних типів електролізних систем.

**Ключові слова:** електролізна установка, газифікація, водень, кисень.

**Summary:** the use of various types of electrolysis plants for the production of hydrogen. A schematic diagram of a single-circuit electrolysis plant is presented and the principle of operation of this plant is considered. A comparative analysis of technical and economic indicators of various types of electrolysis systems was carried out.

**Key words:** electrolysis unit, gasification, hydrogen, oxygen.

**Вступ.** Велика кількість країн в світі прикладають багато зусиль спрямованих на зменшення викидів вуглецевих та парникових газів, що стимулює їх виробляють електричну енергію за допомогою відновлювальних джерел енергії. Уряди цих країн стимулюють свої дослідницькі центри до пошуку інновацій в енергетичній системі в глобальних масштабах. Також головним завданням для науковців є створення та збереження чистого майбутнього для наступних поколінь, про це свідчить ратифікування Паризького кліматичного договору 2015 року, який підписали 148 країн світу.

**Мета та завдання.** Головним завданням даної статі дослідження вироблення екологічно чистого водню за допомогою різних типів електролізних установок та порівняння їх техніко-економічних показників.

**Матеріал і результати дослідження.** Виробництво електричної енергії відновлювальними джерелами такими, як сонячна та вітрова енергія допомагають зменшити рівень викидів в атмосферу, які утворюються при використанні традиційного виробництва електричної енергії на основі викопного палива. Але таке виробництво дуже залежне від погодних та кліматичних умов. Ці фактори призводять до багатьох проблем, в основі яких є зменшення вироблення електричної енергії та її втрати. В наслідок цього відбувається невідповідність між попитом та пропозицією. Основним рішенням даної проблеми є можливість накопичення енергії в певний час доби (року) і відпуск її в пікові години споживання.

Найперспективнішою в світі технологією для зберігання надлишкової енергії, яка виробляється відновлювальними джерелами енергії, вважають водневі технології.

На сьогоднішній день 95% водню виробляють з викопного палива, наприклад нафти та вугілля. В світі встановлено близько 8 ГВт електролізної потужності, яка становить близько 4% від світового вироблення водню. Тому виробництво водню можна поділити на два типи[1]:

1. Виробництво водню шляхом газифікації викопного палива, тобто перетворення органічної частини палива в горючі гази шляхом високотемпературного окиснення (киснем, повітрям або водяною парою) при цьому утворюються діоксид і окис вуглецю, який утримується, а потім утилізується шляхом зворотної реакції та водень. Ця реакція досягається при високих температурах без горіння. Суміш, яка утворюється після реакції називається синтез-газ. Перевагою газифікації є те, що використання синтез-газу є більш ефективним, ніж безпосередньо спалювати паливо, оскільки воно може бути спалене при більш високих температурах в паливних елементах. Даним методом в світі виробляють близько 55 мільйонів тонн водню[2].

2. Вироблення екологічно чистого водню шляхом електролізу з використанням електричної енергії, яку виробляють відновлювальні джерела електричної енергії.

Електроліз – це розкладання води на кисень та водень за рахунок пропускання через неї електричного струму.

Найбільш поширеними електролізерами в світі є лужні електролізери (ALK). Ця технологія є повністю зрілою. Їх використовують в промисловості протягом століття в більшості випадків в неенергетичних цілях, особливо в хімічній промисловості. Електролізери з протонообмінною (полімерна) мембраною (PEM) є комерційно доступними і швидкими темпами завойовують популярність на ринку, оскільки вони є більш гнучкими і простішими в обслуговуванні порівняно з лужними. Третім типом електролізерів є твердооксидні електролізери (SOEC). В порівнянні з ALK та PEM ці електролізери мають більший потенціал в енергоефективності та працюють при високих температурах. Основною перевагою ALK електролізера в порівнянні з іншими типами є те, що в даний час термін служби в нього удвічі більший.

Розглянемо в таблиці1 порівняльні техніко-економічні показники ALK та PEM електролізерів[3].

Таблиця 1 – Техніко-економічні показники ALK та PEM електролізерів

| Електролізери                                                                      |                       | Лужні     |      | З протонообмінною мембраною |      |
|------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|-----------|------|-----------------------------|------|
|                                                                                    | Рік                   | 2017      | 2025 | 2017                        | 2025 |
| Ефективність                                                                       | кВт/кг H <sub>2</sub> | 51        | 49   | 58                          | 52   |
| Середні капітальні витрати (витрати на будівництво електроенергії та встановлення) | Є/кВт                 | 750       | 480  | 1200                        | 700  |
| Операційні витрати                                                                 | % за рік              | 2         | 2    | 2                           | 2    |
| Вихідний тиск                                                                      | Бар                   | Атмосфера | 15   | 30                          | 60   |
| Термін служби системи                                                              | Роки                  | 20        | 20   | 20                          | 20   |
| Діапазон навантаження                                                              | % від номінального    | 15-100    |      | 0-160                       |      |
| Пуск установки                                                                     | хвилини               | 1-10      |      | 1-5                         |      |

Для підвищення ефективності виробництва водню використовують комплексну роботу електролізної установки та газифікатора. Електролізні установки PEM та SOER працюють при тиску 20-30 бар, а процес газифікації – 5-10 бар. Тобто вироблений водень подається з електролізної установки на накопичувач, а кисень, який був вироблений під час реакції можна повторно використовувати в газифікаторі для газифікації палива, наприклад біомаси. Також проведення електролізу при підвищеному тиску є більш доцільно, щоб зменшити або навіть уникнути витрат на підвищення тиску водню для закачки в накопичувач. Підвищення тиску в електролізері може бути виконано шляхом підвищення тиску води в PEM установці або нагріванні води на вході вище 100°C в системах SOEC. Це є головною проблемою використання SOEC систем, тому що вони вимагають використання джерел високої температури. Джерелами високої температури для SOEC систем можуть бути сонячні колектори та геотермальна енергія Землі.

Електролізери PEM використовують протонообмінні мембрани для відділення протонів водню від води та кисню. Вони працюють при температурі від 20 до 100°C та тиску до 100 бар. Основним недоліком використання PEM системи є те, що в цих електролізних установках використовується Іридій, який є дуже рідкісним та дорогим металом. Також ці системи вимагають затрати значної кількості енергії. Всі ці фактори призводять до високої вартості даних систем.

Високотемпературні парові електролізери на основі твердооксидних електролізерів (SOEC) набагато ефективніші через те, що розщеплення води можна проводити, як за допомогою термічної так і кінетичної енергії. Найбільш поширеними є кисневі, протонні та гібридні твердооксидні електролізери.

Кисневі твердооксидні електролізери є найбільш перспективними в використанні для високотемпературного електролізу води. У цій системі водень отримують в результаті реакції електролізу води на стороні водневого електрода. Як матеріал для електроліту використовують стабілізований ітрієм діоксид цирконію, оскільки він має достатню провідність іонів чистого кисню при високих температурах (більше 800 °C). Однак незважаючи на всі переваги високотемпературної роботи, широке використання даною системи було заблоковано через критичні проблеми, наприклад, довгострокова стабільність осередків є поганою, поява міжшарної дифузії, проблеми з виготовленням та матеріалами).

В протонному твердооксидному електролізері використовують протонопровідні оксиди в якості електролітних матеріалів. Вони мають великий попит за рахунок того, що працюють при середніх і низьких температурах. В цих системах протон генерується електролізом води на повітряному електроді і потім проникаючи через чистий протонопровідний електроліт вступає в реакцію з електронами утворюючи водень на водневому електроді (рис.1). Також розробляються протонні твердооксидні електролізери на основі цирконату барію ( $\text{BaZrO}_3$ ) та барій сертат ( $\text{BaCeO}_3$ ) для покращення хімічної стабільності і протонної провідності. При дослідженнях дані електролізери продемонстрували високу протону провідність, але також виникли і проблеми такі, як: плавка матеріалу.

В гібридному твердооксидному електролізері електроліз води може виникати, як повітряних так і на водневих електродах, оскільки частинки електролітичного іона ( $\text{O}_2$  і  $\text{H}$ ) можуть дифундувати в протилежному напрямку поперек змішаного іонопровідного електроліта. Тобто в гібридній системі можна генерувати більше водню з киснем одночасно з проникаючого протона та електролізу води (рис.1)[4].

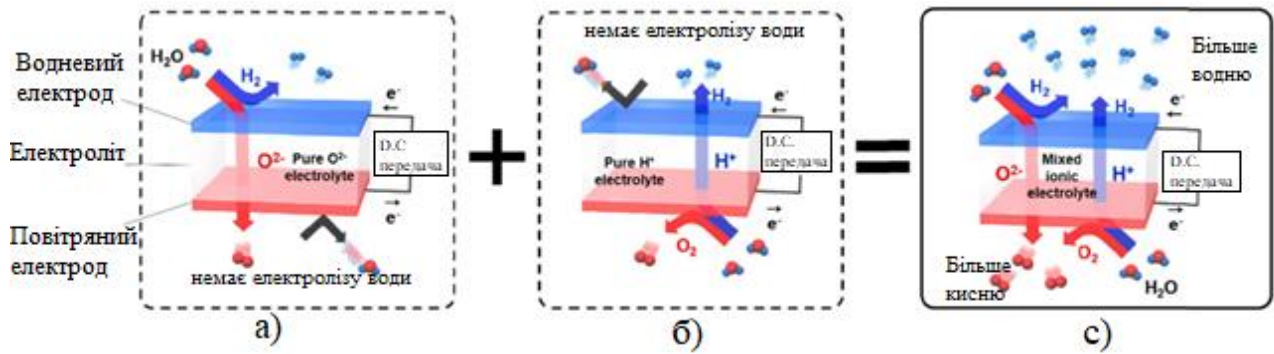


Рисунок 1 – Принципова схема принципу роботи: а) кинетового – б) протонного – с) гібридного твердооксидного електролізера

На рисунку 2 представлено принципову схему роботи одномодульної електролізної установки [5].

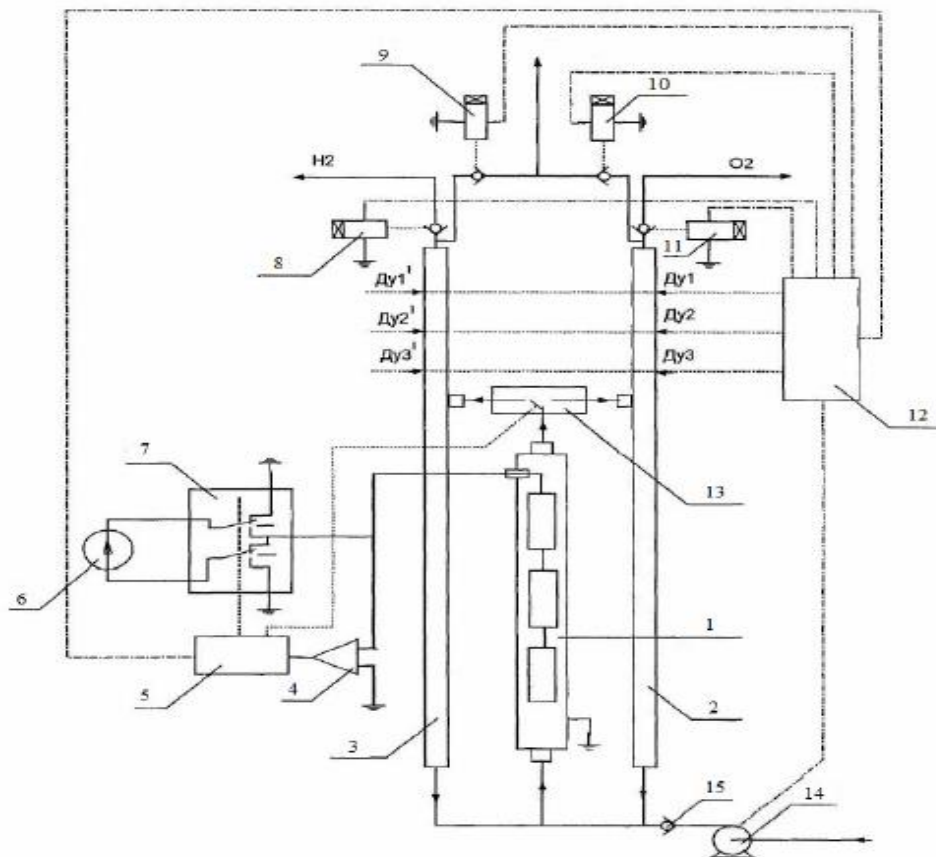


Рисунок 2 – Принципова схема роботи одномодульної електролізної установки

1-Електролізний модуль; 2,3 – кисневий і водневий сепаратори; 4 – компаратор; 5 – таймер; 6 – джерело струму; 7 – перемикач полярності; 8,11 – водневий і кисневий клапани; 9,10 – електромагнітні клапани з'єднання з атмосферою; 12 – блок керування; 13 – електромагнітний перемикач газорідних потоків; 14 – живильний насос; 15 – зворотний клапан.

Розглянемо принцип роботи одномодульної електролізної установки.

Спосіб одержання водню та кисню високого тиску реалізується в одномодульній електролізній установці. Також можливе використання багатомодульних електролізних установок, тобто в одній блоці буде вертикально встановлене п кількість електролізних модулів 1, які складаються з пасивних та активних електродів. Електролізні модулі з'єднуються через перемикач полярності 7 із джерелом струму 6 і через компаратор 4 і таймер 5 із блоком керування 12. Таймер 5 підключений до перемикача полярності 7 і електромагнітного перемикача газорідних потоків 13, водневий і кисневий клапани 8,11 які з'єднані відповідно з вихідними штуцерами водневого і кисневого сепараторів 2 і 3, які оснащені датчиками рівня рідини. Сепаратори 2 і 3 з'єднані з блоком електролізного модуля 1 електролізної установки та живильним насосом 14. Вихідні штуцери сепараторів 2 і 3 через електромагнітні клапани 9 і 10 з'єднані з блоком керування 12 і підключені відповідно до водневої і кисневої газових магістралей споживачів. У системі встановлені клапани 8 і 11, що з'єднують сепаратори 2 і 3 з атмосферою, і зворотний клапан високого тиску регулюється блоком керування 12. В момент відкриття зворотного клапана 15 клапани 8 і 11, що з'єднують сепаратори 2 і 3 з атмосферою, відкриті, а клапани 8 і 11 на лініях подачі водню і кисню закриті. Живильним насосом 14 здійснюють подачу в систему електролізної установки робочого розчину електроліту із заповненням модуля до рівня спрацювання датчиків рівня, за сигналом з яких блок керування 12 відключає живлячий насос 14 і закриває зворотний клапан. Під час проведення водневого циклу таймер 5 переводить перемикач потоку 13 у положення з'єднання водневого сепаратора 3 із електролізним модулем 1, а перемикач полярності 7 – у положення відповідного виділення водню. На пасивні електроди модуля 1 подається від'ємний потенціал, і вони стають катодами, а на активні – позитивний потенціал, і вони стають анодами. За такої умови на катодах виділяється водень, що надходить через перемикач потоку 13 у водневий сепаратор 3 і далі через відкритий електромагнітний клапан 9 у водневу лінію споживачеві. Водночас виділений на анодах кисень поглинається і хімічно зв'язується з активною масою активних електродів. Виділення водню триває, доки не окислиться вся активна маса електродів. Водневий цикл супроводжується ростом напруги на електродах, що контролюється компаратором 4 і підтримується у межах 0,3-0,5 В. У разі досягнення напругою величини відповідного значення для роботи в електрохімічній ємності активного електрода (0,5 В) компаратор 4, через таймер 5, переводить перемикач полярності 7 у знеструмлений стан на час дегазації електроліту для знеструмлення електродів і повної дегазації з електроліту від залишків генерованого у попередньому циклі газу. Перемикач потоку 13 залишається у стані підключення секції електролізера 1 до водневого сепаратора 3. Після закінчення часу дегазації таймер 5 переводить перемикач потоків 13 у положення підключення секції електролізера до кисневого сепаратора 2, перекидає перемикач полярності 7 на протилежну полярність, що відповідає наступному кисневому циклу. За такої умови на пасивні електроди комірки 1 подається позитивний потенціал, а на активні – від'ємний. Пасивні електроди стають анодами, і на них відбувається виділення кисню, що через перемикач потоків 13 направляється в кисневий сепаратор 2 і далі через відкритий електромагнітний клапан 10 у кисневу лінію споживачеві. Водночас на активному електроді відбувається регенерація окисненої активної маси. Процес виділення кисню відбувається за напруги на електродах від 1,4 до 1,5 В і триває до закінчення електрохімічної регенерації активної маси. За такої умови пов'язаний із блоком керування 12 компаратор 4, досягнувши величини 1,4 В через таймер 5 переводить перемикач полярності 7 в знеструмлений стан на час дегазації, протягом якого перемикач потоків 13 залишається в контрольованому положенні кисневого циклу. Далі процес зміни циклів триває в такому ж порядку [5].

**Висновки:**

- 1) Дана технологія виробництва водню є повністю екологічно чистою, що повинно послужити для підтримки даних проектів державою та світовими інвесторами.
- 2) Електролізна установка може працювати в парі з відновлювальним джерелом електричної або теплової енергії. В якості теплової енергії можна використовувати: геотермальні джерела Землі та геліоколектори в країнах з більш теплим кліматом, ніж в Україні за для функціонування даної системи цілий рік.
- 3) Електролізна установка може разом працювати з газифікатором, тобто кисень, який буде виділятися під час реакції в системі буде подаватися в газифікатор для газифікації паливної сировини.
- 4) Електролізна установка може працювати вночі коли є провал в графіку споживання електричної енергії і в свою чергу вирівнювати цей графік.

**Список літератури**

1. Office of Energy efficiency & renewable energy USA. URL: <https://www.energy.gov/>
2. Hydrogen for Australia`s future. August 2018. URL: <https://www.chiefscientist.gov.au/wp-content/uploads/HydrogenCOADWhitePaperWEB.pdf>
3. Hydrogen from renewable power. Technology outlook for the energy transition. September 2018.
4. Junyoung Kim, Areum Jun, Ohhun Gwon, Seonyoung Yoo, Mellin Liu, Jeeyoung Shin, Tak-Hyoung Lim, Guntae Kim. Hybrid-solid oxide electrolysis cell: A new strategy for efficient hydrogen production, 2018.
5. Соловей В.В., Котенко Ф.Л., Воробйова І.О., Шевченко А.А, Зіпунніков М.М. Основні принципи роботи і алгоритм керування безмембранним електролізером високого тиску. 2018.

**УДК 621.311**

**О.С. Голодний** студент групи ОЕ-81мп, канд.техн.наук, доцент **Коцар О.В.**  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

**ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ НОРМАТИВНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ  
ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ СПОЖИВАЧІВ В ЛІБЕРАЛІЗОВАНОМУ РИНКУ  
ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ УКРАЇНИ**

*В Україні набув чинності Закон України «Про ринок електричної енергії». До основних цілей закону належить впровадження повномасштабного конкурентного ринку електричної енергії, яке заплановано на липень 2019 року. Він передбачає впровадження нової конкурентної моделі ринку і норм Третього енергетичного пакету ЄС. Реформа ринку електричної енергії повинна відкрити доступ до ринку для нових учасників, надати споживачам право вибору та доступні ціни на електропостачання. Проте, для кращого розуміння процесу реформування цієї галузі важливо поглянути на весь процес з урахуванням досвіду інших країн.*

**Ключові слова:** Лібералізація, Закон про ринок електричної енергії, споживач, постачання, реформа, енергетичний пакет.

**Annotation:** *The Law of Ukraine "On the Electricity Market" came into force in Ukraine. The main objectives of the law include the introduction of a fully-fledged competitive electricity market, scheduled for July 2019. It envisages the introduction of a new competitive market model and the rules of the Third Energy Package of the EU. The reform of the electricity market should open market access for new entrants, provide consumers with the right to choose and affordable electricity prices. However, for a better understanding of the process of reforming this industry, it is important to look at the whole process, taking into account the experience of other countries.*

**Key words:** *liberalization, law on the market of electric energy, consumer, supply, reform, energy package.*

**Вступ .** З 1 січня в Україні почав діяти новий ринок електричної енергії. Лібералізація енергетичних ринків країн-членів ЄС почалася з прийняття Директиви 90/377/ЕЕС, щодо функцій Співтовариства з розвитку конкуренції та прозорості цін на електроенергію для кінцевих споживачів та вільної торгівлі. Процес лібералізації ринку електроенергії продовжився з прийняттям 19 грудня 1996 р. Директиви 96/92/ЕС щодо спільних правил для внутрішнього ринку електроенергії, яка визначила шляхи переходу до конкурентного ринку з вільним вибором споживачем продавця електроенергії. Згідно із зазначеною Директивою вимагається поступове відкриття країнами ЄС своїх ринків електричної енергії та поглиблення рівня конкуренції на роздрібних ринках. Крім того, згідно з Директивою вимагається розмежування видів діяльності в електроенергетичному секторі та відкритого і недискримінаційного доступу до ринку та до електричних мереж.<sup>[1]</sup>

У листопаді 2002 р. було прийнято Другий енергетичний пакет, положення якого спрямовано головним чином на забезпечення вільного доступу до мереж та подальший розвиток конкурентного середовища. У цілому Другим енергопакетом передбачено подальшу лібералізацією енергетичного сектора, – правила про розділення бухгалтерського (фінансового) обліку в вертикально інтегрованих компаніях-монополістах за видами діяльності, обмеження їхньої горизонтальної концентрації, впровадження конкуренції у сфері оптових і роздрібних поставок, моніторингу мереж передавання і розподілу енергії, керуванням доступом третіх осіб до енергетичної інфраструктури<sup>[1]</sup>.

У 2009 р. Європейським парламентом затверджено Третій енергетичний пакет енергетичного законодавства ЄС для забезпечення більш повної лібералізації енергетичного ринку, насамперед у електроенергетичному та газовому секторах. Третій енергетичний пакет надав національному регулюючому органу юридичної відокремленості та функціональної незалежності від будь-яких державних, громадських, приватних осіб, ринкових інтересів, включаючи персонал і осіб, відповідальних за керування. Одним із ключових моментів Третього енергетичного пакету є відокремлення діяльності з транспортування електричної енергії від інших видів діяльності (виробництва, купівлі – продажу електричної енергії).<sup>[1]</sup>

Четвертий етап було розпочато у 2018 році прийняттям четвертого енергетичного пакету, що передбачатиме створення сучасного дизайну для європейського енергоринку, адаптованого до нових реалій – більш гнучкого та пристосованого для інтеграції більшої частки відновлюваних джерел енергії.



Рисунок 1- Етапи лібералізації ринку електричної енергії

**Мета і завдання статті.** Метою дослідження є підвищення якості та надійності енергозабезпечення споживачів в лібералізованому ринку електричної енергії України. Для досягнення мети необхідно проаналізувати законодавчі та нормативні документи забезпечення функціонування ринку електричної енергії.

**Матеріал і результати досліджень).**

Починаючи з провадження першого енергетичного пакету, основну ціль що переслідували члени-країн Європейського Союзу було задоволення потреб кінцевого споживача. Саме таким шляхом починаючи з 2017 в Україні відбувається розвиток енергетичного сектору. Верховна рада та Національна комісія, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг (НКРЕКП) проробили великий об'єм роботи для переходу до нового енергетичного ринку. В цілому було прийняли та розробили більше 100 нормативно правових актів. Відбулося створення та впровадження гарантованого покупця для виробників із відновлюваних джерел енергії. Було здійснено відокремлення (анбандлінг) всіх обленерго та ДП «НЕК «Укренерго». <sup>[2]</sup>

Значний об'єм роботи було проведено над реформами роздрібного ринку, з створення та впровадження нової нормативної база для функціонування роздрібного ринку електричної енергії. Завдяки цьому на станом на березень 2019 року ми маємо 302 незалежних постачальників електроенергії, серед яких споживачі мають право вибирати «свого», найбільш зручного для нього для подальшої взаємовигідної співпраці. Відбулося відокремлення (анбандлінг) обленерго та створено нові суб'єкти роздрібного ринку електроенергії – оператор системи розподілу, постачальник послуг комерційного обліку та електропостачальник. <sup>[2]</sup>

В цілому завдяки отриманій інформації від НКРЕКП, на рисунку 2 ми можемо спостерігати наявну кількість постачальників за вільними цінами та станом на перший квартал 2019 року, та постачальників за нерегульованим тарифом до початку 2019 року. <sup>[3]</sup>

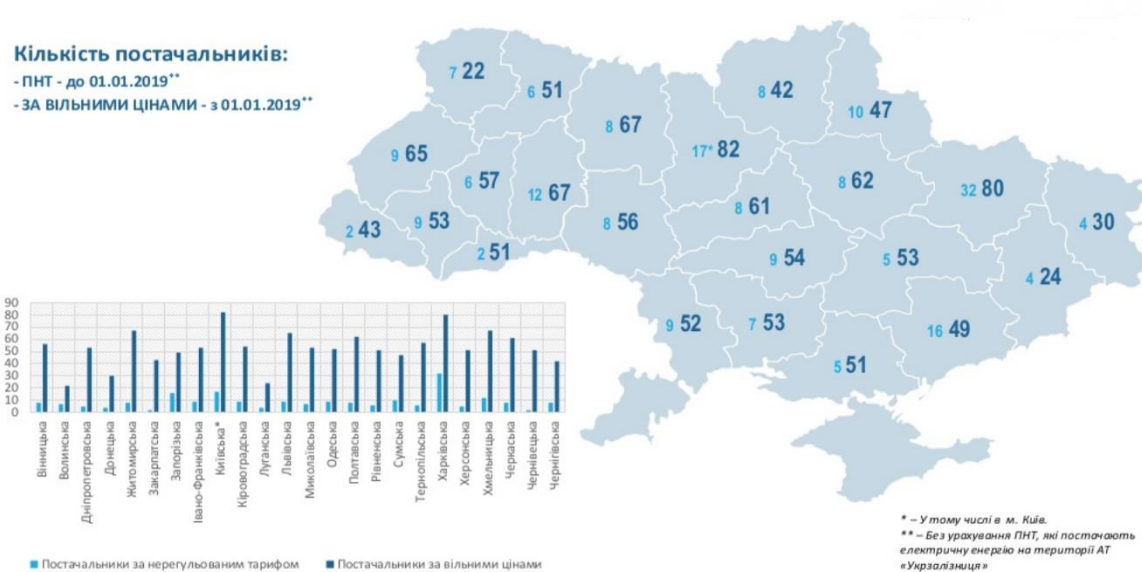


Рисунок 2 – Кількість електропостачальників в лібералізованому ринку електричної енергії України станом на I квартал 2019 року.

Основні умови діяльності учасників ринку електричної енергії та взаємовідносин між ними визначаються нормативно-правовими актами, що регулюють впровадження Закону України про ринок електричної енергії, зокрема:

- правилами ринку, які, в тому числі, визначають правила функціонування балансувального ринку та ринку допоміжних послуг;
- правилами ринку "на добу наперед" та внутрішньодобового ринку;
- кодексом системи передачі;
- кодексом систем розподілу;
- кодексом комерційного обліку електричної енергії;
- правилами роздрібного ринку.

Як наслідок, було встановлено структуру контрактних відносин між учасниками ринку та іншими ключовими процесами, такими, як правила зміни постачальника, процедури вирішення спорів або обліку.

В дослідження було встановлено основні перспективи та переваги для кінцевих входів проведення реформи енергетичного сектору України. Основною перевагою що з'являється в кінцевого споживача в ході лібералізації ринку е/е, це вільний вибір електропостачальника, що є дуже перспективним в ході вільної конкуренції. Демоніполізація постачання електроенергії дасть можливість споживачеві вільно обирати та змінювати постачальника електроенергії у будь-який час, а також підштовхне лібералізацію роздрібного ринку. Також у новій моделі ринку споживачі мають право укласти прямі двосторонні договори з виробниками на умовах, які є предметом домовленості сторін, у тому числі з фіксацією ціни на електроенергію на довгостроковий термін, що дозволить більш чітко прогнозувати доходи та видатки.

Однією з ключових реформ для розвитку бізнесу, є можливість вільного управління споживанням електроенергії. Складності та обмеження що існували від оператора системи розподілу раніше, у вигляді обмеження споживання та встановлення обов'язкового дотримання графіків споживання за не виконання яких можливе відключення споживача,

мають бути відмінені та переглянуті, що буде сприйняти більш оптимальному будівництву нового бізнесу та розвитку вже діючого бізнесу. В свою чергу побутові споживачі матимуть також чималий перелік прогнозованих бенефітів, таких як збереження соціальних тарифів. Регулятор встановлює групи побутових споживачів та розміри тарифів. Споживачі зможуть отримати додатковий дохід у разі участі на ринку допоміжних послуг (зниження споживання у пікові години та послуг з регулювання напруги та реактивної потужності).

Невід’ємною складовою нового енергетичного ринку є прямі договори. У новій моделі ринку споживачі мають право укладати прямі двосторонні договори з виробниками на умовах, які є предметом домовленості сторін, у тому числі з фіксацією ціни на електроенергію на довгостроковий термін, що дозволить більш чітко прогнозувати доходи та видатки. Створення конкурентного середовища серед постачальників електричної енергії, в свою чергу має викликати поліпшення якості сервісу та підвищення якості обслуговування. Поліпшення якості постачання має викликати запровадження відповідальності постачальників за якість, що в свою чергу призведе до зниження кількості відключень та часу ліквідації аварій.

Також поліпшення якості електроенергії має бути створене залученням інвестицій в розподільчі мережі, сприятливі умови для цього будуть створені в ході реформи. Та знову ж таки завдячуючи конкуренції на роздрібному ринку, відбудеться стимулювання постачальників покращувати якість обслуговування споживачів і швидше реагувати на їхні скарги. Законом передбачено посилення контролю за розглядом та реагуванням на скарги споживачів.

Одним з яскравих прикладів впровадження політики зворотнього зв’язку та з метою почути кожного споживача на початку 2019 року Національна комісія, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг (НКРЕКП) вперше в Україні було створено додаток, спрямований сприяти створенню ефективних енергетичних ринків, де в центрі уваги перебуватиме споживач, під назвою «Енергетика Онлайн»<sup>[5]</sup>. Мобільний додаток було створено з метою спрощення доступу до інформації та підвищення рівня прозорості в енергетичному секторі України та надає споживачам широкий ряд можливостей.

Споживач може в будь-який зручний для нього момент часу може отримати оперативну інформацію про діючі тарифи та порівняти їх з ціновими пропозиціями, які діють у сусідніх областях (рис.2). Від тепер споживачеві не потрібно буде чекати та надіятись на те, що поштова служба вчасно доставить квитанцію за використані ним послуги споживання електро- та газопостачання, завдяки додатку він завжди зможе зробити це online. Також додаток надає можливість функції “зворотнього зв’язку” з компанією яка являється вашим постачальником послуг, та дозволяє оформити скаргу в разі як що у Вас виникли будь-якого роду зауваження до її роботи. Також політика “зворотнього зв’язку” передбачає надання вам можливості подати заяву на компенсацію за неякісно надані послуги у сферах електро- та газопостачання, причому зробити це прямо в додатку, не витрачаючи час на черги в держустановах. Також як що вами було помічено зловживання енергокомпаній щодо порушень з боку їх посадових осіб та персоналу за допомогою додатку у Вас є можливість повідомити про це, та ваша заявка було розглянута в оперативному порядку. Так як суть енергоринку є задоволення кінцевих потреб споживача, ваша думка є надзвичайно важливою, тому ви завжди можете • оцінити роботу центрів обслуговування операторів мереж та постачальників газу і електроенергії та • контролювати розробку та виконання інвестиційних програм і надавати пропозиції щодо їх покращення. Всі вище вказані функції та переваги додатку можливо побачити на рисунку

3.

В додатку ви завжди матимете можливість знайти відповіді на актуальні запитання щодо надання субсидії, термінів оплати рахунків за послуги, погашення заборгованості,

енергозбереження тощо. Завдяки зручному і доступному інтерфейсу та простій системі реєстрації, додаток «Енергетика Онлайн» дійсно можна вважати, як прямий зв'язок між Регулятором і кінцевим споживачем. Це допоможе Регулятору краще моніторити якість послуг, а споживачів зробить більш поінформованими і дасть у майбутньому можливість обирати постачальників залежно від ціни». [4]

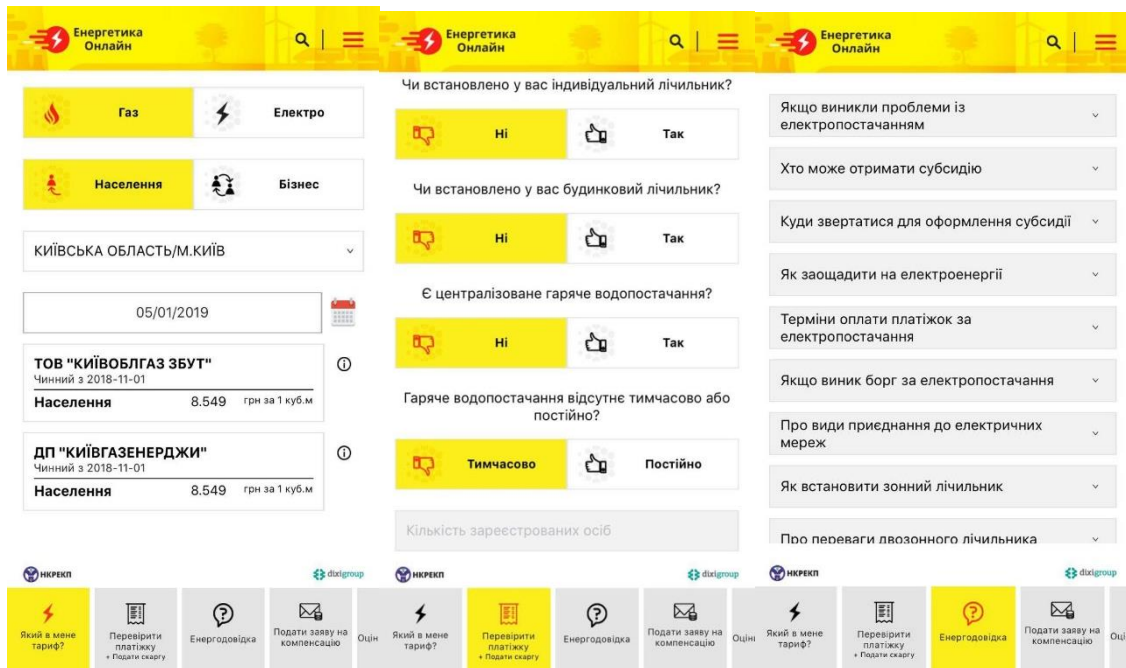


Рисунок 3 – Інтерфейс додатку «Енергетика Онлайн».

**Висновок:** Дані кроки та етапи лібералізації ринку електричної енергії вимагали значних зусиль, і деякі аспекти залишаються спірними та невирішеними. Модель компенсації для постачальників універсальних послуг для пом'якшення наслідків можливої нестабільності оптового ринку після липня 2019 року далека від чіткої. Ситуація із захищеними споживачами та питання щодо належного балансу між платіжною дисципліною та захистом від переривань поставок залишаються невирішеними. Необхідно запровадити ефективну систему підтримки вразливих споживачів, які мають труднощі з оплатою комунальних послуг.

Незважаючи на всі ці недоліки та неминучі виклики, є підстави привітати Україну за зусилля з лібералізації своїх енергетичних ринків. З 1 липня розпочнеться другий етап реформи енергосектору, і саме з цього періоду Національний регулятор має вирішити всі складні питання що постають на сьогодні перед ним та до кінця впровадити всі ті переваги які були представлені в даній роботі. Очевидно, щоб роздрібні та оптові ринки електроенергії стабілізувалися, знадобиться деякий час, але наприкінці шляху лежить винагорода за більш конкурентний і безпечний ринок електроенергії з перспективою приєднання до загальноєвропейського ринку електроенергії на рівних умовах, на користь українського споживача.

#### Список використаних джерел:

1. Огляд реформування ринків електроенергії. Практика обмеження монополізації генерації на ринках електроенергії провідних зарубіжних країн [Електронний ресурс] / Підготовлено відділом інформаційно-аналітичного забезпечення зарубіжною інформацією ВП

НТЦЕ ДП «НЕК «Укренерго» .// .// -2014.-Режим доступу до ресурсу: <https://ua.energy/wp-content/uploads/2018/01/5.-Reformuvannya-rynkiv-elektroenergiyi.pdf>

2. Струм по-європейськи: як Україна лібералізує свій ринок електроенергії [Електронний ресурс] /Марина Гришаніна.// -2019.- Режим доступу до ресурсу: <https://sk.ua/wp-content/uploads/2019/03/%D0%93%D1%80%D0%B8%D1%86%D0%B8%D1%88%D0%B8%D0%BD%D0%B0-MIND1-1.pdf>

3. Роздрібний ринок електричної енергії України: перший місяць функціонування, виклики, проблеми та шляхи їх подолання. [Електронний ресурс] /НКРЕКП.// -2019.- Режим доступу до ресурсу: <https://www.slideshare.net/NKREKP/ss-130874264>

4. НКРЕКП презентувала перший в Україні мобільний додаток «Енергетика Онлайн» [Електронний ресурс] Режим доступу до ресурсу: <http://www.nerc.gov.ua/?news=8746>

5. Додаток Energy Online Play Market:  
<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.energyonline&hl=ru> App Store:  
<https://itunes.apple.com/ua/app/energyonline/id1441399796?l=uk&mt=8>

УДК 621.311

Лило І.В.

Гліба Д.М.

*магістранти кафедри електропостачання  
Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»*

## **ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК АКБ ПРИ ЇХ ВИКОРИСТАННІ В РІЗНИХ СХЕМАХ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ**

*Стаття присвячена аналізу стаціонарних статичних акумулюючих установок для накопичення надлишкової енергії ВДЕ.*

*Визначено ряд параметрів які є основоположними для вибору АКБ, а також додаткові параметри які слід враховувати при виборі акумулюючої установки для забезпечення конкретизованих систем гарантованого електропостачання. Кожному параметру було визначено діапазон значень окремо для кожної технології виготовлення АКБ. Всі існуючі АКБ були розділені на 3 основних технології виготовлення, в кожній групі наведені основні їх представники з параметрами. Були розглянуті переваги кожної окремої групи, а також їх місце на ринку і можливість подальшого розвитку.*

**Ключові слова:** технологія виготовлення, АКБ акумулююча установка, ВДЕ, СЕС, ВЕС, система гарантованого електропостачання, параметризація вихідних даних, аналіз вимог, вибір варіантів конфігурацій.

*The article is devoted to the analysis of stationary static storage facilities for the accumulation of excess energy of renewable energy sources.*

*A number of parameters have been determined that are fundamental for the selection of batteries, as well as additional parameters that should be considered when choosing a storage plant to provide certain guaranteed power supply systems. Each parameter was defined range of values separately for each technology of manufacturing batteries. All existing batteries were divided into 3*

*main manufacturing techniques, in each group their main representatives were induced with parameters. The advantages of each individual group were considered, as well as their place in the market and the possibility of further development.*

**Key words:** *manufacturing technology, battery storage installation, renewable energy sources, SES, WES, guaranteed power supply system, parameterization of source data, requirements analysis, the choice of configuration options.*

### **Загальна постановка проблеми**

Питання забезпечення належного рівня надійності енергозбереження споживачів, зокрема в умовах ринкових відносин в галузі, набуває особливого значення. Додатково це питання розглядається в контексті збільшення в структурі виробництва електричної енергії в Україні поновлюваними джерелами, основною особливістю яких є їх залежність від природних факторів.

Все це вимагає активізувати питання розгляду в системах гарантованого живлення акумулюючих пристроїв пристроїв. З'явилися установки які потребують використання електрохімічних акумуляторів в специфічних умовах.

Для вирішення проблеми вибору оптимального АКБ для конкретної системи гарантованого електропостачання необхідно провести порівняльний аналіз техніко-економічних характеристик АКБ для формування найбільш доцільних варіантів.

З цієї причини на ринку акумуляторів потрібно підбирати найкращі рішення для електронакопичувальної установки з відповідними характеристиками.

### **Аналіз останніх досліджень і публікацій**

На світовому ринку найбільш поширеними є літійові, свинцеві та системи акумуляування на основі нікелю.

Літій-іонні батареї займають 37% ринку і мають застосування в портативних пристроях і електричних силових агрегатах.

Свинцево-кислотні системи які зайняли 33% і є надійним та економічним джерелом живлення для найширших сфер застосування. Область їх застосування можна розділити: (20%) стартерні акумуляторні батареї, (8%) для резервного живлення, і (5%) на батареї для електротранспорту.

Нікелевмісні батареї мають великий строк служби та не бояться повного розряду, але вони займають лише 3% на ринку.

Виробники електричних батарей постійно підвищують два їх основні параметри енергоемність, яка впливає на тривалість розряду, і питому потужність для зростаючого струмового навантаження, дані показники є незалежними один од одного (підвищення одного не призводить до автоматичного підвищення другого).

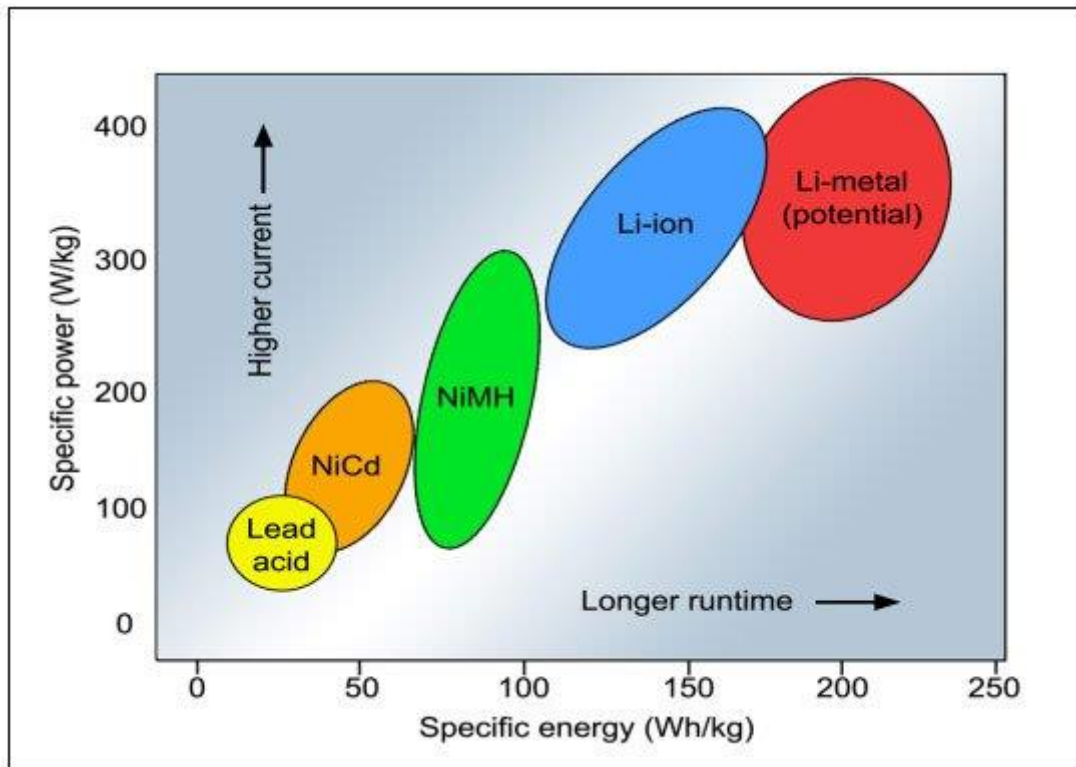


Рисунок 1-Залежність між питомою енергоємністю (Вт·год/кг) і питомою потужністю (Вт/кг).

Питома енергоємність є параметром батареї, інформує про зміст кількості (Вт·год) енергії на вагу (кг) батареї; питома потужність же інформує про кількість потужності (Вт) на кілограм ваги. Ці параметри, на даний момент, є основоположними при виборі батарей.

### Формування цілей статті

Метою даної статті є проведення порівняльного аналізу техніко-економічних характеристик АКБ і формування пропозицій щодо визначення найбільш доцільного варіанта їх використання в різних схемах електропостачання. Для досягнення поставленої мети повинні бути вирішені наступні питання:

- визначення основних параметрів генеруючої установки та споживача які впливають на вибір акумуляторної батареї;
- визначення основних параметрів акумуляторної батареї на підставі яких проводиться вибір;
- присвоєння кожному параметру аспекту важливості в сукупному списку параметрів;
- створення таблиці зі значеннями та діапазонами параметрів для кожної окремої технології акумуляторів;
- визначення можливості застосування даних параметрів та класифікацій в системах гарантованого електропостачання.

### Викладення основного матеріалу досліджень

У даній статті ми розглянемо три технології за якими виготовляють АКБ.

1) Свинцево-кислотні АКБ

2) Літій-іонні

3) Нікеле-вмістні

До технології виробництва свинцево-кислотних АКБ відносяться такі підгрупи: LA, VRLA, AGM VRLA, GEL VRLA, OPzV, OPzS.

Даний тип акумуляторів набув широкого поширення завдяки помірній ціні, високій питомої потужності, і досить високого ресурсу (від 300 до 3000 циклів заряду / розряду в залежності від типу).

Свинцево-кислотні типи акумуляторів виробляються в корпусах-моноблоках, що обслуговуються або що не обслуговуються це дає їм ряд переваг таких як досить висока стійкість до механічних, термічних і вібраційних дій.

До їх недоліків відносяться досить великі габарити та не дуже висока питома енергоемність в порівнянні з іншими технологіями, так само при використанні АКБ даного типу в ВДЕ може привести до сульфатації оскільки сонячні батареї та вітряні турбіни не завжди можуть забезпечувати достатню зарядку.

До технології виробництва літій-іонних АКБ відносяться такі підгрупи: LiCoO<sub>2</sub>, LiMn<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, LiNiMnCoO<sub>2</sub>, LiFePO<sub>4</sub>, LiNiCoAlO<sub>2</sub>, Li<sub>4</sub>Ti<sub>5</sub>O<sub>12</sub>, LiPo.

Літій-іонні АКБ отримали дуже широке поширення насамперед через свою дуже високу питому енергоемність. Незаперечною перевагою є: відсутність ефекту пам'яті, дуже низький відсоток саморозряду, можливість виробляти АКБ будь-яких форм і розмірів, величезний в порівнянні з іншими технологіями ресурс роботи (понад 1000 циклів).

Недоліком є відносна дороговизна, низька стійкість до перезаряду і глибокого розряду, ефективність роботи знижується при нагріванні батареї вище заявлених виробником.

Видів і модифікацій нікель-кадмієвих АКБ так само велика кількість і основне своє застосування отримали дані батареї в акумуляторному інструменті, до їх основних плюсів можна віднести: низьку ціну таких акумуляторів, можливість віддавати найбільший струм навантаження, можливість швидкого заряду, великий ресурс роботи (понад 1000 циклів).

Недоліками є: АКБ містить токсичний кадмій, відносно високий рівень саморозряду, ефект пам'яті, після тривалого зберігання потрібно 5-6 циклів повної розрядки та зарядки.

Акумулятори для СЕС і ВЕС - це одна з основних складових таких станцій. Оскільки обидва ці типи виробництва електроенергії не можуть гарантувати стабільне і безперервне вироблення енергії, гостро стоїть питання про її накопиченні для подальшого використання. Таким чином, саме АКБ для систем СЕС і ВЕС можна назвати найважливішим елементом для безперебійного енергопостачання. За результатами обробки експертних оцінок з приводу найбільш важливих факторів сформовані критерії характеризуючі акумуляторну батарею. З огляду на специфіку роботи станцій, до АКБ пред'являється цілий комплекс вимог, серед яких:

- **Можливість багаторазової зарядки;**
- **Невисокий саморозряд;**
- **Робота при великому діапазоні температур;**
- **Мінімум вимог до обслуговування;**
- **Висока питома енергоемність.**

На підставі перерахованих вище вимог створена таблиця з параметрами різних типів АКБ за трьома основними технологіями.

| Параметр \тип                    | Свинцово-кислотные АКБ |           |           |           |           |           | Литий-ионные |            |            |           |            |            |          | Никель содержащие |                   |           |
|----------------------------------|------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|--------------|------------|------------|-----------|------------|------------|----------|-------------------|-------------------|-----------|
|                                  | LA                     | VRLA      | AGM VRLA  | GEL VRLA  | OPzV      | OPzS      | LiCoO2       | LiMn2O4    | LiNiMnCoO2 | LiFePO4   | LiNiCoAlO2 | Li4Ti5O12  | LiPo     | Ni-MH             | Ni-H <sub>2</sub> | Ni-Cd     |
| Ёмкость, Ампер/час               | 10 - 300               | 1 - 300   | 1 - 1000  | 1 - 3000  | 50-3500   | 50-3500   | 1,1-3,6      | 1,1-3,6    | 1,1-3,6    | 1,1-3,6   | 1,1-3,6    | 1,1 - 30   | 1,1-10   | 1,1-10            | 100               | 10-1210   |
| Удельная энергоёмкость, Вт·ч/кг  | ~30-40                 | ~30-60    | ~30-60    | ~30-60    | ~25-30    | ~25-30    | ~90-280      | ~90-250    | ~80-240    | ~90-250   | -          | -          | ~280     | ~60-72            | 50-75             | ~45-65    |
| Напряжение, Вольт                | 6;12                   | 4;6;12    | 2;4;6;12  | 2;6;12    | 2         | 2         | 3,6          | 3,7        | 3,6-3,7    | 3,2       | 3,6        | 2,4        | 3,7-3,8  | 1,2-1,25          | 1,25              | 1,2-1,4   |
| Оптимальная температура, °C      | 0...+45                | +15...+25 | +10...+25 | +10...+25 | 0...+30   | 0...+30   | +20...+30    | +20...+30  | +20...+30  | +20...+30 | +20...+30  | +20...+30  | 0...+50  | +20...+30         | +20...+30         | +15...+25 |
| Диапазон рабочих температур, °C  | -50...+70              | -35...+60 | -40...+70 | -40...+70 | -40...+70 | -40...+70 | -10...+60    | -10...+45  | -10...+55  | -10...+60 | -10...+55  | -10...+45  | -5...+50 | -10...+40         | -5...+35          | -40...+60 |
| Срок службы, лет при +20 °C      | <7                     | <7        | 5 - 15    | 8 - 15    | 15 - 20   | 17 - 25   | 5-7          | 10         | 10         | 10 - 25   | 20 - 25    | 18 - 25    |          | -                 | 5...15            | 20-25     |
| Количество циклов заряда разряда | 300-400                | <250-300  | <1000     | <1400     | <3200     | <3300     | 700-1000     | 1000-2000  | 1000-2000  | 1000-2000 | 1000-2000  | 5000-8000  | 500-1000 | <1000             | 3000-20000        | <1000     |
| Саморазряд, %                    | 3 - 5                  | 2 - 3     | 1 - 2     | 1 - 2     | 1 - 2     | 1 - 2     | 1 - 2        | 1 - 2      | 1 - 2      | 5 - 10    | 1 - 2      | 1 - 2      | 4 - 5    | 15 - 30           | 50-70             | 10 - 20   |
| Макс.ток заряда, % от ёмкости    | 10 - 20                | 20 - 25   | 20 - 30   | 15 - 20   | 15 - 20   | 10 - 15   | 1C           | 10C/30C 5C | 2C         | 25-30C    | 1C         | 10C/30C 5C | 1C       | 0,1C-0,3C         | 0,7C              |           |
| Макс.ток разряда, % от ёмкости   | -                      | -         | -         | -         | -         | -         | 0,7-1C       | 0,7-1C     | 0,7-1C     | 1C        | 0,7C       | 1C         | 5-40C    | -                 | 1,5C              | 40-50C    |
| Минимальное время заряда, ч      | 8 - 12                 | 6-10      | 6 - 10    | 8 - 12    | 10 - 14   | 10 - 15   | 2-3          | 2-2,5      | 2-3        | 2-3       | 2-3        | 2-3        | 3-4      | 10 - 16           | -                 |           |
| Максимальная глубина разряда, %  | -                      | <75       | <80       | <90       | <90       | <100      | 100          | 100        | 100        | 100       | 100        | 100        | 100      | -                 | -                 | 100       |
| Оптимальная глубина разряда, %   | -                      | 30        | <40       | <50       | <60       | <60       | 85-90        | 85-90      | 85-90      | 85-90     | 85-90      | 85-90      | 85-90    | -                 | -                 | 50-80     |
| Требования к обслуживанию        | 3 - 6 мес              | нет       | нет       | нет       | нет       | 1-2 года  | нет          | нет        | нет        | нет       | нет        | нет        | нет      | -                 |                   |           |
| Средняя стоимость, \$ 12В/100А·ч |                        |           |           |           |           |           |              |            |            |           |            |            |          |                   |                   |           |

Таблица 1.-Технічні параметри різних типів АКБ

Дана таблиця застосовується як джерело даних для підбору варіантів конфігурацій систем накопичення. Серед пропозицій ми можемо знайти як бюджетні комплектації, так і АКБ з більш високими технічними характеристиками в більш високому ціновому сегменті. У таблиці на даний момент ми не можемо визначити середню вартість батареї оскільки її ціна дуже сильно варіюється в залежності від компаній виробників і регіону поставки.

### **Висновки.**

- Проведено аналіз найбільш розповсюджених видів АКБ, сформована база АКБ на підставі найбільш важливих експлуатаційних вимог, що дає можливість забезпечити попереднє прийняття рішення про вибір акумуляторної батареї в різних схемах.
- Аналіз схем підключення АКБ в умовах генерації та споживання електроенергії, циклу заряду-розряду акумуляторних установок дозволив сформувати перелік критеріїв які повинні враховуватись при виборі АКБ для забезпечення економічно доцільної роботи схеми.
- Проведенні дослідження дають можливість сформувати підходи до оптимального вибору АКБ для різних схем підключення при дотриманні переліку вимог, формування груп АКБ, в тому числі в умовах невизначеності параметрів.

### **Список використаних джерел**

1. Абрамова О. Анализ мирового рынка электрических батарей [Електронний ресурс] / Олеся Абрамова // Best Energy. – 2016. – Режим доступу до ресурсу: <https://best-energy.com.ua/support/battery/695-bu-103>.
2. Анастасія Л. Сравнение аккумуляторов различных типов [Електронний ресурс] / Літвинова Анастасія // Nature Time. – 2014. – Режим доступу до ресурсу: <https://nature-time.ru/2014/06/sravnenie-akkumulyatorov-razlichnyih-tipov/>.
3. Аккумуляторы EverExceed серии SOLAR GEL RANGE [Електронний ресурс] // Pulsar limited. – 2019. – Режим доступу до ресурсу: [https://pulsar.kiev.ua/solar\\_gel\\_range](https://pulsar.kiev.ua/solar_gel_range).

УДК 621.317

**Стецина А.О., студентка магістратури, наук. керівник: Коцар О.В., к.т.н., доцент**  
**Інститут енергозбереження та енергоменеджменту,**  
**КПІ ім. Ігоря Сікорського**

### **АДАПТИВНЕ ПЛАНУВАННЯ ПОПИТУ В УМОВАХ ЛІБЕРАЛІЗАЦІЇ РИНКУ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ УКРАЇНИ**

***Анотація.** В статті запропоновано механізм та визначено спосіб зниження вартості електричної енергії для кінцевого споживача через адаптивне планування власного попиту з метою оптимізації закупівель електропостачальника в лібералізованому ринку електричної енергії України.*

***Ключові слова:** ринок енергії, попит, кінцевий споживач, електропостачальник, графік споживання, прогноз.*

Stetsyna A.O., Master student, Research Supervisor: Kotsar O.V., Ph.D., Assoc. Prof.  
Institute of energy saving and energy management,  
Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute

## THE ADAPTIVE PLANNING OF THE DEMAND IN CONTEXT OF LIBERALIZATION OF THE ELECTRICITY MARKET OF UKRAINE

**Abstract:** *This article offers the mechanism and the way of reducing of electricity prices for the final consumer through the adaptive planning of his demand to optimize electricity prices of the power supplier in the liberalized electricity market of Ukraine.*

**Keywords:** *energy market, demand, final consumer, a supplier of electricity, electric energy usage chart, prognosis.*

В умовах лібералізації ринку електричної енергії України та збільшення частки генерувальних потужностей на базі альтернативних та відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) в енергобалансі країни завдання ефективного використання паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР) та зменшення шкідливого впливу на навколишнє природне середовище набуває нового змісту. Оскільки графік виробітку електроенергії на базі ВДЕ в загальному випадку не є рівномірним в часі і, до того ж, слабо прогнозованим в короткостроковій і практично не прогнозованим в середньостроковій та довгостроковій перспективі, головним завданням під час балансування електроенергетичної системи (ЕЕС) стає узгодження попиту на електричну енергію поточним рівням її виробітку в реальному часі. Втім, успішне розв'язання поставленого завдання вимагає ретельної підготовки як з боку виробників, так і з боку споживачів електричної енергії, зокрема, адаптивного планування останніми власного попиту.

В умовах функціонування лібералізованого ринку закупівля електричної енергії здійснюється в декілька послідовних в часі етапів на декількох торговельних площадках у відповідних сегментах ринку [1]. Головна мета такого підходу – зробити процеси виробітку та використання електричної енергії максимально передбачуваними і залучити для покриття попиту в кожний момент часу оптимальну структуру генерувальних потужностей як з огляду на мінімальну вартість електроенергії, так і з огляду на ефективне використання ПЕР та мінімізацію негативного впливу на довкілля.

На першому етапі споживачі (точніше, їхні торговельні агенти – електропостачальники) законтрактовують на ринку двохсторонніх договорів (РДД) обсяги електричної енергії на довгострокову перспективу, наприклад, на рік, відповідно до прогнозованих потреб споживачів. Причому, окремо законтрактовуються базова, маневрена потужність тощо. В цьому сегменті ринку вартість закупівлі визначається на договірній основі і очікувано буде найнижчою. Тому кожний електропостачальник, який зацікавлений в першу чергу в закупівлі електричної енергії за найнижчою вартістю, прагнутиме максимально законтрактувати необхідний йому обсяг електричної енергії саме на РДД. Оскільки вартість «маневреної» енергії суттєво вища за вартість «базової», з огляду на структуру генерувальних потужностей в Україні вирівнювання результуючого графіка споживання для електропостачальника є актуальним. До 10:00 доби Д-1 кожний електропостачальник має зареєструвати у оператора ринку (ОР) погодинний графік використання законтракованої на РДД електроенергії (рис. 1).

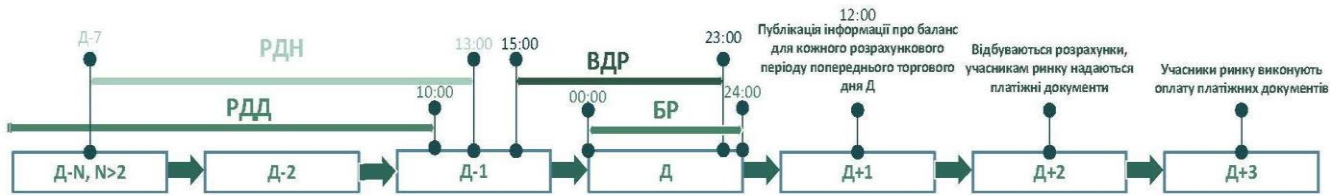


Рисунок 1. Часові регламенти здійснення закупівель в лібералізованому ринку електричної енергії України

Обсяги електроенергії, які з різних причин не було законтрактовано на РДД, але на які є попит, може бути додатково законтрактовано на ринку «на добу наперед» (РДН). Ціна на РДН на кожен операційний період визначається за принципом граничного ціноутворення на основі балансу сукупного попиту та сукупної пропозиції на ринку. Учасники РДН можуть подавати заявки на торги РДН за 7 календарних днів до доби постачання. Результати торгів на РДН визначаються ОР о 13:00 доби D-1, що передусь добі постачання [2].

За правилами РДН учасники ринку подають ОР заявки з пропозиціями купівлі/продажу електричної енергії на кожен годину операційної доби D. Результуючий графік навантаження учасника ринку – електропостачальника формується, виходячи з графіків навантаження його клієнтів – кінцевих споживачів. Під час торгів формується ціна на кожний операційний період (кожну годину доби), яка залежить від структури генерувальних потужностей, що залучаються для покриття попиту протягом цього періоду. Учасник ринку не може коригувати свою заявку після закриття воріт РДН, але може це зробити у наступному сегменті – внутрішньодобовому ринку (ВДР) [2].

Кваліфікований кінцевий споживач до закриття воріт РДН здатний планувати власний графік електроспоживання (графік щогодинного використання електричної потужності), маючи на меті максимально законтрактувати необхідний саме йому обсяг електричної енергії, зокрема, протягом кожної операційної доби D, на РДД і мінімізувати закупівлю електричної енергії на РДН і балансуєчному ринку (БР). Альтернативою для такого кінцевого споживача може бути адаптивне планування власного попиту з метою мінімізації вартості закупівлі електричної енергії його електропостачальником з перспективою отримати від електропостачальника за це певну знижку. Джерелом такої знижки можуть слугувати кошти, заощаджені під час закупівлі електропостачальником електричної енергії на РДД.

За результатами адаптивного планування попиту споживачами електропостачальник може максимізувати закупівлі електричної енергії на РДД і мінімізувати їх на РДН. Таким чином, РДД та РДН можна розглядати, як платформу для запровадження механізму адаптивного планування власного попиту кінцевими споживачами.

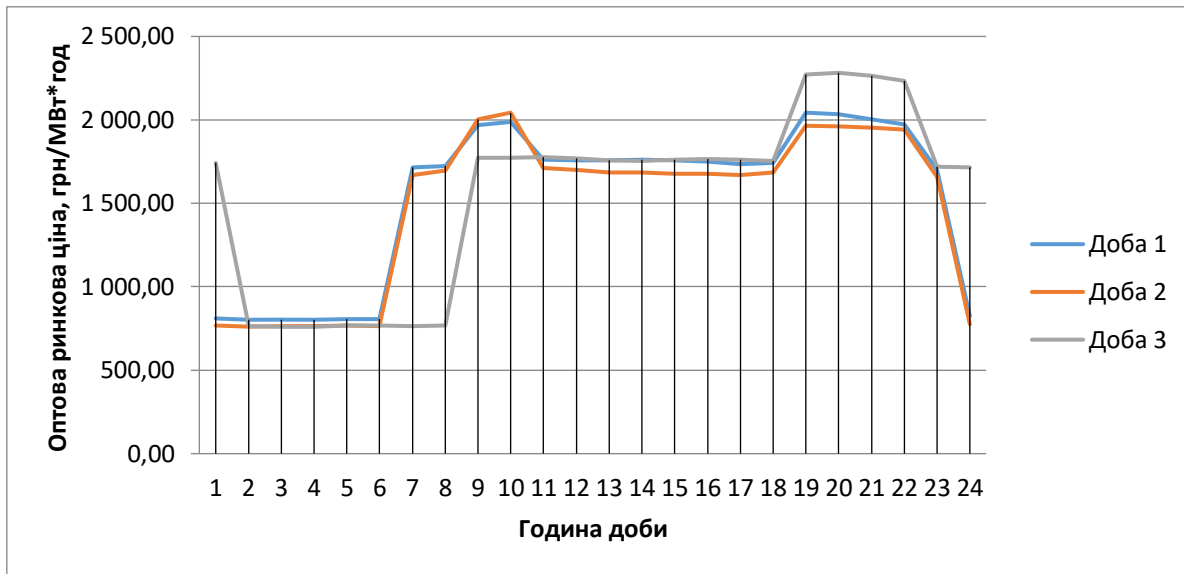


Рисунок 2. Графіки змінення закупівельної ціни на електричну енергію протягом трьох діб

На рис.2 наведено графіки змінення закупівельної ціни на електричну енергію протягом трьох діб березня 2019 року [3]. Всі три графіки мають подібну форму: суттєво зниження ціни в години «нічного провалу» та максимум ціни в пікові години – о 19-22 годині – що відповідає вечірньому періоду максимальних навантажень енергосистеми. Варто також звернути увагу на суттєву відмінність закупівельної ціни в першу годину доби 3 від ціни за той самий період в попередні доби.

Маючи на меті зменшити вартість електричної енергії, кваліфікований кінцевий споживач прагнучим оптимізувати графік її використання протягом операційної доби  $D$ :

$$\sum_{i=1}^{24} ((W_i + \Delta W_i) \cdot b_i) \rightarrow \min,$$

де  $W_i$  – очікуваний попит споживача на електричну енергію протягом  $i$ -ї години операційної доби  $D$ , кВт·год;  $\Delta W_i$  – заплановане змінення величини електроспоживання споживача протягом  $i$ -ї години операційної доби  $D$ , кВт·год, може приймати як додатне, так і від’ємне значення;  $b_i$  – ринкова вартість електричної енергії протягом  $i$ -ї години операційної доби  $D$ , визначена за результатами торгів на РДН. Обмеження:

1)  $\sum_{i=1}^{24} W_i = \sum_{i=1}^{24} (W_i + \Delta W_i)$  – обсяг використання електричної енергії протягом  $i$ -ї години операційної доби  $D$  залишається незмінним, що зумовлено виробничим циклом споживача. Іншими словами  $\sum_{i=1}^{24} \Delta W_i = 0$ .

2)  $|\Delta W_i|/t \leq \Delta P_{i\text{доп}}$ , де  $\Delta P_{i\text{доп}}$  – допустиме з огляду на технічні обмеження і виробничі потреби навантаження, яким споживач може і готовий оперувати протягом  $i$ -ї години операційної доби  $D$  з метою запланованого змінення величини електроспоживання протягом  $i$ -ї години операційної доби  $D$ , кВт, визначається службою енергоменеджменту підприємства;  $t = 1$  год. Очевидно  $\Delta W_i$  є дискретною величиною, що зумовлено технічними характеристиками споживачів-регуляторів, які застосовуються для управління попитом [4].

3)  $(W_i + \Delta W_i)/t \geq P_{i\min}$ , де  $P_{i\min}$  – мінімально допустимий рівень навантаження споживача для  $i$ -ї години операційної доби  $D$ , зниження до якого не призведе до порушень технологічних процесів і виробничого циклу споживача, кВт;  $t = 1$  год.

4)  $(W_i + \Delta W_i)/t \leq P_{i\max}$ , де  $P_{i\max}$  – максимально можливий з огляду на технічні обмеження і виробничі потреби рівень навантаження споживача для  $i$ -ї години операційної доби  $D$ , кВт;  $t = 1$  год.

На рис. 3 наведено запланований графік електроспоживання кінцевого споживача, його електропостачальника та прогнозований графік змінення ринкової ціни на електричну енергію. За таких умов електропостачальник може укласти контракт на РДД на добовий договірний обсяг, що становить 28 МВт\*24 год, з базовою генерувальною одиницею (наприклад, блоком атомної електричної станції /АЕС/). Для кінцевого споживача за такого плану електроспоживання є можливість законтрактувати 5,6 МВт\*24 год.

Вартість електричної енергії, яку було вироблено АЕС, за досліджуваний період склала 574,47 грн/МВт\*год [5]. Вартість електричної енергії для споживача та електропостачальника наведено в табл. 1.

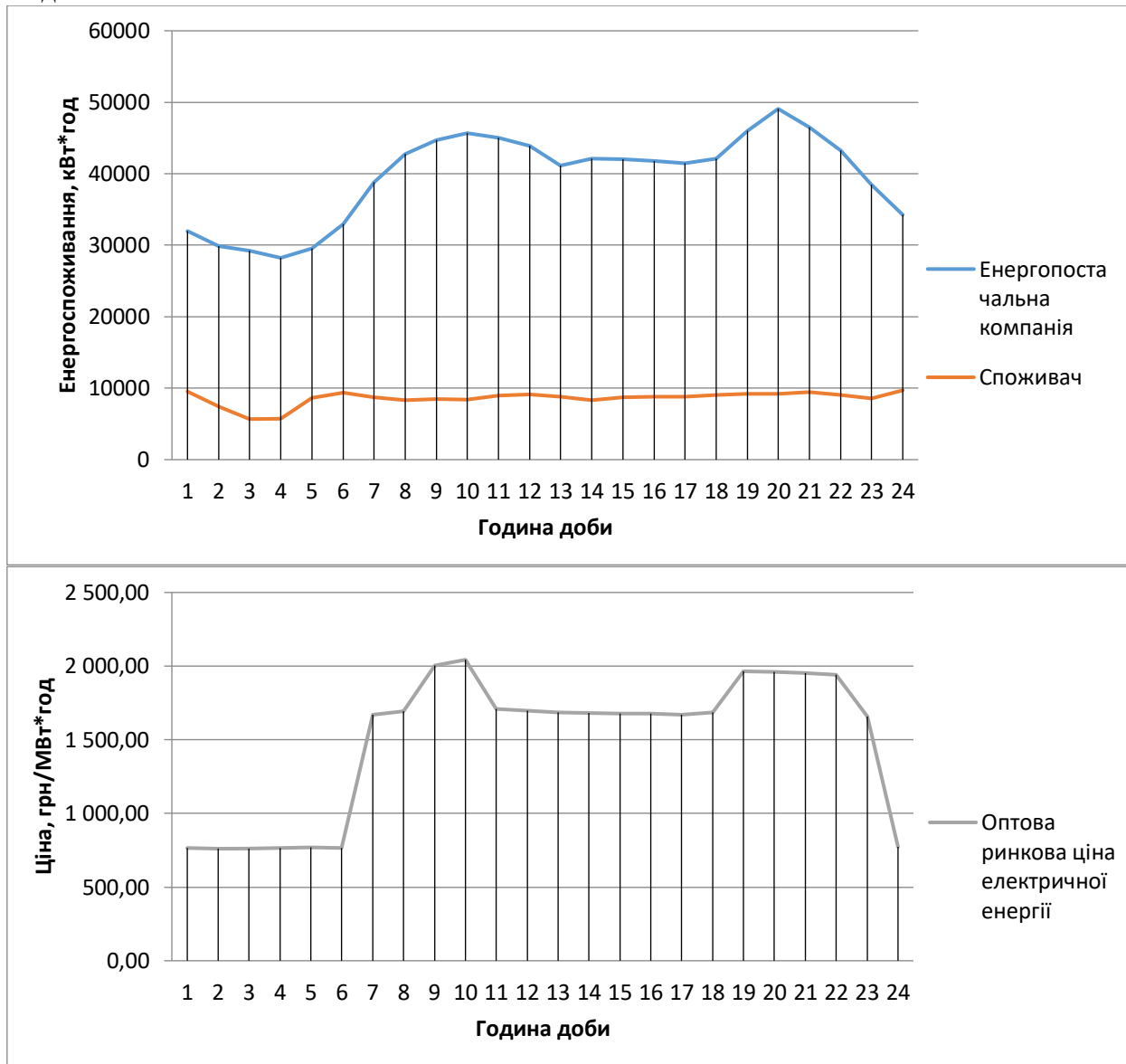


Рисунок 3. Запланований графік електроспоживання кінцевого споживача, план закупівель електричної енергії електропостачальником та графік змінення закупівельної ціни на РДН протягом операційної доби Д

Встановлено обмеження:  $P_{imin}=5$  МВт,  $P_{imax}=15$  МВт,  $\Delta P_{i\text{доп}}=5$  МВт. Заплановане електроспоживання кінцевого споживача і змінений в зв'язку з цим план закупівлі електричної енергії електропостачальником матимуть наступний вигляд (рис. 4):

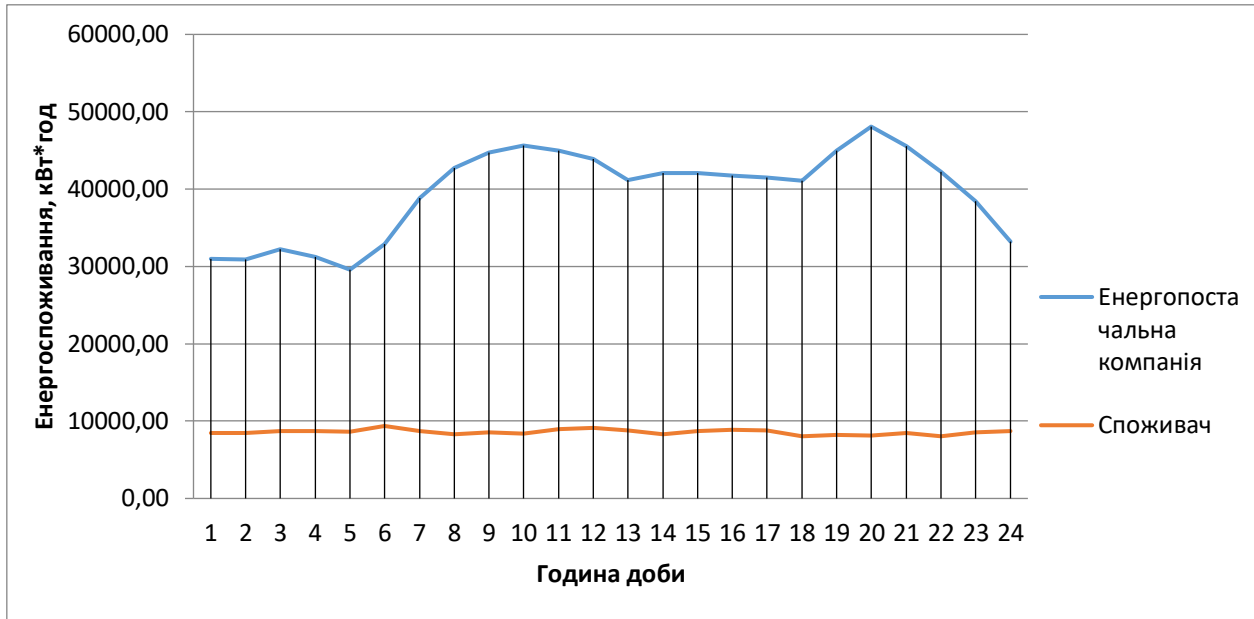


Рисунок 4. Запланований графік електроспоживання кінцевого споживача та змінений план закупівлі електричної енергії електропостачальником

Результати планування попиту споживача наведено в табл. 1. За таких умов електропостачальник має можливість укласти контракт з атомною генерувальною одиницею на РДД на 8 МВт\*24 год з метою покриття попиту конкретного кінцевого споживача та на 29,5 МВт\*24 год загалом для покриття попиту всіх його споживачів.

Тепер поставимо за мету оптимізувати план закупівель електричної енергії електропостачальником шляхом адаптивного планування попиту конкретного кінцевого споживача. Результати планування наведено на рис. 5:

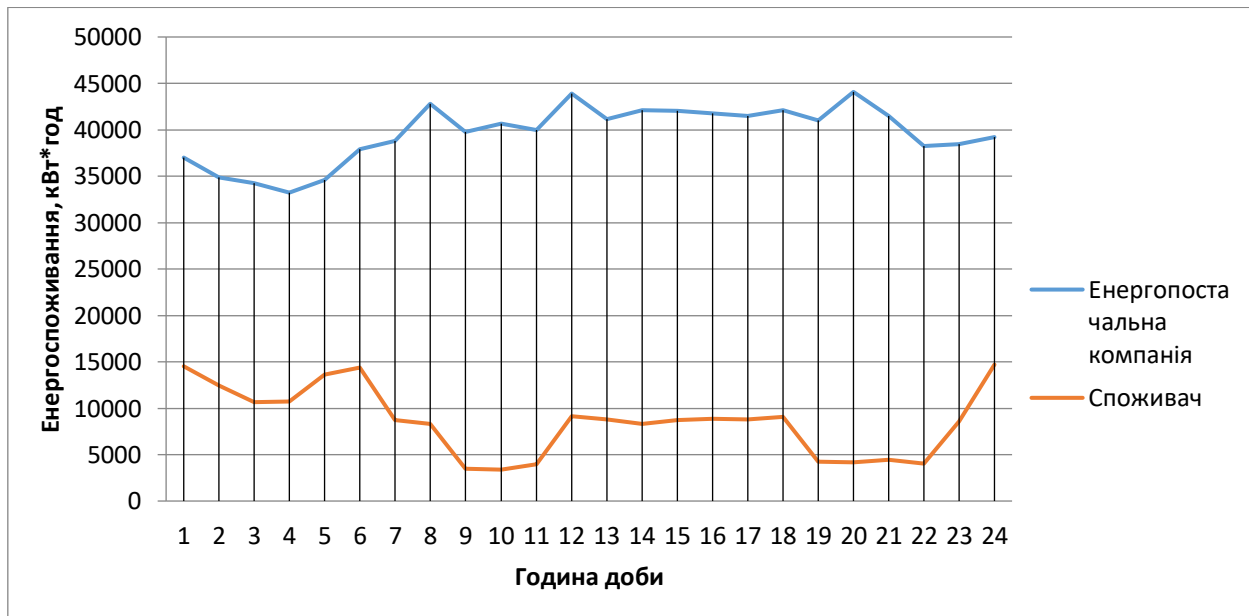


Рисунок 5. Запланований графік закупівель електропостачальника і змінений план електроспоживання кінцевого споживача

За такого плану електропостачальник може законтрактувати на РДД 32 МВт\*24 год загалом, зокрема 3,3 МВт\*24 год для покриття попиту цього кінцевого споживача. Отримані результати наведено у табл. 1:

Таблиця 1. Результати адаптивного планування попиту споживача.

|                                                                                                                                             | Для споживача, грн       | Для електропостачальника, грн |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|-------------------------------|
| Закупівельна вартість електричної енергії до оптимізації                                                                                    | 188221,85                | 868918,90                     |
| Закупівельна вартість електричної енергії після адаптивного планування графіка електроспоживання в інтересах кінцевого споживача            | 129825,09                | 830279,68                     |
| <b>Зниження вартості</b>                                                                                                                    | <b>58396,76</b>          | <b>38639,22</b>               |
| Закупівельна вартість електричної енергії після адаптивного планування графіка електроспоживання споживача в інтересах електропостачальника | 197619,59                | 740013,87                     |
| <b>Зниження вартості'</b>                                                                                                                   | <b>-9397,74</b>          | <b>128905,03</b>              |
| <b>Отримані бенефіти</b>                                                                                                                    | <b>не менше 67794,50</b> | <b>не більше 61110,53</b>     |

Таким чином, за умови планування попиту з метою зниження закупівельної вартості електричної енергії для власних потреб, кінцевий споживач отримує певну економію. Електропостачальник в такому разі також отримує бенефіти, але на цьому етапі споживач не може бути заохочений додатково, бо діє лише у власних інтересах. Вигода електропостачальника в цьому випадку слабо передбачувана і є скоріше випадковістю, аніж закономірністю. За умови ж адаптивного планування споживачем власного попиту в інтересах електропостачальника останній отримає вигоду саме зусиллями цього кінцевого споживача. При цьому закупівельна вартість електричної енергії, яка запланована для використання цим кінцевим споживачем може навіть зрости у порівнянні з початковою закупівельною вартістю. В такому разі електропостачальник має компенсувати споживачу втрачену вигоду, а також додатково заохотити його з коштів, які було заощаджено через максимальну закупівлю електричної енергії на РДД.

#### Список використаних джерел

1. Про затвердження Правил ринку / Постанова НКРЕКП №307 від 14.03.2018.
2. Про затвердження Правил ринку «на добу наперед» та внутрішньодобового ринку» / Постанова НКРЕКП №308 від 14.03.2018.
3. ДП «Енергоринок», офіційний сайт/ Функціонування ОРЕ/ Аналіз цін в ОРЕ/ Оптова ринкова ціна. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <http://www.er.gov.ua/doc.php?c=1672>.

4. Праховник А.В., Розен В.П., Дегтярев В.В. Энергосберегающие режимы электроснабжения горнодобывающих предприятий. –М.: Недра. -1985. – 232 с.
5. ДП «Енергоринок», офіційний сайт/ Функціонування ОРЕ/ Аналіз цін, що склалися в ОРЕ з 11 по 20 березня 2019 року [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <http://www.er.gov.ua/doc.php?f=4642>.

УДК 621.362

**В.О. Костюк, В.П. Єфремов**  
Кафедра електропостачання  
Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського  
Київ, Україна

### **УСТАНОВКА ДЛЯ ВИРОБЛЕННЯ Й ОЧИЩЕННЯ БІОГАЗУ ДЛЯ ГІБРИДНОЇ СИСТЕМИ ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ**

*У даній роботі розглядається стан та перспективи розвитку біоенергетики в Україні, методи очищення біогазу для подальшого його використання, наприклад, для генерування електроенергії (ЕЕ) за допомогою паливних елементів чи вироблення теплової енергії (ТЕ) шляхом спалювання біогазу в котлі.*

*Ключові слова – альтернативна енергетика, біогазова установка, очищення біогазу.*

*This paper examines the state and prospects for the development of bioenergy in Ukraine, the methods of biogas purification for its further use, for example, for the generation of electricity by means of fuel cells or the production of heat by biogas incineration in a boiler.*

*Keywords – alternative energy, biogas plant, biogas purification.*

**Вступ.** Забезпеченість України власними енергетичними ресурсами становить менше половини потреб у паливі при сучасному рівні його споживання. Впровадження інновацій, застосування сучасних енергоощадних технологій у перспективі надасть можливості скоротити до 50% всього енергоспоживання. Неосвоєним джерелом енергії є відновлювані місцеві енергоресурси, потенціал яких за деякими оцінками сягає понад 100 млн. тонн умовного палива [1]. Обсяги щорічного використання таких енергоресурсів є мізерними.

**Постановка задачі та мета дослідження.** Техніко-економічні передумови широкого застосування біогазових технологій з метою подальшого використання кінцевих продуктів виробництва для енергозабезпечення автономних об'єктів в умовах конкурентного ринку енергій, що розвивається. Важливою складовою такої задачі є визначення перспективних способів очищення біогазу від домішок, які позначаються на енергетичні характеристики (теплота спалювання) та знижують ефективність функціонування обладнання біогазової установки (БГУ).

**Розв'язання проблеми та результати дослідження.** Ринок біогазу швидко росте останніми роками. Питання сталого розвитку не обмежується лише екологічними проблемами. Окрім аспектів захисту довкілля, важливими питаннями також є створення нових робочих місць та забезпечення населення продуктами харчування. [1]

Таким чином, при розповсюдженні інформації про можливості енергетичного використання біомаси в неї обов'язково треба включати дані щодо створення доданої вартості в регіонах, де впроваджуються такі технології.[1]

Тривають дискусії щодо сталості біоенергетики. Для підтримки попиту на тверде біопаливо необхідно проводити відповідну роботу з цільовими групами. Постачальники біомаси мають надавати докази того, що їхня продукція відповідає критеріям сталості.[1]

На сьогоднішній день біоенергетика має сприятливі фактори та перешкоди для її розвитку [2].

Виокремлюють такі сприятливі фактори:

- ринкові ціни на природний газ для промисловості та бюджетних установ: значний ріст ціни на природний газ для населення та теплокомуненерго, яке відбувається з травня 2015 р;
- вдосконалення системи тарифоутворення на теплову енергію з альтернативних джерел енергії, принаймні з квітня 2017 р.;
- зняття дискримінації виробників ТЕ з альтернативних джерел – через існування рахунків зі спеціальним режимом використання для оплати ТЕ (впроваджено з березня 2018 р.);
- підвищення інтересу інвесторів до БГУ і ТЕС/ ТЕЦ, що функціонує з використанням біомаси внаслідок ускладнення процедур фінансування та ліцензування генерувальних об'єктів, що перетворюють сонячну та вітрову енергію;
- біогазові проекти, які крім продажу ЕЕ по зеленому тарифу ще продають/використовують тепло, стають більш рентабельними після запланованого підвищення цін на природний газ для населення та теплокомунальних підприємств (до січня 2020).

Перешкоди для розвитку біоенергетики наступні:

- ціни на природний газ для населення та теплокомунальних підприємств поки ще не ринкові (40% нижчі). Підвищення цін на природний газ для населення та теплокомунальних підприємств заплановане на травень 2019 р.(на 20%) і січень 2020 (досягнення комерційного рівня);
- відсутність ринку твердого біопалива. Йде процес створення системи електронної торгівлі твердим біопаливом - розроблено відповідний законопроект (на зразок Biofuel Exchange Baltpool у Литві);
- недостатність стимулювання виробництва електроенергії з біомаси і біогазу. Неприродно значне відставання цих секторів від виробництва ЕЕ з інших альтернативних джерел енергії. Тенденції розвитку не відповідають тенденціям в країнах ЄС;
- недосконала модель систем централізованого теплопостачання (монополія теплокомунальних підприємств, проблеми із доступом третіх сторін до теплових мереж). Необхідні зміни до законодавства розроблені та обговорюються. Запровадження конкуренції у системах центрального теплопостачання заплановано на 2020 р.

**Технології очищення біогазу.** Вироблення та використання біогазу не тільки як палива, а й у вигляді основних чистих компонентів (метану й діоксиду вуглецю) значно підвищує економічну цінність цього нетрадиційного джерела енергії й сировини, поліпшує екологічну ситуацію та дозволяє отримати цінні органічні добрива.

Метан може використовуватися як паливо, та для використання в паливних елементах, а діоксид вуглецю – як інертний газ для зварювальних робіт, для заправлення вогнегасників, у харчовій промисловості, як «добриво» у тепличних господарствах тощо.

Діоксид вуглецю ( $\text{CO}_2$ ) та сірководень ( $\text{H}_2\text{S}$ ) – це найпоширеніші шкідливі домішки в біогазі. Кількість  $\text{H}_2\text{S}$  варіюється від відсотків до десятих часток відсотка залежно від джерела: відходи очисної установки каналізаційних стоків, смітник побутових відходів, біореактор для анаеробної переробки тваринницьких відходів й ін. Діючі в Україні технічні умови [4] на біогаз метантенків та, відповідно, біогазових реакторів з утилізації органічних відходів вимагають зниження вмісту  $\text{H}_2\text{S}$  до  $0,2 \text{ г/м}^3$ .

Біогаз містить баластові і шкідливі домішки, здатні викликати корозію і забруднення апаратури. Для видалення цих домішок газ піддається очищенню. При виробленні біогазу його очищають від сірчистих сполук, діоксиду й оксиду вуглецю. Залежно від необхідного ступеня очищення умовно розрізняють грубе, середнє і тонке очищення. Часто для досягнення необхідного, особливо високого, ступеня очищення застосовують кілька послідовних стадій очищення. При цьому в кожній стадії створюються найефективніші та найекономічніші умови роботи [5, 6, 7, 8, 9, 10].

Діоксид вуглецю (вуглекислий газ, діоксид вуглецю, вуглекислота) – це кислотний оксид, що здатен обмежено розчинятися у воді і добре взаємодіє з лугами, розчинами солей, що мають лужні властивості, карбонатами натрію і калію, органічними сполуками, що містять гідроксильні групи (етаноли), і при зниженій температурі і підвищеному тиску вони добре розчиняються в спиртах (метанолі, ацетоні й інших органічних розчинниках). Діоксид вуглецю міститься в природному і коксовому газах, у біогазі. В останньому вміст  $\text{CO}_2$  найбільший і складає залежно від вихідної сировини і методу біоконверсії 20 – 40 % об'ємних частин [8].

Сірководень – безбарвний газ з характерним запахом білка, який розкладається. Він важчий за повітря, зріджується при  $-60,8^\circ\text{C}$ , твердне при мінус  $85,7^\circ\text{C}$ . На повітрі сірководень горить з утворенням діоксиду сірки і води [8].

Для грубого очищення біогазу від домішок застосовуються такі способи:

- водяне очищення під тиском;
- етаноламінове очищення;
- очищення гарячим розчином поташу.

Для тонкого очищення газу застосовуються такі способи:

- лужне очищення газу від  $\text{CO}_2$ ;
- очищення газу від  $\text{CO}_2$  методом низькотемпературної абсорбції метанолом;
- біокаталітична безреагентна технологія очищення від  $\text{H}_2\text{S}$  природного газу і біогазу.

Вибір способу очищення залежить від необхідної чистоти біогазу та подальшого його використання. Грубе очищення дозволяє використовувати біогаз у пальниках плит та водогрійних котлів, тонке очищення потрібно для використання біогазу як палива у транспорті, при транспортуванні його на великі відстані та спалюванні у котлах, призначених для роботи на природному газі. Вибір способу очищення залежить також від фінансових можливостей господарства, що його виробляє, та потребує відповідного технологічного обладнання. При виборі оптимального способу очищення біогазу від шкідливих домішок необхідно враховувати технологічні особливості різних способів.

**Водяне очищення.** Водяне очищення під тиском від сірководню та діоксиду вуглецю ґрунтується на різній розчинності у воді діоксиду вуглецю. При невисоких парціальних тисках розчинність  $\text{CO}_2$  у воді невелика, але зі збільшенням тиску вона зростає. При подальшому зниженні тиску розчинений діоксид вуглецю виділяється з розчину.

Водяне очищення газу від діоксиду вуглецю під тиском ефективно при високому вмісті  $\text{CO}_2$  у газі. Цей спосіб відрізняється простотою і дозволяє багаторазово використовувати оборотну воду. Співвідношення між концентрацією газу, розчиненого в рідині, і його рівноважним парціальним тиском  $p$  над поверхнею рідини описується законом Генрі [8]:

$$C = p \cdot k, \quad (1)$$

де  $C$  – вагова концентрація газу в насиченому розчині;  $p$  – парціальний тиск;  $k$  – коефіцієнт пропорційності, що називається константою Генрі.

Розчинність вуглекислого газу становить 87,7 мл в 100 мл води при атмосферному тиску

і температурі води 20°C. Збільшення коефіцієнта Генрі (константи фазової рівноваги) при зміні температури свідчить про зменшення розчинності діоксиду вуглецю в цих умовах.

У технічній оборотній воді, що використовується для водневого очищення від CO<sub>2</sub>, містяться розчинені солі, що знижують розчинність CO<sub>2</sub> у технічній воді порівняно з чистою.

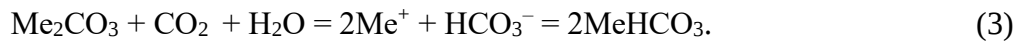
Суттєве значення для економічності процесу водяного очищення має витрата води на очищення і витрата енергії на подачу цієї води. Витрата води на очищення біогазу від діоксиду вуглецю залежить від ступеня очищення від CO<sub>2</sub>, температури, загального і парціального тиску CO<sub>2</sub> у газовій суміші до очищення. Якщо біогаз у процесі конверсії одержують при атмосферному тиску, то перед водяним очищенням газ стискають. Вибір тиску для водяного очищення від CO<sub>2</sub> залежить від декількох факторів. Зі збільшенням тиску зростає розчинність вуглекислого газу у воді і зменшується кількість води необхідної для промивання майже обернено пропорційне тиску. При цьому знижується витрата енергії для подачі води. З іншого боку, робота на стискуванні діоксиду вуглецю від початкового низького тиску до тиску абсорбції зі збільшенням тиску зростає. Сумарна витрата енергії на водневе промивання газу в межах 1–3 МПа практично не залежить від тиску. Однак зі збільшенням тиску зменшуються розміри абсорбера і зростає ступінь очищення газу від CO<sub>2</sub>.

**Очищення біогазу від діоксиду вуглецю гарячим розчином поташу.** Очищення біогазів від діоксиду вуглецю гарячим розчином поташу ґрунтується на поглинанні діоксиду вуглецю водяними розчинами карбонатів натрію і калію з утворенням бікарбонатів. У водяному розчині карбонат дисоціює на іони [8]:



де Me – рідкоземельний метал (наприклад, натрій чи калій).

Сумарний процес поглинання записують наступним чином:



Звичайно абсорбцію біогазу ведуть при низькій температурі, що пов'язано зі зменшенням розчинності газів у рідинах при підвищенні температури. В цьому випадку при поглинанні CO<sub>2</sub> розчинами карбонатів бікарбонати, що утворюються, менш розчинні у воді, ніж карбонати. Тому підвищення температури повинно сприяти збільшенню розчинності у воді солей – карбонатів і бікарбонатів. Розчинність солей калію вище розчинності солей натрію, тому для очищення застосовують водяний розчин карбонату калію (поташу) при підвищеній температурі. З підвищенням температури зростає концентрація солі в розчині, що дозволяє компенсувати негативний вплив температури на розчинність газу. Підвищення температури сприяє збільшенню швидкості гідратації, що сприяє зростанню швидкості усього процесу абсорбції CO<sub>2</sub>.

**Безупинна біокаталітична технологія очищення від сірководню біогазу.** Стандартні методики ґрунтуються на хімічних реакціях, що протікають у рідкій фазі, фізичній абсорбції і наступній хімічній конверсії. Вони мають декілька недоліків: велика витрата реагентів, корозія устаткування, застосування високої температури і тиску тощо. У результаті такі технології мають дуже високу ціну. Альтернативою для здешевлення такого роду технологій є застосування біокаталітичної безреагентної технології [5]. У скрубєрі сірководень взаємодіє зі слабколужним розчином (рН 8.0...8.5), в якому відбувається абсорбція H<sub>2</sub>S. Після чого рідина зі скрубєра надходить у мікроаеробний реактор, що містить клітини бактерій, які у м'яких умовах окислюють сульфід до елементарної сірки з регенерацією слабколужної рідини для повернення в скрубєр. Елементарна сірка видаляється, і рідина повертається в скрубєр для абсорбції наступної порції H<sub>2</sub>S.

Переваги запропонованої технології порівняно з традиційними методами:

- практично безреагентний характер (необхідні тільки деякі солі для життєдіяльності бактерій);
- дешевизна;
- практично замкнутий цикл і мінімум стічних вод;
- основний кінцевий продукт (сірка) може бути легко повторно використаний (для виробництва сірчаної кислоти);
- процес проходить при температурі (15...25)°C і нормальному тиску.

**Висновки.** Дослідивши проблему біогазових станцій в Україні, ми можемо виділити наступні висновки:

1. З метою реалізації використання біомаси для виробництва електричної енергії відповідним державним органам влади, відомствам, агентствам, профільним комітетам належить подолати існуючі перешкоди, розробити і впровадити необхідні механізми підтримки виробництва електричної енергії з біомаси, зокрема:

– очевидно, існують «непереборні» перешкоди щодо технологій безпосередньої електрогенерації, оскільки на даний час: а) ОЕС України має надлишок генерувальних потужностей, б) конкуренція з іншими чистими технологіями ...);

– більш простою технологічною схемою є процес вироблення біогазу із його подальшим спалюванням, котрий можна і слід використовувати як первинне паливо для когенерації – теплова + електрична енергія (наприклад, живлення установок на основі високоефективних паливних елементів (ПЕ), ККД-сягає 90%...);

2. Для надійної тривалої експлуатації ПЕ біогаз слід очищувати від домішок: вибір способу очищення залежить від: а) необхідної чистоти біогазу та подальшого його використання, б) від фінансових можливостей господарства, що його виробляє, та потребує відповідного технологічного обладнання.

#### **Список використаних джерел.**

1. Енергозберігаючі відновлювані джерела теплопостачання: навчальний посібник / Г. С. Ратушняк, В. В. Джеджула, К. В. Анохіна – Вінниця : ВНТУ, 2010. – 170 с.
2. Постачання твердих біопалив для котелень середньої потужності / Copyright Bioenergy4Business 2016
3. Стан та перспективи розвитку біоенергетики в Україні. Георгій Гелетука, голова правління Біоенергетичної асоціації України.
4. ТУ "Біогаз метантенків." ТУУ–204. 14069366–13–97.
5. Ратушняк Г. С., Джеджула В. В. Інтенсифікація виробництва та підготовка біогазу до використання в теплотехнічному обладнанні / Ратушняк Г. С., Джеджула В. В. // Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання. – 2005 – № 8. – С. 52 – 60.
6. Разработка технологии очистки биогаза от сероводорода с помощью жидкого поглотителя в скрубберной схеме / Боровой И.А., Колобродов В. Г., Кулько В. Б., Винокуров Э. И. // Вибрані праці Першої міжнародної конференції „Енергія з біомаси”. – К.: – 2002.
7. Комплекс по переработке биогаза. / Карнацевич Л. В., Хажмурадов М. А., Колобродов В. Г. та інш. // Вибрані праці Першої міжнародної конференції „Енергія з біомаси”. – К. – 2002.
8. Григор’єва В. В. Загальна хімія / Григор’єва В. В. – К. : Вища школа., 1991. – 431 с.
9. Скафтымов Н. А. Основы газоснабжения / Скафтымов Н. А. – Л. : Недра, 1975. – 343с.
10. Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища» Офіц. текст зі змінами станом на 20.06.2007 – Режим доступу: <http://zakon1.rada.gov.ua/cgi-bin/laws/main.cgi?nreg=1264-12>

УДК 621.311.004.18:62-83

Закладний О.О., канд. техн. наук, доцент  
Рибаченко К.П. магістрант

## ОСОБЛИВОСТІ РЕГУЛЮВАННЯ СИСТЕМ КОМУНАЛЬНОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ

*На сьогодні в Україні велика увага приділяється питанням енергозбереження на всіх рівнях виробничої та суспільної діяльності. Насосні станції систем водопостачання є великими споживачами електроенергії та працюють неефективно через недосконалу систему регулювання їх продуктивності. Найбільш доцільним способом керування насосними установками систем водопостачання є регульований електропривод.*

**Ключові слова:** система водопостачання, енергозбереження, регульований електропривод.

*Today, in Ukraine, great attention is paid to the issues of energy saving at all levels of production and social activity. Pumping stations of water supply systems are large consumers of electricity and work inefficiently due to an imperfect system of regulation of their productivity. The most appropriate way to control pumping units of water supply systems is an adjustable electric drive.*

**Key words:** water supply system, energy saving, regulated electric drive.

**Вступ.** Системи внутрішнього водопостачання (господарсько-питного, виробничого, протипожежного) влаштовують з метою забезпечення водою виробничих, допоміжних, житлових і суспільних будинків, які устатковані відповідними системами каналізації.

Системи внутрішнього водопостачання включають вводи, водомірні вузли, стояки, магістральну і розводящу мережі з підводками до санітарних приладів чи технологічних установках, водорозбірну і регулюючу арматуру. У залежності від призначення, місцевих умов і технології виробництва в систему внутрішнього водопроводу можуть входити насосні установки і водопровідні баки, резервуари й інші спорудження, розташовані як усередині будинку, так і поза ним.

У середньому питому витрату електроенергії в комунальних водопроводах (без обліку станцій підкачування в будинках) складає 0,65 квт·ч на 1 м<sup>3</sup> поданої води, причому приблизно 80 % електроенергії витрачається насосними станціями [1].

З підвищенням поверховості будинків, удаленням джерел водопостачання від житлових масивів питома витрата електроенергії збільшується.

**Мета та завдання.** Виявлення і використання ресурсів зниження максимальної потужності і загальної витрати електроенергії здобувають усе більше значення ще і тому, що системи комунального водопостачання розвиваються високими темпами (щорічний приріст продуктивності 4—5 %). Найбільшого ефекту можна домогтися за рахунок скорочення витрати електроенергії, споживаної на привід насосних агрегатів. При цьому основна задача полягає не тільки в підвищенні їх КПД, але й у скороченні усіх видів втрат і нераціональних витрат води, вирівнюванні режимів її подачі, зниженні необхідних напорів на виході з насосних станцій і зменшенні надлишкових напорів [2].

**Матеріал і результати досліджень.** По своєму призначенню і розташуванню в загальній схемі водопостачання водопровідні насосні станції підрозділяються на станції I підйому, II і наступних підйомів, підвищувальні і циркуляційні (рис. 1, а, б, в, г).

Насосні станції I підйому забирають воду з джерела і подають її на очисні чи спорудження, якщо не потрібно очищення води, урезервуари, що акумулюють ємності (,

чистої води, водонапірні башти, гідропневматичні баки), а в деяких випадках безпосередньо в розподільну мережу. Характерною рисою насосних станцій I підйому є більш-менш рівномірна подача води протягом доби.

Насосні станції II підйому подають воду споживачам з резервуарів чистої води, що дозволяють регулювати подачу. Подача насосних станцій II підйому протягом доби нерівномірна. Її по можливості наближають до графіка водоспоживання.

Підвищувальні насосні станції (станції підкачування) призначені для підвищення напору на ділянці мережі чи у водоводі. Вони забирають воду не з резервуара, а з трубопроводів і тому не можуть самостійно регулювати подачу.

Циркуляційні насосні станції входять у замкнуті системи технічного водопостачання промислових підприємств і теплових електростанцій. На цих станціях може встановлюватися кілька груп насосів: одна - для подачі відпрацьованої води на охолодження, інша – на очисні пристрої, третя – для повернення підготовленої води до виробничих установок [3].

Режим роботи насосної установки істотно залежить від зміни режимів роботи водоспоживання. Як правило режим водоспоживання визначається багатьма незалежними один від одного причинами: кліматичними погодними умовами, режимом роботи підприємств і організацій міста, числом культурно-видовищних заходів, змістом їхніх програм. Режим водоспоживання звичайно характеризується добовими, тижневими і т.п. графіками водоспоживання. На рис. 2 представлений зразковий добовий графік водоспоживання невеликого населеного пункту.

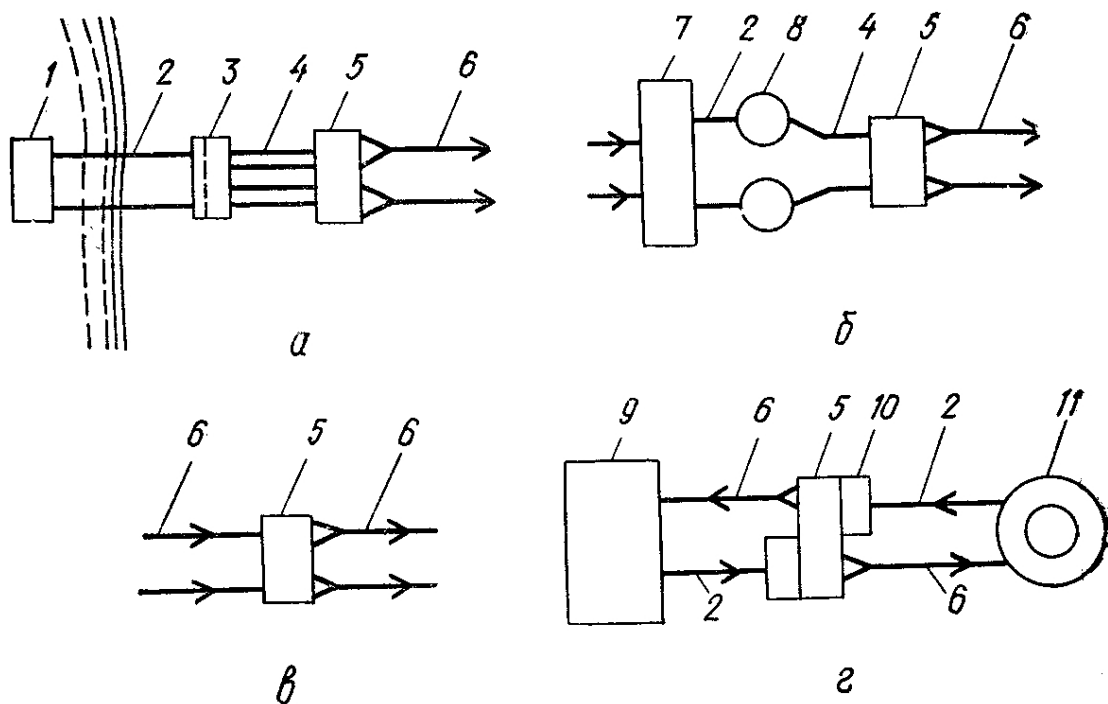


Рис. 1 Принципові схеми компонування насосних станцій різного призначення:

а - I підйому з відкритого вододжерела; б - II підйому; в - підвищувальної; г - циркуляційної; 1 - водозабір; 2 - самопливні водоводи; 3- водоприйомно-сеточний колодязь; 4 - всмоктувальні труби; 5 - насосна станція; 6- напірні водоводи; 7- очисні спорудження; 8- резервуари чистої води; 9- споживачі технічної води; 10 — прийомні камери; 11 — охолоджувальні чи очисні спорудження;

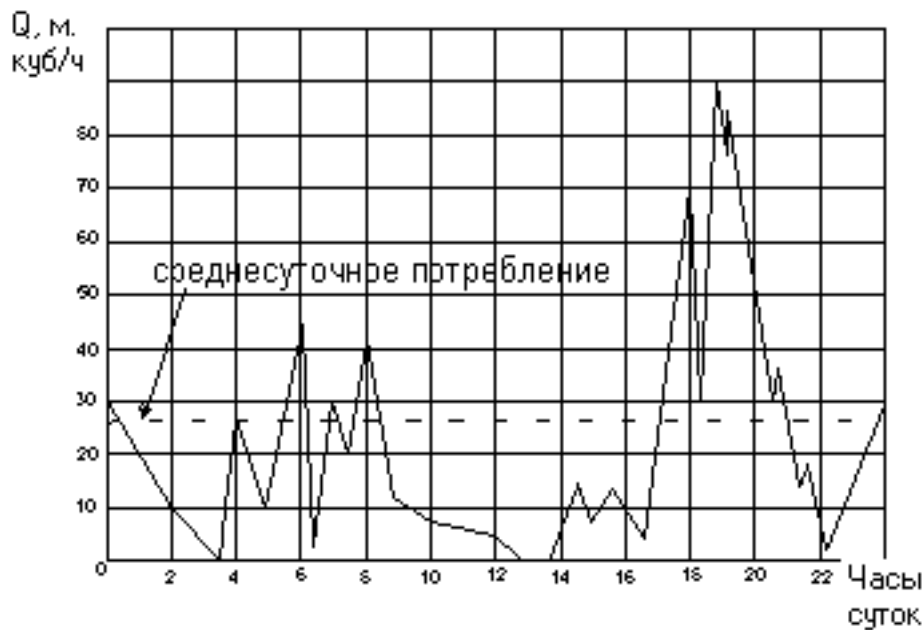


Рис. 2. Добовий графік водоспоживання

Подача насосних установок, що працюють безпосередньо в мережу без проміжних емностей у кожен момент часу, дорівнює водоспоживанню (при відсутності витоків і непродуктивних витрат). У дійсності в будь-якій системі водоподачі мають бути витрати і непродуктивні витрати, значення яких досягають у багатьох випадках 15-20% загальної подачі. Отже, подача насосної установки повинна бути більше водоспоживання саме на це значення.

При стабільному водоспоживанні установки працюють з постійною подачею і тиском чи напором, що між собою зв'язані співвідношенням  $H = p / \rho g$ , де  $H$  – напір, м;  $p$  – тиск насоса, Па;  $\rho$  – густина рідкого середовища,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  $g$  – прискорення вільного падіння,  $\text{м}/\text{с}^2$ . З ростом водоспоживання подачу треба збільшувати. При цьому втрати тиску в трубах збільшуються. Щоб компенсувати ці втрати, варто збільшувати тиск, який розвиває насосна установка. При зменшенні водоспоживання подача і тиск повинні бути зменшені. Приведення у відповідність водоспоживання і подачі здійснюється в даний час найчастіше зміною числа працюючих насосних агрегатів чи ступеня відкриття засувки на напірних лініях насосів і насосних установок.

Незважаючи на різноманітність схем водопостачання міст і промислових об'єктів їх можна звести до декількох типових рішень. У будь-якому випадку конкретна схема водопостачання буде аналогічна описаній нижче чи комбінацією з них.

На рис. 3 зображена схема № 1 - водозабір з водонапірною башнею. Схема зовсім тривіальна і функціонує по одному алгоритму: у залежності від рівня у башні необхідно включати і виключати насоси артезіанських свердловин.

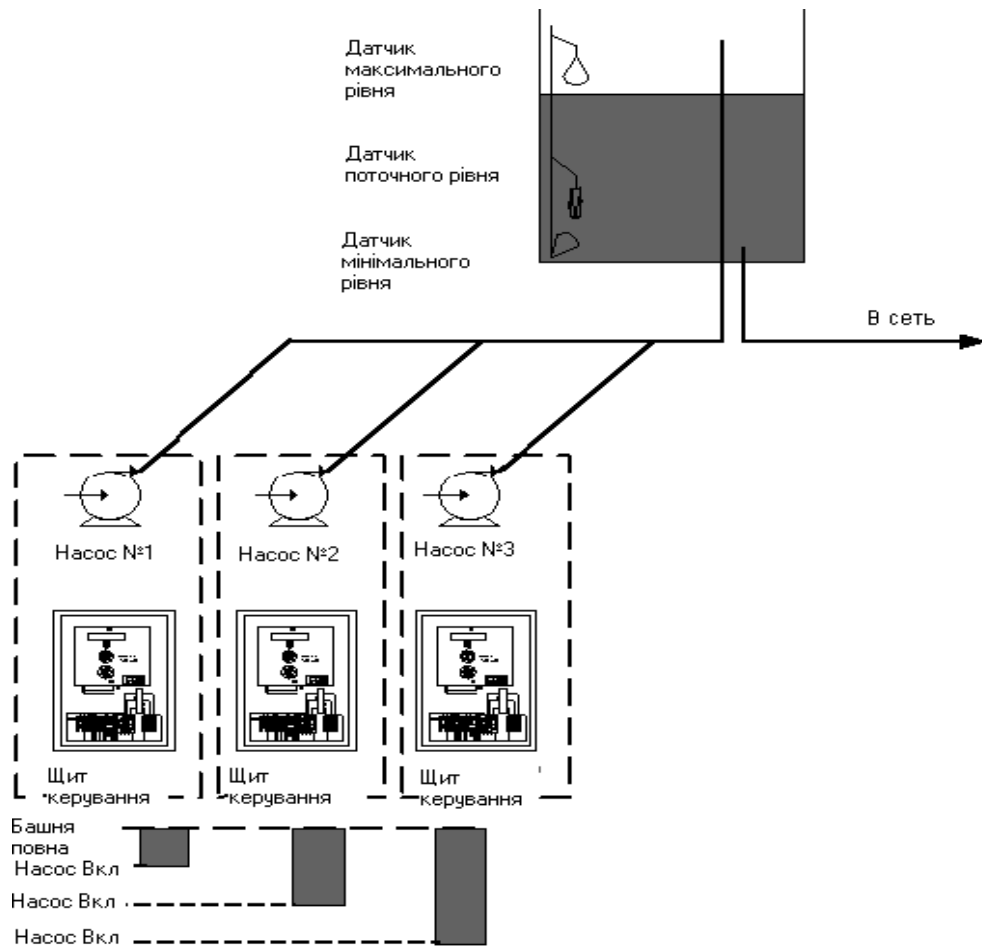


Рис. 3 Водозабір з водонапірною башнею

Тиск у міській мережі в повній відповідності з законами фізики дорівнює рівню в резервуарі плюс висота башні, якщо його виражати в метрах водяного стовпа (10м води приблизно 1 атмосфера). Від персоналу залежить порядок вмикання і вимикання насосів. Регулювання включенням з урахуванням часу доби доцільно при двухтарифній системі оплати електроенергії, якщо обсяг башні покриває потреби денного водозабору.

Теоретично у башні повинний бути встановлений датчик мінімального рівня для збереження пожежного запасу води. По сигналі цього датчика забороняється водозабір - подача води з башні, але цієї норми не завжди дотримували.

Як варіант може існувати водозабір з відкритої водойми (ріка-озеро), що зовсім не змінює алгоритмів і ідеології, а тільки тип застосовуваних для водоподйому насосів.

Виродженням даної схеми є варіант, який можна знайти в будь-якому дачному будинку – один насос (артезіанський чи самоусмоктувальний) і напірний бак-накопичувач (гідрофор). Алгоритм керування цілком аналогічний раніше описаному, тільки замість рівнів у башні для керування насосом використовуються значення тиску, одержувані від реле тиску. Для промислових систем з гідрофорами великого обсягу необхідний контроль рівня води в ньому. Для цього в бак встановлюється поплавковий датчик рівня на два положення, що контролює роботу компресора, закачуючого в гідрофор повітря для забезпечення надлишкового тиску. Вода з гідрофора витісняється повітрям, при зниженні тиску до встановленого рівня включається насос, при досягненні встановленого тиску насос виключається. Якщо повітря в баке мало, то високий рівень води включає повітряний компресор. Повітря витісняє воду в мережу до встановленого рівня і компресор виключається [5].

На рис. 4 зображена схема №2 - водозабір зі станціями другого підйому.

Якщо резервуар закопаний у землю, то виникне необхідність створення тиску в міській розподільній водогінній мережі. Для цього будуються насосні другого підйому. Насоси підтримують тиск у міській мережі згідно показань датчика тиску працівником насосної станції, що включає чи виключає насоси другого підйому чи прикриває вихідну задвижку. В економічно розвинених країнах встановлюють на других підйомах станції з регульованим приводом.

Усе що було викладено про башню справедливо і для накопичувальних резервуарів, включаючи датчик пожежного рівня. Традиційно резервуари володіють більшим ніж башня об'ємом і тому більш перспективні для впровадження двухтарифної системи оплати електроенергії. Уночі, коли електроенергія дешевше працюють менш економічні насоси артезіанських свердловин, а вдень, якщо ємності резервуарів вистачає на день, працюють тільки більш економічні насоси другого підйому [6].

Для висотних будинків будуються насосні станції третього підйому. Це дозволяє знизити загальний тиск у міських магістралях з масою позитивних наслідків – від зниження втрат до економії електроенергії.

У великих містах можна помітити різні комбінації вищенаведених схем – після насосних другого підйому башні і далі насосні третього підйому, відкритий водозабір у сполученні з артезіанськими свердловинами.

Одна з комбінацій – підйом води із пласту вакуумними насосами (рис.5) . У водоносний шар опускаються труби з'єднані загальним колектором з резервуаром. У верхній частині встановлюється компресор для створення розрідження. Вода всмоктується в резервуар і насосами з резервуара подається в міську мережу.

Контроль продуктивності подібної системи легко здійснювати зі встановленням регульованого привода з наступною реалізацією принципу – “чим більше тим більше”.

Усі ці технічні засоби повинні вирішувати легко формульовану задачу – мати воду з визначеним тиском у визначених точках міської мережі.

Для контролю за її станом приходиться створювати системи, що складаються з точок виміру тиску і потоку у визначених місцях міста з передачею цієї інформації в контрольний центр.

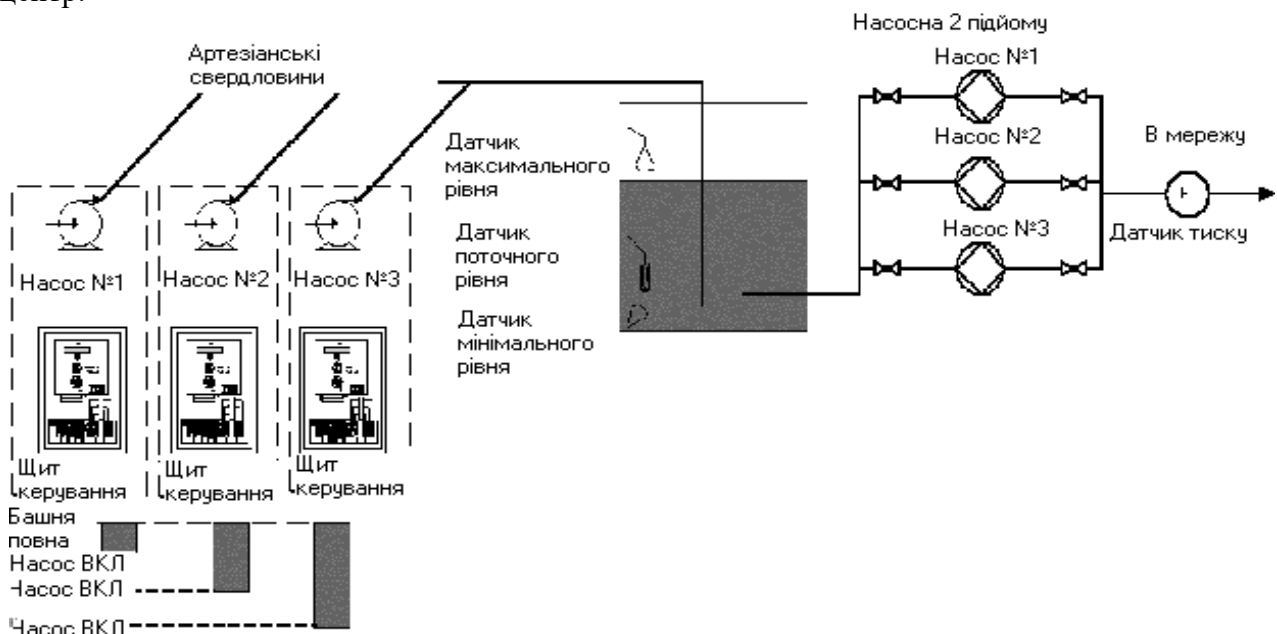


Рис. 4. Водозабір зі станціями другого підйому.

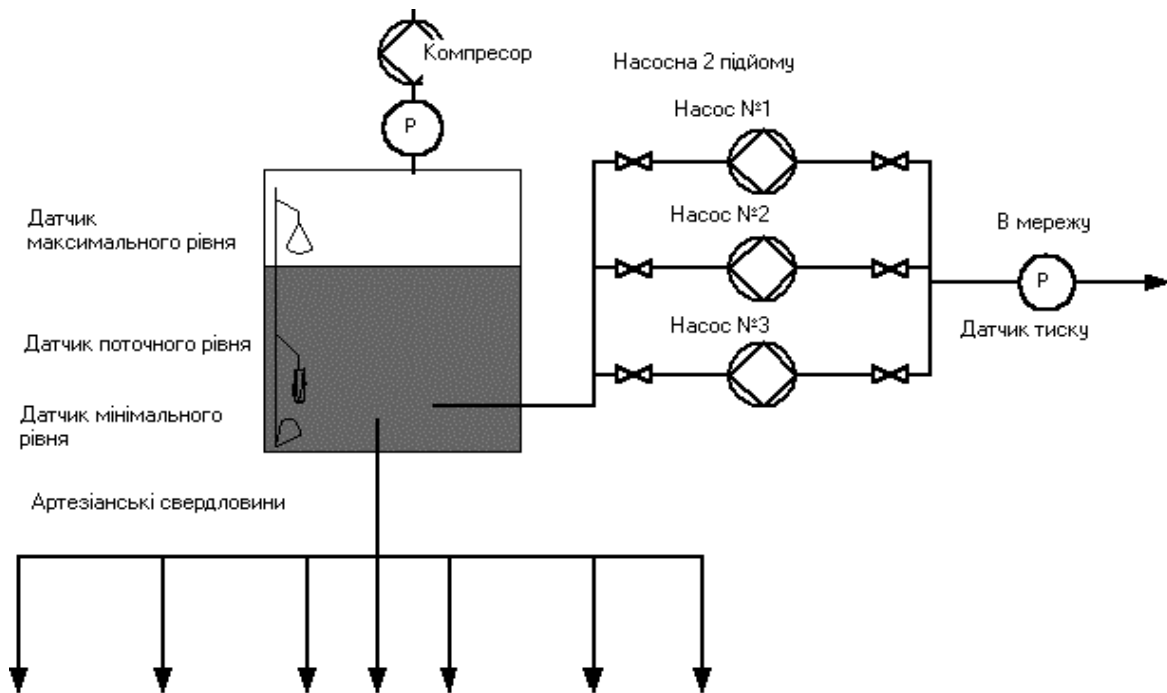


Рис. 5. Вакуумна насосна

**Висновок.**

Водопровідні насосні станції працюють у перемінному режимі, обумовленому нерівномірним водоспоживанням чи коливаннями рівня в джерелі водопостачання (річці, озері, водоймищі).

Регулювання режиму роботи водопровідних насосних станцій здійснюється головним чином за рахунок зміни числа працюючих агрегатів з використанням властивостей саморегулювання відцентрових насосів, а також дроселюванням напірних ліній насосних установок.

Таке регулювання веде до підвищення тиску у водоводах і мережі, перевитраті електроенергії, збільшенню витоків і непродуктивних витрат води, підвищеному зносу дроселючої арматури (засувок, затворів і т.п.).

Застосування регульованих приводів у насосних установках систем водопостачання дозволяє знизити тиск у розводячій мережі при зменшенні водоспоживання. Завдяки цьому можна заощадити енергію, зменшити втрати і скоротити число аварій у водогінній мережі. Крім того, наявність таких приводів дає можливість застосовувати більш великі агрегати, але в меншій кількості.

**Список літератури.**

1. Лезнов Б.С., Чебанов В.Б. Применение регулируемого электропривода в насосных установках систем водоснабжения и водоотлива //Электротехника. 1995. №7. с.9-12.
2. Гольстрем В.А., Кузнецов Ю.Л. Справочник по экономии топливноэнергетических ресурсов . - Киев: Техника, 1985.- 383 с.
3. Ильинский Н.Ф. и др. Энергосбережение в электроприводе - М.:Высшая школа, 1989.- 127с.
4. Луговой А.В. К теории энергосбережения средствами промышленного электропривода// Электротехника. 1999. № 5. с. 62-67
5. Браславский И.Я. О возможностях энергосбережения при использовании регулируемых асинхронных электроприводов //Электротехника. 1998. №8. с.2-5

Борозенець А.О., магістрант  
кафедра електропостачання

## ОЦІНКА ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ З ГЕНЕРУВАЛЬНИМИ ОБ'ЄКТАМИ РОЗОСЕРЕДЖЕНОГО ТИПУ

**Анотація:** розглянуті питання аналізу осоловості роботи РЗА в системах електропостачання з джерелами енергії розосередженого типу, аналіз з точки зору надійності електропостачання стан та особливості роботи систем електропостачання з джерелами розосередженого типу.

**Ключові слова:** надійність електропостачання, індикатори короткого замикання, РЗА.

**Summary:** the issues of the analysis of the sedation of the operation of the relay protection and automation systems in power supply systems by sources of energy of the dispersed type, the analysis in terms of reliability of the power supply state and the peculiarities of the operation of power supply systems with sources of dispersed type are considered.

**Key words:** reliability of electricity supply, short-circuit indicators, protection relay.

**Вступ.** Надійність електропостачання є невід'ємною частиною електроенергетики. Оскільки електроенергетика має досить серйозний прогрес і будується все більше об'єктів розосередженої генерації, тому питання забезпечення надійності електропостачання стає все гостріше. В даній роботі розглянуті деякі шляхи вирішення проблеми підвищення надійності електропостачання.

**Мета та завдання.** Головним завданням даної статі є підвищення надійності розподільних мереж електропостачання при інтеграції в їх структурі джерел генерації енергії розосередженого типу за допомогою засобів РЗА. Основним завданням є запропонувати комплексне вирішення проблеми підвищення надійності систем електропостачання.

**Матеріал і результати дослідження.** Основною причиною зниження показників надійності є пошкодження як кабельних так і повітряних ліній. Найпоширеніші пошкодження кабельних ліній є однофазні, міжфазні, порушення електричної міцності ізоляції. Також варто зазначити, що дуже велика кількість пошкоджень кабельних ліній відбувається через розрив або розтяжку жил. Існують методи пошуку пошкоджень кабельних ліній: метод пропалювання, імпульсний метод, індукційний метод, але основним є акустичний метод.

З приводу імпульсного методу можна сказати, що за його допомогою можна виміряти повну довжину кабельної лінії, визначити відстань до місця пошкодження, що має перехідний опір менше 200 Ом, а також відстань до розривів (розтяжок) жил кабелю. Частота струму, який використовується при цьому, становить від 1000 до 10000 Гц. Метод забезпечує високу точність визначення місця пошкодження і має широке поширення.

Індукційним методом можна визначити: трасу кабельної лінії, глибину прокладання кабельної лінії, відповідний кабель в пучку кабелів, міжфазні пошкодження кабельної лінії, однофазні пошкодження кабелю.

Акустичний метод визначення пошкодження заснований на фіксації над місцем пошкодження кабельної лінії звукових коливань, викликаних іскровим розрядом в каналі пошкодження. Акустичний метод є універсальний і в багатьох кабельних мережах розглядається як основний. Цім методом можливо визначати пошкодження різного характеру: однофазні та міжфазні замикання з різними перехідними опорами, обриви однієї, двох або всіх жил. В окремих випадках можливо здійснити визначення декількох пошкоджень на одній кабельній лінії. Але якщо з кабельними лініями легше, тому що є вже усталені методи пошуку та ліквідації пошкоджень, то з повітряним і лініями складніше. У повітряних ліній існує певна

складність пошуку місць пошкоджень через те, що розподільчі лінії дуже протяжні та розгалуджені. Зараз існує проблема забезпечення надійності електропостачання саме для повітряних ліній електропередач. Основною причиною пошкодження мереж стало обледеніння ліній та падіння дерев на них. Вирішити цю проблему швидко не вийде, тому що пошук та ремонт ліній займає досить великий час. А це в свою чергу тягне за собою збільшення невідпущеної електроенергії споживачам. Час витрачений на пошук пошкодження приблизно рівний тому, який потребується на ремонт лінії. Помітно прискорити цей процес можливо за рахунок зменшення часу на пошук пошкодження та локалізації аварії. Необхідно точно встановити місце пошкодження та можливість задіяти резервні схеми підключення, а потім виконувати ремонт лінії. На даний час існують інтелектуальні прилади для знаходження місця пошкодження. Зараз їх дуже мало, тому що вони досить дорогі. Мережі високої напруги 110-220 кВ по телемеханіці досить сильно відрізняються від мереж середньої напруги 6-10 кВ. Розподільчі мережі 6-10 кВ мають досить складну та розгалуджену структуру (рис.1), крім того ці лінії можуть проходити в складнодоступних місцях, наприклад, болотиста місцевість і т.д. В зв'язку з цим гостро постає питання переміщення ремонтних бригад та швидкого знаходження місця пошкодження. Розподільчі мережі також оснащені засобами телемеханіки (на підстанції), але вони не показують короткого замикання на землю та міжфазного короткого замикання. Визначення типу короткого замикання часто зменшує час на ліквідацію аварії.

Для пошуку в розгалуджених мережах використовують метод пробних включень. Цей метод полягає у тому, що лінія умовно ділиться за допомогою роз'єднувачів на дві частини, а потім одну з них підключають до напруги. Це дозволяє визначити на якій із частин лінії відбулось пошкодження. А потім частина, яка пошкоджена знову ділиться навпіл. Цей процес продовжується до повної локалізації аварії. Це займає досить багато часу, тому що бригада постійно знаходиться в дорозі.

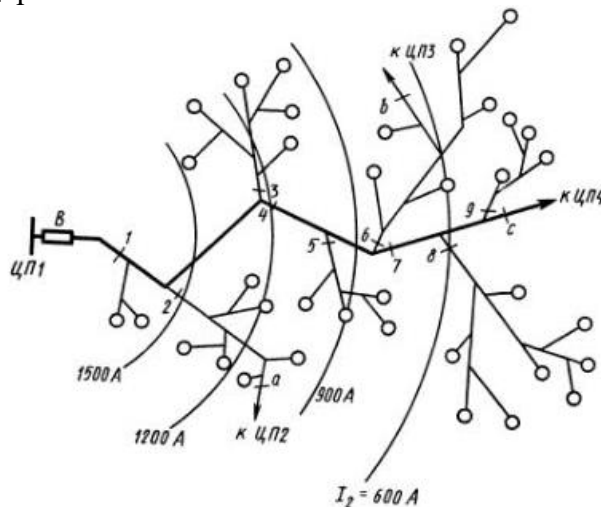


Рис.1 - Приклад розгалудженої схеми.

Для спрощення даної ситуації на підстанції встановлюють датчик відстані, який показує приблизний радіус пошкодження. Але точно визначити її не вдасться тому, що схема розгалудження і цей радіус може перетинати багато інших ліній. Тому тут є також певні недоліки.

На даний момент починають впроваджувати таке обладнання як індикатори короткого замикання. Нижче наведено загальні відомості про індикатори короткого замикання

В даний час для ліній напругою 6-10 кВ встановлюють на підстанціях прилади, які представлені двома основними видами – це покажчики проходження струму короткого замикання типу УТКЗ різних модифікацій і інтелектуальні мікроконтролери типу ІКЗ та їх

аналоги. УТКЗ призначені для фіксації і запам'ятовування інформації про проходженні струму короткого замикання в електричних мережах напругою 6-10 кВ. ІКЗ та аналоги визначають і фіксують аварійні струми і напруги, визначають відстань до місця аварії. Різні модифікації цього приладу здатні вести журнал із записом до 9 аварій і зв'язуватися з користувачем за допомогою дисплея по протоколу MODBUS. Але всі ці прилади, при їх порівняно невеликій вартості, мають один загальний недолік: вони здатні точно визначити місце аварії тільки на радіальних лініях. З приладів, що встановлюються безпосередньо на опорах, тільки мала частина може самостійно зв'язуватися з диспетчерським пунктом, або вбудовуватися в системи телемеханіки. У більшості випадків інформацію про аварію можна отримати при візуальному аналізі стану встановлених приладів. При цьому треба об'їжджати всю лінію, що зручно тільки для ліній з певною топологією.

Пропоную розглянути прилади, які дозволяють швидко визначати місце пошкодження та відчутно зменшувати час простою лінії. Індикатори короткого замикання призначені для визначення напрямку пошуку місця короткого замикання на повітряних лініях розподільчих мереж 6-35 кВ, які вимкнулись внаслідок короткого замикання. ІКЗ встановлюються безпосередньо на лінії електропередач. В залежності від інтелектуальності приладу можливо дивитись дані по каналу зв'язку. Вони досить зручні тому що дозволяють задавати параметри та зберігати історію до 50 аварій. Вони реєструють міжфазні та земляні типи аварій.

Рекомендовано встановлювати індикатори так, щоб на один індикатор приходилось приблизно 5 км довжини лінії. А також на початку та вкінці важкодоступних місць. На рис. 2 показаний індикатор короткого замиикання. На рисунку 3 показана схема встановлення різних типів індикаторів короткого замикання.



Рисунок 2 - Вигляд ІКЗ-1

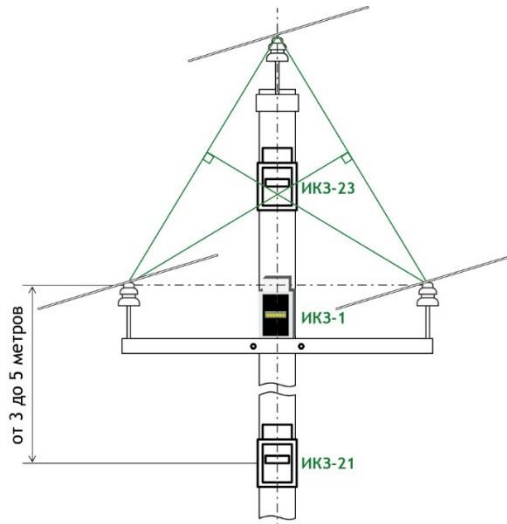


Рисунок 3 – Встановлення різних типів ІКЗ

Для демонстрації ефективності використання індикаторів короткого замикання було проведено розрахунок невідпущеної електроенергії для трьох різних методів пошуку місця пошкодження, що впливає на надійність електропостачання. Невідпуск електричної енергії знаходиться за наступною формулою:

$$A_{\text{нед}} = P_{\text{ср}} \cdot \omega_0 \cdot \tau_{\text{заг}},$$

де  $P_{\text{ср}}$  – середнє навантаження лінії, кВт;

$\omega_0$  – питомий показник пошкоджень ПЛ пошк/км\*рік;

$\tau_{\text{заг}} = \tau_{\text{оч}} + \tau_{\text{р}} + \tau_{\text{пошук}}$  – загальний час за який буде відновлена робота лінії;

$\tau_{\text{оч}}$  – час очікування;

$\tau_{\text{р}}$  – час ремонту;

$\tau_{\text{пошук}}$  – час пошуку місця пошкодження.

В таблицю 1 наведені результати відповідних розрахунків.

Таблиця 1– Результати розрахунків

|                                   | Метод<br>пробних включень | Метод<br>пробних включень<br>з датчиком<br>відстані по радіусу | Застосування<br>ІКЗ |
|-----------------------------------|---------------------------|----------------------------------------------------------------|---------------------|
| Невідпущена<br>електрична енергія | 560                       | 490                                                            | 385                 |

**Висновок.** Згідно з результатами наведеними у таблиці 1 можемо бачити, що застосування індикаторів короткого замикання є актуальним і ефективним з точки зору зменшення значення показника невідпущеної електроенергії

#### Список літератури

1. Індикатори короткого замикання ІКЗ-1 [http://dme.by/storage/ikz-b31-re\\_9322b126.pdf](http://dme.by/storage/ikz-b31-re_9322b126.pdf)
2. Автоматизированные методы и средства определения мест повреждения линий электропередачи: Уч. пособие / О.Г. Гриб, А.А. Светелик, Г.А. Сендерович, Д.Н. Калужный. Под общей редакцией О.Г. Гриба. – Харьков: ХГАГХ, 2003. -146 с.

УДК 621.311.004.18:62-83

**ОСОБЛИВОСТІ РОБОТИ НАСОСІВ СИСТЕМ ТЕПЛОВОДОПОСТАЧАННЯ****Закладний О.О.**, канд. техн. наук, доцент  
**Марухняк Д.В.** магістрант

*Системи тепло та водопостачання працюють у змінному режимі, що обумовлено зміною температури навколишнього середовища, нерівномірним водоспоживанням. Отже, системи тепло та водопостачання потребують регулювання їх роботи. Найбільш доцільний спосіб регулювання – кількісний, зміною подачі насосних установок.*

*Традиційні способи регулювання подачі насосних установок полягають в дроселюванні напірних ліній і зміні числа працюючих агрегатів по одному з технологічних параметрів. Ці способи регулювання спрямовані на рішення технологічних задач і практично не враховують енергетичні аспекти транспортування води. Таке регулювання призводить до підвищення тиску в мережі, перевитраті електроенергії, збільшенню витоків та невиробничих витрат води, підвищенню зносу устаткування.*

*Найбільш доцільним способом керування насосними установками систем тепловодопостачання є регульований електропривод.*

**Ключові слова:** насосні установки, система теплопостачання, регулювання.

*Heat and water systems operate in alternating mode due to changes in ambient temperature, uneven water consumption. Consequently, heat and water systems require regulation of their work. The most appropriate method of regulation - quantitative, changing the supply of pump units.*

*Traditional methods of regulating the supply of pump units consist in the throttling of pressure lines and the change in the number of working units in one of the technological parameters. These methods of regulation are aimed at solving technological problems and practically do not take into account the energy aspects of water transportation. Such regulation leads to increased network pressure, electricity overrun, increased leakage and non-productive water consumption, increased wear and tear of equipment.*

*The most appropriate way of controlling the pumping units of the heat supply systems is an adjustable electric drive.*

**Key words:** pump systems, heat supply system, regulation.

**Вступ.** Основними споживачами електроенергії (до 90%) у системах теплопостачання є насоси. Від правильності підбора насосів залежить надійність теплопостачання, відповідність режимів тепловиробництва і теплоспоживання.

По своєму призначенню в системах теплопостачання насоси можна розділити на 3 групи:

- мережні - для транспортування теплоносія в теплових мережах;
- циркуляційні - для забезпечення стійкого руху теплоносія в закритих контурах котелень, теплових пунктів, систем теплоспоживання;
- підвищуючі - для підвищення тиску, як правило, у системах гарячого водопостачання чи підживлення при недостатньому тиску холодного водопроводу [1].

При складному рельєфі теплових трас функції мережних і підвищуючих насосів можуть бути об'єднані.

Діапазон потужності насосів, застосовуваних у теплопостачанні, вар'юється від десятків Вт до сотень кВт.

Перший клас - це насоси з мокрим ротором, як правило, порівняно невеликої потужності

(до 5 квт).

Насоси цих класів мають сухий статор, що знаходиться під напругою і відділений від ротора спеціальною склянкою з кільцевим ущільненням. Ротор працює в перекачуваному середовищі, що забезпечує його охолодження, і змащення підшипників вала і корпусу двигуна. Сальникові чи торцеві ущільнення в цих конструкціях відсутні.

Такі насоси використовують для перекачування води з температурою до 110-140<sup>оc</sup> і робочим тиском 6-10 бар. По конструкції насоси з мокрим ротором відносяться до класу "inline" для безфундаментної установки на трубах і мають співвісний вхід і вихід. Як правило, насоси цих класів забезпечують порівняно невеликий напір до 10-15 м і їх використовують у якості циркуляційних у широкому діапазоні продуктивності від 1 до 150 м<sup>3</sup>/год, і відповідно діаметри патрубків вар'юються від 13 мм до 125-150 мм. Особливо варто сказати про здвоєні насоси. У багатьох випадках будівельні норми і правила вимагають застосування резервних насосів, і в цьому випадку застосування саме здвоєних насосів вирішує проблему надійності при істотному конструктивному спрощенні гідравлічної схеми.

**Матеріал і результати досліджень.** В останнє десятиліття ряд фірм освоїли виробництво насосів з вбудованими електронними регуляторами, що забезпечують плавне регулювання числа оборотів двигуна і відповідно продуктивності насосів. Крім того, є фірми випускаючі циркуляційні насоси з 3-х швидкісним ручним регулюванням продуктивності.

Другий клас - насоси із сухим ротором. Їх відрізняє від вищеописаних велика потужність і продуктивність. Як ущільнення в них використовується або сальникова набивка, або ковзне торцеве ущільнення. Ці насоси також відносяться до класу "inline" і можуть забезпечувати продуктивність до 500 м<sup>3</sup>/год при напорі до 70 м. Їхні робочі параметри перекачуваній воді відповідають максимальній температурі 120-140<sup>оc</sup>, а тиск 10-15 бар.

При роботі з теплоносієм 150<sup>оc</sup> і вище потрібно спеціальне конструктивне виконання для охолодження корпусу двигуна і підшипників.

Підвищуючі і мережні насоси, як правило, вимагають фундаментного виконання. Одноступінчаті насоси мають аксіальний вхід і радіальний вихід (кут між трубопроводами обв'язки 90 град.) Продуктивність таких насосів може досягати 600 м<sup>3</sup>/год і вище при напорі 60-100 м, хоча в такому виконанні випускаються і порівняно невеликі насоси з діаметром патрубка 32 мм і продуктивністю 15-20 м<sup>3</sup>/год при напорі 20-25 м.

При необхідності дуже великих напорів у системах теплопостачання (до 250 м) застосовуються багатоступінчасті відцентрові насоси високого тиску.

Підбір насосів варто здійснювати, орієнтуючись на робочі характеристики в зоні максимального КПД.

Як правило, при підборі насоса варто обмежувати швидкість руху води в трубопроводах, які підводять воду, значеннями не вище 1,5-2 м/с у межах систем опалення; вбудованих і прибудованих теплових пунктів і котелень - не вище 3-4 м/с, причому, зі зниженням діаметрів трубопроводів швидкість руху води повинна знижуватися.

Особлива увага повинна бути приділена явищу кавітації (скипання води в усмоктувальному патрубку). Робочий тиск у системах повинне вибиратися таким чином, щоб у точці всмоктування тиск залишався гарантовано надлишковим.

Для скорочення втрат тепла через корпус насоса варто застосувати насоси з корпусами, ізольованими пенопропіленами.

У насосних системах водяного опалення встановлюють спеціальні малошумні циркуляційні насоси (рис. 1. а) і відцентрові насоси загальпромислового призначення (рис. 1, б). Перевага віддається малошумним циркуляційним насосам, що закріплюється на трубах без фундаменту. Такий насос вибирають по заводській характеристиці (рис. 2, а) у межах високих значень ККД у залежності від загальної витрати води в системі опалення  $G_c$ , причому тиск

насоса  $\Delta p_H$ , що розвивається в робочій точці А, приймають за вихідне при гідравлічному розрахунку системи.

Высоконапорний насос загальнопромислового призначення вибирають (з перевіркою допустимості діючого гідростатичного тиску в усмоктувальному патрубку) також по заводській характеристиці (рис. 2, б) у залежності від витрати води  $G_C$  і втрат тиску в системі  $\Delta p_H$ . На водопровідних станціях звичайно застосовують насоси загального призначення, що допускають перекачування води з температурою до  $85^\circ\text{C}$  та вмістом твердих включень до 3 г/л, розміром не більш 0,1—0,2 мм. На водопровідних насосних станціях найчастіше встановлюють горизонтальні насоси двостороннього входу типу Д, а при подачах до  $0,08\text{ м}^3/\text{с}$  консольні насоси типу К. На заглиблених насосних станціях і підйому, спорудження яких в умовах близького залягання ґрунтових вод є важкою задачею, широко застосовують вертикальні відцентрові насоси типу В. Це дозволяє зменшити площу машинного залу, здешевити будівництво і поліпшити умови експлуатації винесених на перший поверх електродвигунів.

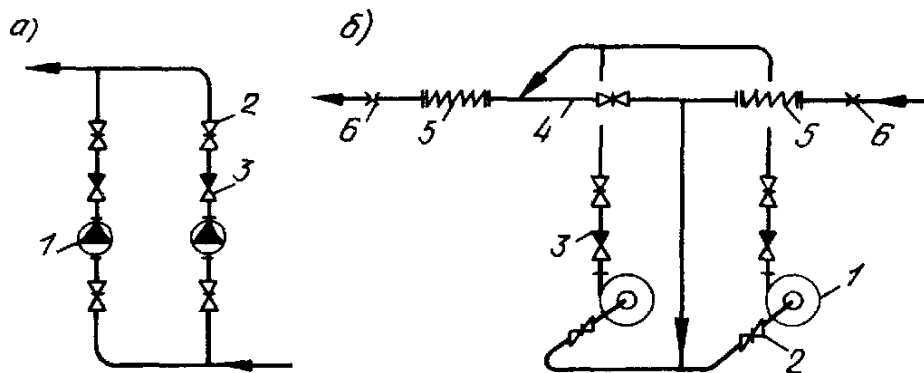


Рис. 1. Схеми приєднання труб до циркуляційних безфундаментних (а) і загальнопромислових (б) насосів

1 - насос, 2 - задвижка; 3 - зворотній клапан; 4 - обвідна труба з задвижкою (нормально закрита), 5 - віброізоляційна вставка; 6 - нерухома опора.

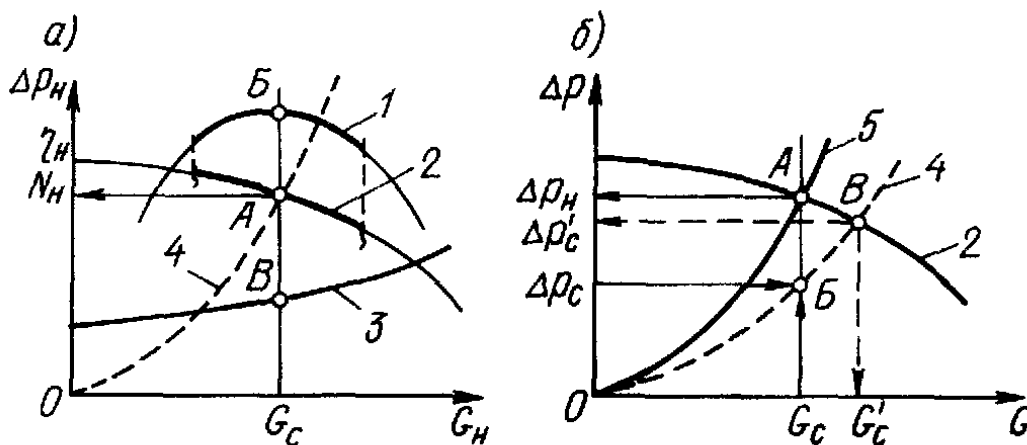


Рис. 2 Характеристики циркуляційних насосів

а - безфундаментного; б - загальнопромислового; 1, 2, 3 - характеристики відповідно ККД, тиску, потужності; 4 і 5 - характеристики системи опалення до і після регулювання

При великих подачах і при напорах від 4 до 25 м можуть застосовуватися осьові насоси.

Рівень шуму, створюваний сучасними насосами, залежить головним чином від потужності і частоти обертання двигуна. Як правило, насоси потужністю до 3 кВт не створюють звуковий тиск вище 55 dB. При високій потужності 7-10 кВт і вище рівень шуму може досягати 70-80 dB і необхідно передбачати спеціальні заходи для захисту від шуму і вібрації (вібровставки, вібропідвіски трубопроводів, звукоізоляцію приміщень).

Регулювання частоти обертання мережних насосів дозволить знизити напори в магістральних мережах і, тим самим, підвищити надійність їхньої експлуатації і скоротити витрати води, привести у відповідність характеристики мережі і насосів, що забезпечить.

Сучасні системи контролю і керування насосами дозволяють забезпечувати заданий режим регулювання, оптимізувати теплогідравлічні режими, контролювати основні параметри роботи (продуктивність, напір, число оборотів, струм, витрату електроенергії), а також діагностувати несправності.

Насосні агрегати можна умовно розділити на три великі групи: потужні (понад 500 кВт) агрегати енергетичних об'єктів; промислові агрегати і насосні станції централізованого водопостачання (50-300 кВт); масові установки (2-50 кВт), до яких належать насоси з подачею 12-100 м<sup>3</sup>/год і напором 20-80 мм вод.ст.

У першій групі в силу її специфіки застосовуються прогресивні види електропривода. В другій і особливо в третій, найбільш масовій, дотепер переважає нерегульований електропривод з асинхронними короткозамкненими двигунами, а керування продуктивністю здійснюється вкрай неефективним способом - дроселюванням. Це не дозволяє забезпечити режим раціонального енергоспоживання і витрати води, пари, повітря і т.ін. при зміні технологічних потреб у широких межах.

Характерним прикладом таких механізмів є насосні станції холодного і гарячого водопостачання і систем опалення житлових будинків і промислових споруд. Вибрані, виходячи з максимальної продуктивності, ці механізми значну частину часу працюють з меншою продуктивністю, що визначається зміною потреби в різні періоди часу. За деякими даними середньодобове завантаження насосів холодного водопостачання складає всього 50-55% максимального. Існуючі системи водопостачання не забезпечують помітного зниження споживаної потужності при зменшенні витрати, а також обумовлюють істотний ріст тиску (напору) у системі, що призводить до витоків води і несприятливо позначається на роботі технологічного устаткування і мереж водопостачання.

Насос має квадратичну залежність моменту опору від швидкості, а потужність на валу двигуна турбомеханізму зменшується в кубічній залежності при зниженні частоти обертання. Відповідно великі і можливості енергозбереження.

Традиційні способи регулювання подачі насосних установок полягають в дроселюванні напірних ліній насосів і зміні загального числа працюючих агрегатів по одному з технологічних параметрів - тиску на колекторі в точці мережі, рівню в прийомному чи регулюючому резервуарі й т. ін. Ці способи регулювання спрямовані на вирішення технологічних задач і практично не враховують енергетичних аспектів транспорту води. При такому регулюванні від 5 до 15%, а в окремих випадках до 25-30% споживаної електроенергії витрачається нераціонально через:

- втрати енергії в дроселюючому органі;
- створення надлишкових напорів у трубопровідній мережі;
- витоків і непродуктивних витрат води в мережі й у споживача;
- збільшення геометричного підйому при відкачці води з резервуарів каналізаційних насосних станцій і т.д. [2]

Тому з появою надійного регульованого електропривода створилися передумови для розробки принципово нової технології транспорту води з плавним регулюванням робочих параметрів насосної установки без непродуктивних витрат електроенергії із широкими можливостями підвищення точності й ефективності технологічних критеріїв роботи систем водоподачі. При цьому геометричним місцем робочих точок насосної установки стають характеристики трубопроводів, а не характеристики насосів як у випадку регулювання подачі насосних агрегатів з постійною частотою обертання.

Однак саме по собі оснащення насосної установки регульованим електроприводом не гарантує економії електроенергії. Щоб одержати економію електроенергії необхідно наступне. По-перше, переконатися в потенційній можливості її економії на об'єкті з урахуванням його технологічних, гідравлічних і режимних характеристик, а, по-друге, розробити раціональні технічні рішення з урахуванням додаткових капітальних витрат на їх впровадження і здійснити такий алгоритм керування насосною установкою, при якому практично реалізується потенційна можливість економії електроенергії.

Для розв'язання обох задач обов'язковий системний підхід, коли насосна установка як об'єкт аналізу і керування розглядається з погляду кількісної визначеності всіх параметрів стану взаємопов'язаних характеристик працюючих регульованих і нерегульованих насосів, характеристики трубопровідної мережі, режим енергоспоживання насосної установки, частоти обертання електроприводів, діапазону і характеру розподілу подач насосної установки і т.д.

Рис. 3 ілюструє можливості зниження потужності, споживаної двигуном насоса, при регулюванні швидкості електропривода в порівнянні з регулюванням дросельною заслінкою.

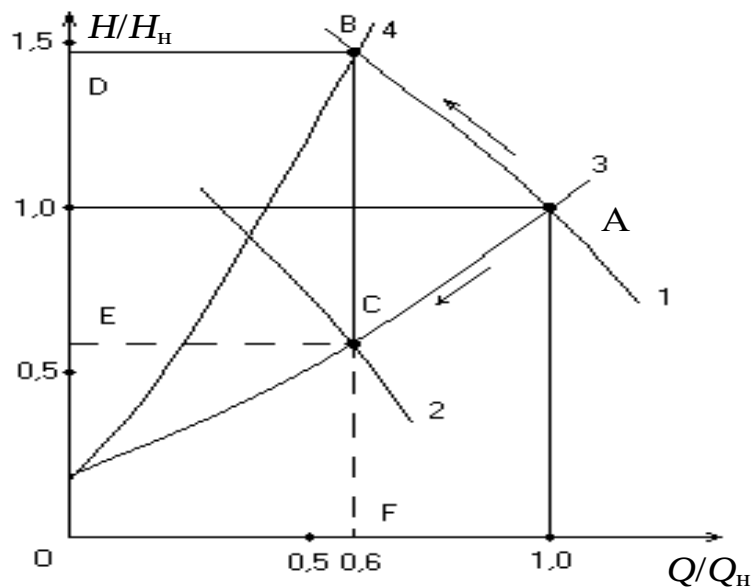


Рис.3 Характеристика насоса при регулюванні швидкості електропривода в порівнянні з регулюванням дросельною заслінкою

При номінальній витраті і напорі насос працює в точці А, що відповідає характеристиці магістралі 3 і характеристиці  $Q - H$  насоса (крива 1) при номінальній швидкості двигуна. Зі зменшенням витрати при нерегульованому електроприводі (на рисунку показана витрата, що складає  $0,6Q_n$ ) за рахунок дросельного регулювання відбувається зміна опору магістралі (крива 4). Насос працює в точці В кривої 1, що призводить до зростання напору, який стає

більшим від номінального. Потужність, споживана насосом, пропорційна площі прямокутника ODBF.

При використанні регульованого електропривода за рахунок зниження швидкості насос працює при зниженні витрати в точці С, що відповідає іншій характеристиці  $Q - H$  (крива 2) при незмінній характеристиці магістралі (крива 3). Потужність, споживана електроприводом у цьому випадку, пропорційна ОЕСФ, що наочно ілюструє можливості істотного зниження енергоспоживання при впровадженні регульованих електроприводів насосів. Найкращі техніко-економічні показники при регулюванні швидкості насосів забезпечує система ПЧ-АД.

Щоб повніше представити енергетичні процеси в насосній установці, обладнаній регульованим електроприводом, варто враховувати, що переміщення робочих координат насоса по характеристиці водоводу при зниженні подачі насосної установки призводить, як правило, до виходу робочих точок насоса з робочої зони, тобто до зниження ККД працюючих агрегатів, а в ряді випадків до кавітаційного чи помпажного режиму. Особливо значних змін зазнає ККД регульованих насосів - у них він може змінюватися від номінальних значень до нуля, коли при зниженні частоти обертання тиск, що розвивається насосом, дорівнює або нижче тиску, створюваного роботою паралельно ввімкнених насосів, чи геометричного підйому.

На рис. 4 показана у відносних одиницях  $n^* = n_i/n_n$  і  $H_{ст}/H_{ф}$  область значень ККД регульованого насоса  $\eta_i$ , обмежена величинами  $\eta_i = 0,95\eta_n$  і  $\eta_i = 0,1\eta_n$ . Тут  $n_i, n_n$  - поточна і номінальна частота обертання насоса;  $H_{ст}$  і  $H_{ф}$  - геометричний підйом чи протитиск і фіктивний напір насоса при нульовій подачі [3].

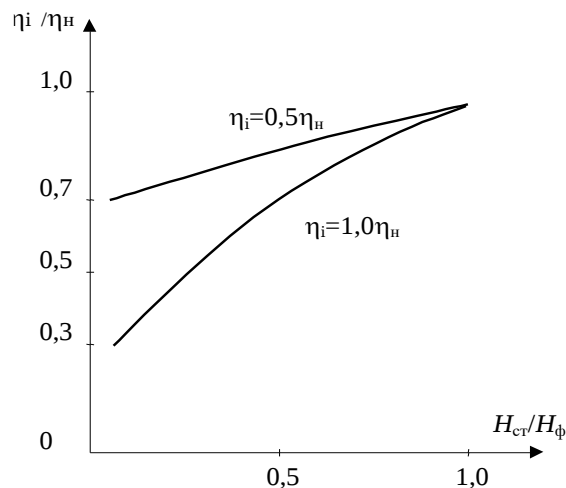


Рис.4 Залежність ККД насоса від напору у відносних величинах

З рисунка видно, що значення ККД залежать як від частоти обертання, так і від поточних координат насоса, водоводу і протитиску в мережі. Тому закономірна поява питання, якою мірою зниження ККД насоса при зменшенні обертів компенсується зниженням напорів при русі по траєкторії водоводу. Визначено, що для регульованого насоса в залежності від його характеристик, а також характеристик паралельно працюючих насосів і трубопровідної мережі існує обмежений інтервал частоти обертання, на якому його енергетичні характеристики не гірші ніж при номінальній частоті обертання.

На рис. 5 зображені криві, що відбивають залежності відносних питомих витрат електроенергії  $W^*$  на перекачування одиниці об'єму води від відносної частоти обертання ( $n_i/n_n$ ) насоса при різних значеннях протитиску в мережі.

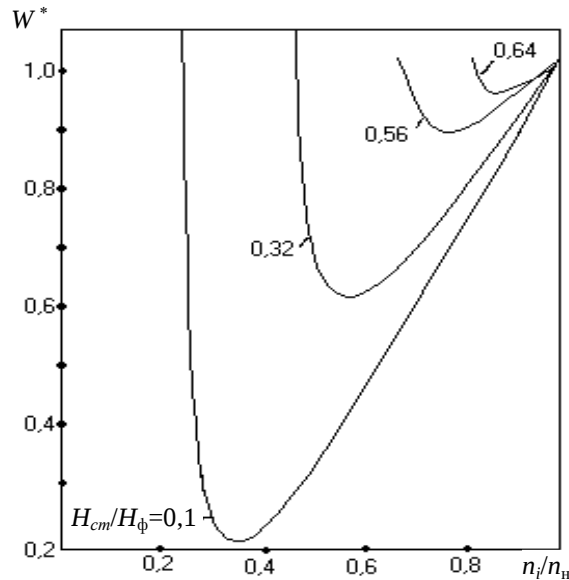


Рис. 5 Залежність питомих витрат електроенергії від частоти обертання у відносних величинах

Залежності мають яскраво виражений екстремальний характер. Спочатку при зниженні частоти обертання від номінальних обертів питомі витрати електроенергії знижуються, а потім, коли економія електроенергії від зниження напору стає сумірною з втратами від зниження ККД насоса, виявляється екстремум функції. В подальшому зменшення частоти обертання призводить до різкого зростання питомих витрат електроенергії, і ліва ділянка кривих іде в нескінченність при прямуванні ККД насоса до нульового значення. Абсолютне значення екстремуму кривих залежить від протитиску з боку працюючих насосів. При зміні числа насосів екстремум зміщується в ту чи іншу сторону.

Оскільки системи водоподачі являють собою динамічні об'єкти, у яких постійно змінюються в часі робочі параметри, насосна установка може потрапити в режим роботи, при якому значення ККД виявляться занадто низькими (до 0,1). При деяких умовах цей режим може бути тривалим (до 3 - 5 год. на добу). Щоб уникнути таких режимів, уже на стадії розробки САУ розраховують режимні точки, при яких варто робити зміну загального числа працюючих агрегатів, щоб мінімізувати енергоспоживання насосної установки. При реалізації систем автоматичного керування застосовуються технічні рішення, що дозволяють утримувати регульовані агрегати від входження в зону низьких значень ККД насоса. Ці рішення використовують сучасну програмувальну мікропроцесорну регулюючу апаратуру, здатну ідентифікувати об'єкт керування і розраховувати поточні значення настроювальних параметрів САУ. Потім за допомогою регульованого електропривода переміщувати вектор параметрів стану об'єкта відповідно до критерію регулювання, що розраховується тим самим регулюючим пристроєм або задається по зовнішній програмі.

На рис.6 порівнюються криві необхідної потужності насосних приводів трьох принципів керування. Як видно з рисунка при подачі в обсязі 50% розрахункового максимуму необхідна потужність при дроселюванні (крива 1) складає 73%, при використанні запірно-регулюючої арматури (крива 2) - тільки 50% номінальної, при регулюванні частоти обертання електродвигуна (крива 3) - всього 14% номінальної потужності.

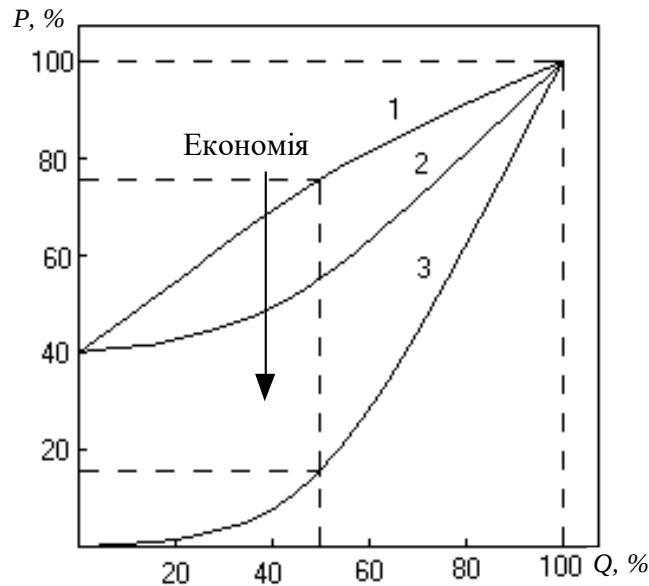


Рис. 6. Витрати електроенергії в залежності від виду регулювання

Економічність визначається не тільки енергетичними витратами, враховуються також шуми при регулюванні. Рис. 7 показує зміну рівня звукового тиску (шумів) при регулюванні потоку з трьома різними системами. Тут: 1 - регулювання дроселем; 2 - використання запірно-регулюючої арматури; 3 - регулювання частоти обертання електродвигуна.

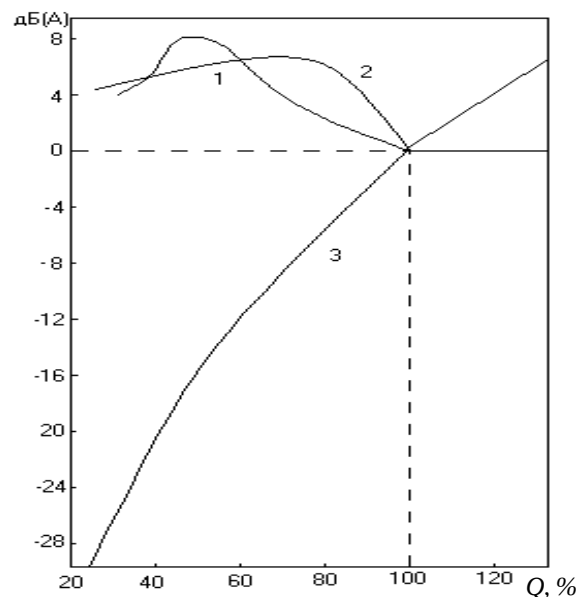


Рис. 7 Зміна рівня тиску (шумів) при регулюванні потоку з трьома різними системами.

Виходячи з номінальної точки, показане зростання рівня звуку для обох механічних систем, особливо в діапазоні частот потрібного робочого режиму - від 40 до 80% проектного максимуму. У цьому випадку при електричному регулюванні частоти обертання електродвигуна рівень звуку падає на 20 дБ. У порівнянні з механічною системою виграш складає 20-30 дБ, завдяки чому витрати на шумознижуючі заходи значно зменшуються.

Для кількісної оцінки економії електроенергії і води при впровадженні регульованого електропривода на одній з підкачувальних насосних станцій холодного водопостачання,

житлових будинків був установлений частотно-регульований електропривод, що забезпечує сталість напору на виході насоса незалежно від витрати, і виконані запис тиску на вході і виході насосної станції і виміри витрати електроенергії і води при роботі в нерегульованому і регульованому режимах. Насос з номінальною подачею 100 м<sup>3</sup>/год і напором 32 м приводився в обертання асинхронним двигуном потужністю 15 кВт. Проведені вимірювання показали, що за рік економія електроенергії склало близько 45500 кВт · год (40,5%), а економія води – 114135 м<sup>3</sup> (25%). При економічному ефекті тільки за рахунок економії електроенергії вартість електричного устаткування для регулювання частоти обертання електродвигуна окупиться за рік експлуатації.

Наведений приклад переконливо підтверджує можливості істотного зниження енергоспоживання при використанні систем регульованих асинхронних електроприводів (особливо ПЧ-АД). Попередні розрахунки показують, що при широкому впровадженні частотно-регульованих приводів можна заощадити 7-10% виробленої електроенергії.

Поява регульованого електропривода в насосних установках систем водопостачання і водовідведення дозволить створити принципово нову енергозберігаючу технологію транспорту води, у якій заощаджується не тільки електроенергія, але і зберігається теплова енергія, скорочується витрата води за рахунок витоків її при перевищеннях тиску в магістралі, коли витрата мала. При частотному регулюванні насосів можна в значній мірі уникнути аварійних ситуацій за рахунок запобігання гідравлічним ударами, що виникають при зміні режимів роботи і пуску системи при нерегульованому електроприводі.

Отримано можливість гнучкого й оперативного розв'язання задач водоподачі і водовідведення при істотному зниженні витрати електроенергії при перекачуванні води і стоків. Однак, щоб реалізувати таку можливість, необхідно на всіх стадіях розробки, впровадження й експлуатації систем керування режимом водоподачі мати у своєму розпорядженні максимально повну кількісну інформацію про стан об'єкта автоматизації.

**Висновок.** Навантаження ситем тепло- водопостачання є нерівномірним на протязі часу. Для виконання заданих графіків навантаження здійснюють якісно-кількісне регулювання роботи систем тепло- водопостачання. Найбільш ефективним є кількісне регулювання роботи системи. Таким чином регулювання повинно здійснюватись за допомогою задвижок, заслонок або регульованого електроприводу.З енергетичної точки зору найбільш доцільним є регулювання засобами регульованого електроприводу.

#### **Список літератури.**

1. Енергетичний аудит: Навчальний посібник/ В.В.Прокопенко, О.О.Закладний, П.В.Кульбачний. – Київ, КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 400с. .
2. Закладний О.М., Праховник А.В.,Соловей О.І. Енергозбереження засобами промислового електропривода: Навчальний посібник.-К: Кондор, 2005. – 408 с.
3. Лезнов Б.С. Экономия электроэнергии в насосных установках-М.:Энергоатомиздат, 1991. – 144 с.

**СЕКЦІЯ 2.**  
**ЕНЕРГЕТИЧНИЙ МЕНЕДЖМЕНТ ТА ІНЖИНІРИНГ**

УДК 697.9(075.8)

Магістрант Чубенко Д.Е.,  
науковий керівник: к.т.н., доц. Виноградов-Салтиков В.О.  
Кафедра теплотехніки та енергозбереження

**ДОСЛІДЖЕННЯ СТАНУ КОМФОРТНОСТІ В ПРИМІЩЕННЯХ  
СПЕЦІАЛІЗОВАНОЇ ШКОЛИ «ГРААЛЬ».**

**INVESTIGATION OF THE STATE OF COMFORT IN THE PREMISES OF THE  
SPECIALIZED SCHOOL "GRAAL".**

*Анотація: В роботі розглянуто стан комфорту в приміщеннях учбових класів та холів спеціалізованої школи №43 «Грааль» в м. Києві, зроблені дослідження з визначенням температурних і вологісних параметрів повітря, та вмісту CO<sub>2</sub>, на канікулах та під час навчання на початку та після уроків. Розглянуто проблему забезпечення умов комфортного повітря, розглянута нормативна база стандартів України та порівняно із закордонними стандартами та дослідженнями відносно учбових закладів та громадських установ. Запропоновано вирішення даної проблеми за рахунок автономної рекуперації повітря в класах з одночасним зменшенням тепловтрат, прибираючи існуюче провітрювання.*

*Ключові слова: комфортні умови, концентрація двоокису вуглецю, вентиляція, повітрообмін, енергозбереження, рекуператор.*

*Abstract: The paper considers the state of comfort in the premises of the educational classes and halls of the specialized school №43 "Graal" in Kyiv, studies were carried out on the determination of temperature and humidity parameters of air, and CO<sub>2</sub> content, on holidays and during studies at the beginning and after the lessons. The problem of providing comfortable air conditions is considered, the normative base of standards of Ukraine is considered and in comparison with foreign standards and studies concerning educational establishments and public institutions. The solution of this problem is proposed due to autonomous air recuperation in classes with simultaneous reduction of heat losses, removing existing airing.*

*Keywords: comfortable conditions, carbon dioxide concentration, ventilation, air exchange, energy saving, recuperator.*

**Вступ**

В Національному стандарті України ДСТУ Б EN 15251:2011[1], на який дається посилання стандарту ДБН В.2.2-3:2018 «Будинки і споруди. Заклади освіти» [2], наведено приклад рекомендованої концентрація CO<sub>2</sub> для енергетичного розрахунку параметрів мікроклімату приміщень для проектування. За яким, вміст CO<sub>2</sub> може бути вищим за природний фон на 350...800 ppm, тобто складати 750...1200 ppm. Перше значення розглядає новобудови та дошкільні заклади, друге – вже існуючі побудовані будинки. За природний фон вважають повітря у сільській місцевості, яке може мати вміст CO<sub>2</sub> на рівні 0,038...0,04% за об'ємом або 380...400 ppm. А у міських районах цей фон може досягати значення до 0,07 об.%, тобто 700 ppm.

Більш ретельно розглянуто допустимий вміст CO<sub>2</sub> та інших шкідливих речовин в основних приміщеннях в дошкільних навчальних закладах - за Наказом Міністерства охорони здоров'я України «Про затвердження Санітарного регламенту для дошкільних навчальних закладів» [3] вміст CO<sub>2</sub> повинен бути не більше 0,07% (700 ppm на рівні природного фону),

запиленість - 1,75 млн пилинок у 1 м<sup>3</sup> повітря, окисненість повітря - 6-9 мг О<sub>2</sub> в 1 м<sup>3</sup>, кількість мікроорганізмів - 4000 в 1 м<sup>3</sup> повітря взимку, граничнодопустима концентрація (далі - ГДК) аміаку - 0,1 мг/м<sup>3</sup>, фенолу - 0,006 мг/м<sup>3</sup>, формальдегіду - 0,003 мг/м<sup>3</sup>.

Оптимальною температурою у групових осередках дошкільних навчальних закладів є +19...+23 °С. У приміщеннях басейну - +29...+30 °С. У залах для занять музикою та фізичною культурою +18...+19 °С. У теплих переходах – не менше +15 °С. У приміщеннях, що займають кутове положення або знаходяться в торці будівлі дошкільного навчального закладу, температура повітря повинна бути не менше +21 °С.

Слід обумовити і відносну вологість в межах 50...60%, яка теж є показником комфорності в приміщеннях.

Інші показники є пріоритетом у визначенні санітарних і екологічних служб, пов'язаних зі спеціальним дорогим обладнанням та приладами, та методиками вимірювань та спостережень.

Нажаль повного вимірювання складу повітря та за його спостереженням в шкільних не проводять, але слідкують за температурою в учбових класах інколи вимірюють відносну вологість, а в профільних кабінетах спостерігають за барометричним тиском. В більшості випадків визначають задуху чи прохолоду на власному відчутті. Концентрація СО<sub>2</sub> у повітрі приміщенні служить вимірюваним показником для оцінки якості повітря в приміщенні, оскільки концентрація СО<sub>2</sub> в повітрі приміщення збільшується пропорційно кількості осіб. Вона залежить від тривалості перебування, активності присутніх людей, а також від виду діяльності. Суб'єктивне сприйняття якості повітря в приміщеннях осіб, які вже перебувають у приміщенні протягом тривалого періоду часу, в основному помилкове, тому що люди не мають рецепторів концентрації СО<sub>2</sub>. Людина, коли знаходиться в кімнаті, учбовому класі, тільки помічає, що існує повітря в приміщенні вже "не свіже", але швидко пристосовується до оточення і через кілька хвилин це відчуття вже послаблене.

Сучасна забудова міста Києва багатоповерхівками паркових та лісових зон старих мікрорайонів, збільшення кількості населення, збільшення автомобілів з паркуванням у вільному міжбудинкового простору. А с цим збільшення загазованості, в тому числі збільшення викидів СО<sub>2</sub> та в поєднанні цього з іншими забруднюючими факторами значно погіршує міське повітряне середовище та його вплив на здоров'я людей, особливо дітей. Ще одна із сторін цієї урбанізації – збільшення кількості учнів в класах до 35 чоловік є нормою. Шкільні системи примусової вентиляції знаходяться в занедбаному непрацюючому стані, які потребують сучасної реконструкції, грошей на що не має.

В даний час використовуються методики для визначення мінімально необхідного повітрообміну, достатнього для забезпечення в приміщенні допустимої якості повітря. Крім цього, слід розглядати можливі умови зменшення теплових втрат за рахунок рекуперації повітря, що набуває розвитку в сучасних незалежних системах вентиляції з рекуперацією теплоти.

### **Мета та завдання**

Метою роботи є експериментальне визначення показників комфорту в приміщеннях учбових класів та холах типової для забудови 70-90 років у м. Києві спеціалізованої школи з акцентом на вміст двоокису вуглецю, температури і відносної вологості повітря та на скільки це відповідає допустимим нормам комфорту та вмісту СО<sub>2</sub> в приміщеннях навчальних закладах, як у нас на Україні так і за кордоном. До завдання роботи входило розглянути можливі рішення даної проблеми з точки зору енергозбереження.

### **Публікації та нормативні матеріали з даної теми.**

Порівняння стандартів до вимог інших держав наведено у таблиці 1, [4, 5, 1, 7], які підкреслюють стурбованість за здоров'я учнів, які більшу частину денного часу проводять у школі.

Таблиця 1.

|     | Країна         | Норма                                                                                                                                                                                         | Рівень CO <sub>2</sub>                                                               |
|-----|----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| 1.  | Фінляндія      | Стандарт міністерства охорони здоров'я та соціального розвитку, 2003 р.                                                                                                                       | Якість повітря:<br>висока – 700 ppm;<br>середня – 900 ppm;<br>задовільна – 1200 ppm. |
| 2.  | США            | Рекомендації по якості повітря у школах департаменту відділу охорони здоров'я США                                                                                                             | Граничний рівень 1000 ppm                                                            |
| 3.  | США            | Норми ASHRAE 62-1989 «Вентиляція для нормальної якості повітря»                                                                                                                               | 1000 ppm                                                                             |
| 4.  | США            | Рекомендація Управління по техніці безпеки та гігієни праці (OSHA), 1994 р.                                                                                                                   | 800 ppm                                                                              |
| 5.  | США            | Рекомендація Американської асоціації промислових гігієністів (ACGIH), 1998 р.                                                                                                                 | 600 ppm                                                                              |
| 6.  | Росія          | ГОСТ 30494-2011                                                                                                                                                                               | Оптимальні значення:<br>500–800 ppm.<br>Межа допустимого 1400 ppm.                   |
| 7.  | Великобританія | “Вентиляція у шкільних спорудах. Керівництво по стандартам та проектуванню», 2006 р.                                                                                                          | 1500 ppm – гранична норма для навчального дня з 9.00 до 15.30                        |
| 8.  | Нідерланди     | Гігієнічні норми «Огляд норм по якості повітря для дитячих садків у Нідерландах»                                                                                                              | 1000 ppm – гігієнічна норма для дитячих садків; 1200 ppm – гігієнічна норма для шкіл |
| 9.  | Естонія        | Норми Міністерства по соціальним питанням                                                                                                                                                     | 1000 ppm – гігієнічна норма для шкіл                                                 |
| 10. | Німеччина      | DIN EN 15251, вхідні параметри для внутрішнього клімату для проектування та оцінка енергетичних характеристик будівель - якість повітря в приміщенні, Температура, світло і акустика. 2007 р. | Абсолютна концентрація для розрахунків енергоефективності 750...1200 ppm             |
| 11. | Україна        | ДСТУ Б EN 15251:2011                                                                                                                                                                          | 750...1200 ppm                                                                       |

Цікаві дослідження впливу збільшення концентрації CO<sub>2</sub> в повітрі в класах шкіл на учнів та учителів проводилися в Німеччині, Росії, Фінляндії, Великобританії, США, Індії (в Калькутті) та в інших країнах, нажалі таких досліджень бракує Україні.

Одним із яскравих прикладів досліджень «Концепції вентиляції в навчальних закладах - вплив якості повітря на продуктивність учнів» з Брауншвейгського Технічного університету, в якій було задіяні фахівці університету, учителі та технічний персонал шкіл, розглянуто використання сучасних систем вимірювання та спостереження за складом повітря, температурою, вологістю, звуком тощо, розглянуто вплив на учнів та учителів збільшення концентрації CO<sub>2</sub> та інших факторів.

Одна важлива різниця між закордонними дослідженнями в стані працюючих вентиляційних систем та систем кондиціонування повітря в наших учбових закладах - це їх відсутність.

Також відмічена розбіжність між будівельними нормативами і санітарно-гігієнічними рекомендаціями. Перші кажуть: не вище 1 400 ppm CO<sub>2</sub>, другі попереджають: це занадто багато. Цікавим є, на наш погляд, таке порівняння в таблиці 2.

Умови в приміщеннях учбових закладів регламентується ДБН 2018 р. Будинки і споруди «Заклади світи» [1] з посиланням на ДБН В.2.5-67:2013 «Опалення, вентиляція та

кондиціонування» [8]. Діапазон результуючої температури, відносної вологості та вмісту двоокису вуглецю в приміщенні для опалення та охолодження наведені у таблиці 3.

Таблиця 2.

| Концентрація CO <sub>2</sub> (ppm) | Строительные нормативы (согласно ГОСТ 30494-2011) | Вплив на організм (згідно санітарно-гігієнічним дослідженням)                                   |
|------------------------------------|---------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
| менше 800                          | Повітря високої якості                            | Ідеальне самопочуття і бадьорість.                                                              |
| 800 – 1000                         | Повітря середньої якості                          | На рівні 1 000 ppm кожен другий відчуває духоту, млявість, зниження концентрації, головний біль |
| 1 000 - 1400                       | Нижня границя допустимої норми                    | Млявість, проблеми з уважністю і обробкою інформації, важке дихання, проблеми з носоглоткою     |
| Вище 1400                          | Повітря низької якості                            | Сильна втома, безініціативність, нездатність зосередитися, сухість слизових, проблеми зі сном   |

Таблиця 3.

| Умови мікроклімату   | Діапазон температури приміщення для опалення та охолодження: | Відносна вологість повітря, % | Рівень концентрації CO <sub>2</sub> у приміщенні понад рівень у зовнішньому повітрі, ppm |                 |
|----------------------|--------------------------------------------------------------|-------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
|                      |                                                              |                               | Типовий діапазон                                                                         | Типове значення |
| Підвищені оптимальні | 22±1,0                                                       | 30-50                         | <400                                                                                     | 350             |
| Оптимальні           | 22±2,0                                                       | 25-60                         | 400-600                                                                                  | 500             |
| Допустимі            | 22±3,0                                                       | 25-70                         | 600-1000                                                                                 | 800             |
| Обмежено допустимі   |                                                              | Менше 20 та більше 70         | >1000                                                                                    | 1200            |

Для більшості шкіл повітрообмін здійснюється за рахунок природної витяжної вентиляції або провітрювання, зображеного на рисунку 1.



Рис. 1.

Природна вентиляція, яка дозволяє повністю змінити повітря в приміщенні, нажаль, не здійснюється в повній мірі із-за значних втрат теплоти та можливих переохолоджень приміщень, що сприяють простуді учнів. За відсутності дітей приміщення дошкільних навчальних закладів повинні періодично провітрюватися, що теж не завжди відбувається.

У ДСанПіН 5.5.2.008-01 [9] розглянуто регламент провітрювань на перервах, який наведено у таблиці 4.

Таблиця 4.

| Температура зовнішнього повітря, °C | Тривалість провітрювання приміщень, хв. |                                    |
|-------------------------------------|-----------------------------------------|------------------------------------|
|                                     | на малих перервах                       | на великих перервах та між змінами |
| від +10 до +5                       | 4–10                                    | 25–35                              |
| від +5 до 0                         | 3–7                                     | 20–30                              |
| від 0 до –5                         | 2–5                                     | 15–25                              |
| від –5 до –10                       | 1–3                                     | 10–15                              |
| нижче –10                           | 1–1,5                                   | 5–10                               |

Дані провітрювання мають значні втрати теплової енергії, які деякі з авторів розглядають в межах 20%, але ще потрібно враховувати втрати на інфільтрацію, яка доходить до 20%, що не припустимо та потребує енергоощадних заходів.

#### Опис об'єкту дослідження

Спеціалізована школа №43 з поглибленим вивченням предметів суспільно-гуманітарного напрямку "Грааль" Солом'янського району м. Києва Школу було побудовано у 1952 році, а в 1986 році був добудований другий корпус школи.

З 2001 року перший корпус перебував на реконструкції, яка завершилась у 2003 році. Після реконструкції школа має 44 навчальних кабінети, два спортивних зали, актову зала, велика їдальня, три сучасних комп'ютерних класи.

Кількість учнів на час проведення аудиту складала 1363 осіб. Кількість працюючого персоналу 100 осіб.

Тепловтрати в будівлі складаються з тепловтрат через зовнішні огороження (стіни, вікна, підлоги, перекриття) і витрат теплоти на нагрівання повітря, що інфільтрується – виходить з приміщення через нещільність в конструкціях.

За проведенням попереднім енергоаудитом було визначено можливі основні теплові втрати будівлею школи у відсотках (рис. 2), де 15% з них складають втрати саме на інфільтрацію повітря та нагрів вентиляційного повітря, або втрати теплового повітря під час провітрювань та виходу крізь щілини та двері.

В добудованому корпусі були замінені дерев'яні вікна на металопластикові, які покращили тепловий стан в учбових класах, але виникла необхідність у додатковому провітрюванні приміщень.

#### Експериментальна частина.

Дослідження проводились під час весняних канікул, коли працювали в деяких класах гуртки і даний стан повітря можливо розглядати як близький до зовнішнього фону з дуже незначним збільшенням вмісту CO<sub>2</sub>. Інші вимірювання проводились через тиждень після весняних канікул. Було вибрано ранковий час на початку занять та денний час відразу після закінчення занять в школі. Ці терміни найбільш повно характеризували стан повітря в класах.



Для вимірювань було використано: комплексний прилад Регістратор CO<sub>2</sub> TR-75Ui (див. рис. 3) з діапазоном вимірювань CO<sub>2</sub>: 0...9999 ppm, температури: 0...55°C, відносної вологості: 10...95% RH. Для дублювання температур повітря та відносної вологості було використано термісторний електронний комплексний прилад LM-8000 з діапазоном вимірювань температур -20°C ... +65°C і відносної вологості - 10...95% RH, а також пірометр GM320 з діапазоном вимірювань -50°C ... +380°C для вимірювань поверхонь стін, підлоги, стелі, вікон та радіаторів опалення. Для визначення площі та об'єму класів було використано лазерний дальномір Eco Dist Plys з можливістю вимірювати до 30 м з точністю ±1мм та вбудованою функцією розрахунку площі та об'єму.



Рис. 3.

Вимірювання проводились в приміщеннях класів та холах на чотирьох поверхах, в головному холі та на вулиці, для порівняння з фоновим виличним вмістом CO<sub>2</sub>. Дані по вимірюванню представлені на рисунках 5, 6 та 7.

Дослідження після закінчення занять 13.30

Таблиця 7. 5.

| Старий корпус                       |                      |      |                       | Новий корпус        |                      |      |                       | м <sup>2</sup> |
|-------------------------------------|----------------------|------|-----------------------|---------------------|----------------------|------|-----------------------|----------------|
| Поверх                              | t <sub>вн</sub> , °C | φ, % | CO <sub>2</sub> , ppm | Поверх              | t <sub>вн</sub> , °C | φ, % | CO <sub>2</sub> , ppm |                |
| 2 поверх. ауд. №1 (сон. сторона)    | 23,5                 | 37,4 | 1875                  | 3 поверх. каб. №303 | 23,3                 | 51,0 | 2594                  | 9              |
| 2 поверх. ауд. №3 (відкриті вікна)  | 23,4                 | 36,0 | 1740                  | 3 поверх. каб. №306 | 22,5                 | 47,3 | 2650                  | 9              |
| 3 поверх. ауд. №7а (відкриті вікна) | 23,4                 | 41,5 | 1943                  | 2 поверх. каб. №208 | 22,8                 | 45,9 | 2273                  | 9              |
| 3 поверх. ауд. №10 (відкриті вікна) | 23,3                 | 45,0 | 2275                  | 2 поверх. каб. №206 | 22,9                 | 45,5 | 2050                  |                |
| 4 поверх. ауд. №18 (відкриті вікна) | 23,3                 | 43,3 | 2650                  | 1 поверх. каб. №102 | 21,7                 | 49,0 | 2577                  |                |
| 4 поверх. ауд. №16 (закриті вікна)  | 23,6                 | 42,8 | 2378                  | 1 поверх. каб. №105 | 21,6                 | 48,4 | 1960                  |                |
| Хол 2 поверх                        |                      |      |                       | Хол 1 поверх        |                      |      |                       |                |
| Подвір'я                            |                      |      |                       |                     |                      |      |                       |                |

Дослідження до занять 8.20

Таблиця 6.

| Старий корпус                      |                      |      |                       | Новий корпус        |                      |      |                       |
|------------------------------------|----------------------|------|-----------------------|---------------------|----------------------|------|-----------------------|
| Поверх                             | t <sub>вн</sub> , °C | φ, % | CO <sub>2</sub> , ppm | Поверх              | t <sub>вн</sub> , °C | φ, % | CO <sub>2</sub> , ppm |
| 2 поверх. ауд. №1 (закриті вікна)  | 22,9                 | 39,6 | 1191                  | 3 поверх. каб. №303 | 21,7                 | 42,8 | 1046                  |
| 2 поверх. ауд. №3 (закриті вікна)  | 24,3                 | 37,3 | 1083                  | 3 поверх. каб. №306 | 22,8                 | 41,8 | 1257                  |
| 3 поверх. ауд. №7а (закриті вікна) | 23,7                 | 39,6 | 1270                  | 2 поверх. каб. №208 | 21,8                 | 40,4 | 1087                  |
| 3 поверх. ауд. №10 (закриті вікна) | 24,1                 | 39,7 |                       | 2 поверх. каб. №206 | 21,8                 | 41,6 | 1046                  |
| 4 поверх. ауд. №18 (закриті вікна) | 23,9                 | 39,0 | 1239                  | 1 поверх. каб. №102 | 22,3                 | 38,8 | 982                   |
| 4 поверх. ауд. №16                 | 23,7                 | 38,6 | 1181                  | 1 поверх. каб. №105 | 22,5                 | 35,8 | 804                   |
| Хол 2 поверх                       | 21,5                 | 39,3 | 1003                  | Хол 1 поверх        | 23,0                 | 38,8 | 1048                  |
| Подвір'я                           | 14,3                 | 31,6 | 460                   |                     |                      |      |                       |

Як видно з вимірювань значення температури відповідають рекомендаціям стандартів але інші показники ні. Дуже турбує менше за нормативне значення відносної вологості – явна сухість в приміщеннях, що можливо забезпеченням звичайним вологим розпиленням та встановленням зволожувача. В класах де є значна кількість кімнатних рослин цей показник більший, але все однак на межі норми.

Значення двоокису вуглецю в класах без школярів відповідає нормі, але тільки-но учні заходять до класів це значення зростає до крайньої допустимої межі, а під кінець занять збільшується, перебільшуючи норму в 2,5 рази, особливо в старших класах. Навіть прочинені чи навіть відкриті вікна не спроможні поновити повітря на належному рівні. В період вимірювань температура на вулиці зростала вдень до 25°C, що не зменшувало температуру в класі при провітрювання. Але в холодний період такі провітрювання сприятимуть протягам та значним втратам теплого повітря.

Нажаль, поновлення загальної вентиляційної системи на сучасному рівні з рекуперацією, підігрівом та охолодженням повітря вимагає проектного рішення фахівців та значних капіталовкладень. Нами запропоновано поновити роботу активної вентиляції з використанням автономних рекуператорів (див. рис.4) для класів, для вибору яких було проведено аналіз існуючих конструкцій, проводиться вибір рішень підбору оптимальних моделей, які найближчим часом будуть рекомендовані для використання в школі.

Побутовий рекуператор повітря являє теплообмінник, в якому повітря, що виходить з приміщення, віддає більшу частину свого тепла повітря, що входить з вулиці, через систему поверхневих теплообмінників. Деякі з рекуператорів спочатку нагріваються за рахунок витяжного повітря з кімнати, а потім подають та підігрівають повітря з вулиці. Рекуператори мають систему якісного тонкого очищення повітря від пилу (та пилку, спор грибків), систему клімат-контролю, та визначення кількості CO<sub>2</sub>, як показник включення провітрювання.

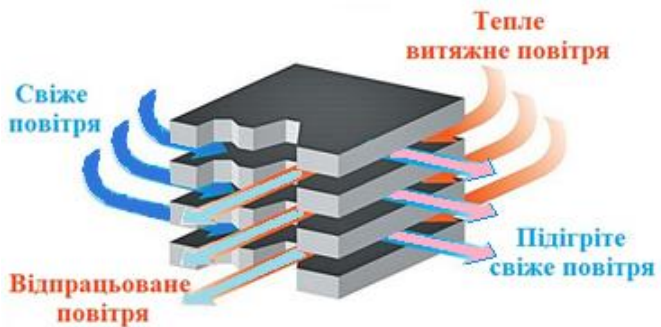


Рис.4. Схема повітряного рекуператора

### Висновки

1. Автономні повітряні рекупераційні теплообмінники дозволяють незалежно для окремого класу здійснювати оновлення повітря. Зникає необхідність відкривати вікна в будь-яку пору року. Постійно свіже та чисте повітря в приміщеннях попередньо очищеного від пилу та мікрофлори вірусів та бактерій. Можливе зволоження або осушування повітря а також охолодження влітку.

2. Рекуператори дозволяють зменшити втрати теплоти уникаючи провітрювання та зменшити інфільтрацію повітря втричі за рахунок вирівнювання тиску в приміщенні з вулицею. Даний захід дозволяє зберегти більше 20% теплової енергії, яке витрачається на опалення.

### Список використаної літератури

1. ДСТУ Б EN 15251:2011. Розрахункові параметри мікроклімату приміщень для проектування та оцінки енергетичних характеристик будівель по відношенню до якості повітря, теплового комфорту, освітлення та акустики. (EN 15251:2007, IDT). 73 с.
2. ДБН В.2.2-3:2018. Будинки і споруди. Заклади освіти. 63 с.
3. Про затвердження Санітарного регламенту для дошкільних навчальних закладів

Наказ МІНІСТЕРСТВО ОХОРОНИ ЗДОРОВ'Я УКРАЇНИ № 234 від 24.03.2016  
Зареєстровано в Мінюсті України 14 квітня 2016 р. за № 563/28693

4. Рымаров А. Г., Савичев В. В. К определению требуемого воздухообмена в помещениях общественных зданий в зависимости от качества наружного воздуха // Интернет-вестник ВолгГАСУ. Сер.: Политематическая. - 2014. - Вып. 2 (33). - 4 с.

Німецький інститут стандартизації e.V., DIN EN 13779: Вентиляція в нежитлових будинках - загальна основа та вимоги до систем вентиляції та кондиціонування повітря та систем охолодження приміщень, Берлін: Beuth Verlag GmbH Berlin, 2007.

5. DIN EN 15251, Eingangsparmeter für das Raumklima zur Auslegung und Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden - Raumluftqualität, Temperatur, Licht und Akustik; Deutsche Fassung EN 15251, August 2007.

6. Lüftungskonzepte in Bildungsstätten - Einfluss der Luftqualität auf die Leistungsfähigkeit von Schülern Von der Fakultät Architektur, Bauingenieurwesen und Umweltwissenschaften der Technischen Universität Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig zur Erlangung des Grades einer Doktoringenieurin (Dr.-Ing.) Jennifer König.2015. 252 с.

7. Визначення концентрації діоксину вуглецю в приміщеннях класів. Ю. С. Юркевич, О. Т. Возняк, О. О. Савченко, Х. В. Миронюк. - Львів: Вид-во Нац. ун-ту “Львівська політехніка”, -2018. 75-81 с.

8. ДБН В.2.5-67:2013 Опалення, вентиляція та кондиціонування. - [Чинний від 2014-01-01]– К.: Мінрегіон, 2013. - 141 с. - (Національний стандарт України)

9. ДСанПіН 5.5.2.008-01 Влаштування, утримання загальноосвітніх навчальних закладів та організації навчально-виховного процесу. – К., 2001. - 49 с.

УДК 697.1:332.87

Магістрант Бубнов В.В., науковий керівник: к.т.н., доц. Виноградов-Салтиков В.О.  
Кафедра теплотехніки та енергозбереження

**ТЕПЛОТЕХНІЧНЕ ОБСТЕЖЕННЯ ТА ВИЗНАЧЕННЯ ТЕМПЕРАТУРИ  
ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ СИСТЕМ ОПАЛЕННЯ ТА ГАРЯЧОГО  
ВОДОПОСТАЧАННЯ ЖИТЛОВОГО БУДИНКУ.**

**Heat engineering survey and determination of thermal efficiency of heating and hot water  
supply systems in a residential building.**

*Анотація: В роботі розглянуті результати теплотехнічного обстеження житлового будинку, визначено стан будівлі, розглянута схема теплопостачання централізованого опалення та гарячого водопостачання. Результати зведені до балансу теплоспоживання та втрат, за яким виявлені помилки теплопостачальника в нарахуванні за теплову енергію та суперечливі визначення місць загального користування.*

*Annotation: The results of the heat engineering survey of a dwelling house are considered, the state of the building is determined, the heat supply scheme of centralized heating and hot water supply is considered. The results are reduced to the balance of heat consumption and losses, on the basis of which errors of the heat supplier in charging for thermal energy and contradictory definitions of places of public use are revealed.*

*Ключові слова: енергозбереження, місця загального користування (МЗК), система централізованого опалення (ЦО), система централізованого постачання гарячої води (ЦПГВ), теплові комунікації, баланс теплонадходження та теплоспоживання.*

*Key words: energy saving, places of common use, centralized heating system, centralized supply of hot water, thermal communications, heat supply and heat consumption balance.*

**Вступ**

На даний час системи централізованого опалення та гарячого водопостачання у багатоквартирних будинках міської забудови мають значну перевагу над індивідуальними системами теплопостачання. Але нарікань не менше, особливо з подорожчанням природного газу та електроенергії, тільки за останні роки тарифи на електроенергію зросли приблизно на 10,75%, тоді, як тарифи на газ зросли на 91,08%, а відповідно і послуги теплопостачання. Особливо часто виникають спірні питання з оплати за опалення місць загального користування, а в разі відсутності поквартирних теплолічильників питання розподілу оплати за опалення між мешканцями, нерівноцінність оплати особливо для однотрубною системи опалення між верхніми та нижніми поверхами, недотримання температурного графіку подачі теплоносія теплопостачальником, та надмірна його температура при потеплінні тощо.

Згідно із Законом України «Про комерційний облік теплової енергії та водопостачання» [1] та внесеними змінами до нього [2], сучасні багатоповерхові будинки мають, як загальний, так і індивідуальні – поквартирні теплові лічильники, деякі квартири мають автономне індивідуальне опалення та нагрів води. Що повинно було б обумовити сплату саме за спожиту теплову енергію окремими квартирами та прибрати недбале ставлення до МЗК.

Нарахування за опалення МЗК проводиться згідно Методики розрахунку кількості теплоти, спожитої на опалення місць загального користування багатоквартирних будинків [3] в якій саме визначені МЗК та саме загальна кількість теплової енергії, за яку потрібно сплатити і яка складається з:

- кількості теплової енергії на опалення сходової клітини;
- втрат теплової енергії розподільчими трубопроводами системи опалення будинку, прокладеними в підвалі або на горищі.

Ретельний підхід до визначення дійсного теплонадходження до будинку, виявленні втрат теплоти та їх зменшенню, або їх усуненню навіть для типових проектів теплопостачання можливе тільки при комплексному теплотехнічному обстеженні будівлі за наявності повної технічної документації та інформації про теплоспоживання як будинку так і окремих квартир. Даний підхід дозволить дати об'єктивну – балансову оцінку теплонадходження та теплоспоживання та вирішити суперечливі, а інколи помилкові визначення з оплатою МЗК.

### Мета та завдання.

Метою роботи було проведення теплотехнічного обстеження систем теплонадходження та теплоспоживання житлового будинку по вулиці Златоустівська, будинок 14, дослідження системи транспортування теплоносіїв, розібратись зі схемами проектного теплопостачання, з'ясувати їх відповідність проекту, виявити недоліки та з'ясувати можливі втрати при транспортуванні теплоносіїв за різних температурних умов на вулиці, проведення аналізу енергоефективності роботи систем теплоспоживання ЦО та ЦПГВ з визначенням балансу теплоспоживання та теплонадходження житлового будинку в грудні 2018 р.

### Матеріал та результати досліджень

#### Опис об'єкту дослідження

Будинок по вулиці Златоустівська, 14 побудований у 1900 роках пройшов реконструкцію і зданий до експлуатації у 2014 році, має п'ять поверхів. Реконструкція проводилась одночасно з прибудовою сучасного 7 та 14 поверхового житлового будинку з паркінгом по вулиці Златоустівській, 16, який примикає з правої сторони будівлі, ліва відкрита на вулицю та має суцільну стіну. На першому (цокольному) поверсі розташовано ресторан з автономним нагрівом води на опалення та на гаряче водопостачання. На чотирьох поверхах розташовано вісім квартир із опалювальною площею 914,3 м<sup>2</sup>, висотою поверхів 3,8 м, які були розглянуті під час нашого обстеження.



Будинок має сучасні теплозахисні властивості будівельних конструкцій, а саме:

– стіни мають товщину в дві з половиною суцільної цегли, утепленої шаром теплової ізоляції на рівні опору теплопередачі  $R = 2,8 \text{ м}^2\text{K/Вт}$  за ДБН В.2.631:2006  $R = 2,8 \text{ м}^2\text{K/Вт}$  (на час будівництва), але менше за ДБН В.2.6-31:2016 [4]  $R = 3,3 \text{ м}^2\text{K/Вт}$ ;

– вікна сучасні склопластикові, окремі оздоблені деревиною, мають двокамерне скління (три скла між якими знаходиться інертний газ та скло

вкрите низькоемісійним (селективним) покриттям, сумарний опір теплопередачі  $R = 1,01 \text{ м}^2\text{K/Вт} > R = 0,75 \text{ м}^2\text{K/Вт}$  за ДБН [4];

– двері в квартирах мають додаткове утеплення всередині; входні двері дерев'яні з однокамерним склінням та з ущільненням по периметру двері на рівні опору теплопередачі  $R=0,74 \text{ м}^2\text{К/Вт} > R=0,6 \text{ м}^2\text{К/Вт}$  за ДБН [4].

Теплопостачання до будинку 14 здійснюється від теплопункту, який знаходиться в будинку поруч по Златоустовській 16. Тепловий пункт має відкриту систему теплопостачання на ЦО, в якій після каліброваної шайби встановлено на подаючому та зворотному трубопроводі ультразвукові витратоміри та датчики температури, данні з яких зчитуються загальним будинковим теплолічильником. Крім загального теплолічильника кожна з квартир будинку 14 обладнана індивідуальним теплолічильником на системі ЦО та лічильником на ЦПГВ. За схемою на рис.1. передбачено регулювання температури теплоносія за умов температурного графіку та температури повітря на вулиці.

Після лічильників на ЦО від подаючої гілки здійснюється відбір на ЦПГВ, який прямує на пластинчастий теплообмінник на охолодження до температури  $55^{\circ}\text{C}$  та підживлення холодною водою (споживання холодної води на підживлення складає від 10 до  $32 \text{ м}^3$ ), а також підмішування з частиною води зі зворотного трубопроводу ЦО (див. рис.2).

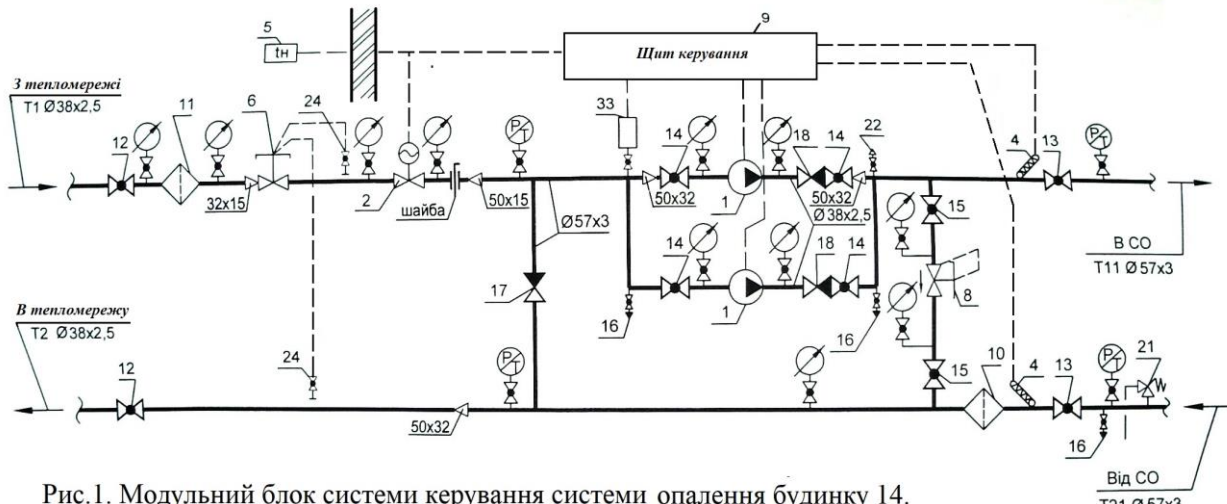


Рис.1. Модульний блок системи керування системою опалення будинку 14.

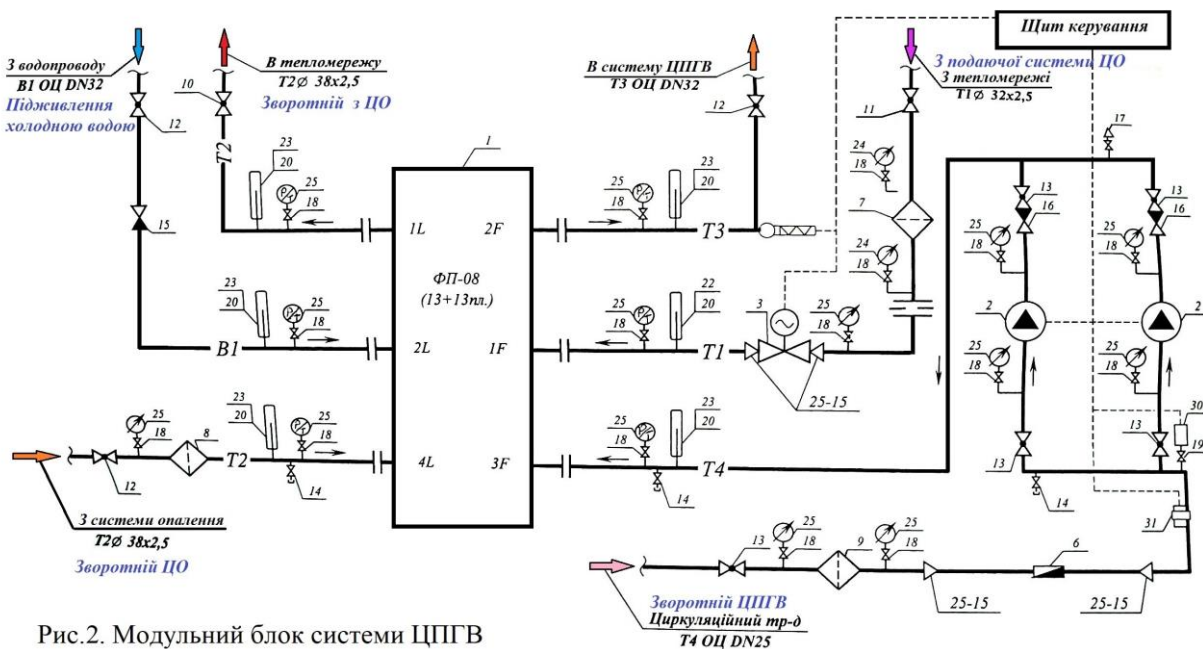


Рис.2. Модульный блок системи ЦПГВ

Тобто, ЦПГВ – гаряче водопостачання враховується та входить в загальний підсумок теплолічильника, як споживання на опалення.



Рис.3.

Теплові комунікації проходять через підземний паркінг сусіднього будинку 16, протяжність теплових комунікацій 55 м (рис.3). Паркінг знаходиться на першому та підвальному поверхах, два в'їзди майже постійно відкриті та закриваються вночі. За проектом паркінг має систему повітряного опалення, але за умов економії коштів вже кілька років не опалюється, а температура в холодний період на 5...10 градусів тепліше від зовнішньої температури. Далі теплові трубопроводи проходять дві неопалювальні кімнати в цьому ж будинку та кімнату в будинку 14, протяжність мережі 21 м. З кімнати будинку 14 мережа трубопроводів проходить приміщення ресторану (цокольного поверху) – близько 12 м до загального стояка розведень ЦО по поверхам.

#### **Баланс теплонадходження та теплоспоживання будинком.**

На звернення мешканців будинку, щодо пояснення за нарахування за послуги, ЦО КП «Київтеплоенерго» надало інформацію та трактування оплати за МЗК. Розрахунок було проведено і нами за грудень місяць 2018 року. Вартість 1 Гкал складала 1355 грн., а гарячої води з водовідведенням 90,1 грн. за 1 м<sup>3</sup>, водопостачання холодної води 10,1 грн. за 1 м<sup>3</sup>, водовідведення 9,5 грн. за 1 м<sup>3</sup>.

Як вже згадувалось, опалювальна площа будинку складає 914,3 м<sup>2</sup> на 8 квартир, чотири мають площу 102,5 м<sup>2</sup>, а чотири 126,1 м<sup>2</sup>, опалювальна площа МЗК 120,6 м<sup>2</sup>. Деякі квартири мають мінімальне теплове споживання, а одна з квартир має власний автономний електричний двоконтурний водогрійний котел та відключені від централізованого теплопостачання.

За розрахунками (за відповіддю КП «Київтеплоенерго» на звернення) споживання будинку з МЗК складає 25,486 Гкал за місяць.

Для наочного розгляду балансу теплонадходження та теплоспоживання зведемо дані та розрахунки до таблиці

| №  | Статі споживання                                                            | Кількість теплової енергії, Гкал за місяць              | Вартість теплової енергії         |
|----|-----------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|-----------------------------------|
| 1. | За розрахунком КП «Київтеплоенерго»                                         | 25,486                                                  | 34534 грн.                        |
| 2. | Покази загального теплолічильника                                           | 22,613                                                  | 30 640 грн.                       |
| 3. | За показами індивідуальних теплолічильників ЦО                              | 8,961                                                   | 12 142 грн.                       |
| 4. | Споживання гарячої води за розрахунками – за лічильниками –                 | 2,873 Гкал за місяць<br>39,1 м <sup>3</sup> за місяць · | 3893 грн.**                       |
| 5. | Різниця між нарахуванням КП «Київтеплоенерго» та загального теплолічильника | 25,486–22,613=<br>= 2,873*<br>2,873·2=5,746             | переплата за ЦПГВ<br>7786 грн.    |
| 6. | Залишок в балансі споживання теплової енергії                               | 22,613–8,961–5,746=<br>=7,906                           | 30 640–12142–7786=<br>=10713 грн. |
|    |                                                                             |                                                         |                                   |

\*слід відмітити що 2,873 Гкал за місяць потрібно подвоїти до 5,746 Гкал та відняти від показань за місяць загального теплолічильника. Помилка КП «Київтеплоенерго» полягає у некомпетентності працівника цієї організації, який не розібрався зі схемою підключення ЦПГВ, витрата якої вже враховується теплолічильником, але сплачується окремо\*\* (входить в споживання ЦО та ще окремо сплачується). Яку потрібно відняти від показань загального теплолічильника, а не прибавляти, як це зробило КП «Київтеплоенерго» помилково виставивши рахунок з подвійною оплатою за гарячу воду.

Подвійний запис гарячої води (25,486–22,613)·2=5,746 Гкал, або 5,746·1355=7786 грн. – **переплата за гарячу воду.**

У вартість даної послуги ще входить вартість холодної води яка йде на підживлення Небаланс – 22,613–8,961–5,746=7,906 Гкал – **втрати тепловими комунікаціями.**

### Перевірка втрат трубними комунікаціями

Значні втрати в тепловій комунікації було необхідно перевірити, чи можливі такі втрати, які проходять через неопалювальний паркінг та не опалювальні кімнати підвального поверху будинку 16.

Було розглянуто можливі температури для опалювального періоду від –10 до +10°C. Через паркінг проходить чотири труби – подача та зворот ЦО та ЦПГВ. Зовнішній діаметр трубопроводів ЦО – d=57 мм, трубопроводів ЦПГВ – d=38 мм. Зовні трубопроводи покриті ізоляцією на основі синтетичного етилен-пропіленового каучуку товщиною 9...10 мм, з

теплопровідністю  $\lambda=0,045\dots0,07$  Вт/(м·К). Загальна протяжність паркінгових теплових мереж 76 м. Зовнішня площа трубопроводів ЦО приблизно складає 36,74 м<sup>2</sup>, а площа трубопроводів ЦПГВ приблизно складає 27,68 м<sup>2</sup>. За результатами розрахунків в Excel:

Сумарні втрати теплової енергії у відкритому паркінгу при температурі **-10,0 °C**

– за добу – **0,3253 Гкал,**

– за місяць – **9,760 Гкал.**

Сумарні втрати теплової енергії у відкритому паркінгу при температурі **-5,0 °C**

– за добу – **0,2989 Гкал,**

– за місяць – **8,967 Гкал.**

Сумарні втрати теплової енергії у відкритому паркінгу при температурі **0**

– за добу – **0,2797 Гкал,**

– за місяць (30 днів) –

**8,393 Гкал.**

Сумарні втрати теплової енергії у відкритому паркінгу при температурі **+5,0 °C**

– за добу – **0,2264 Гкал,**

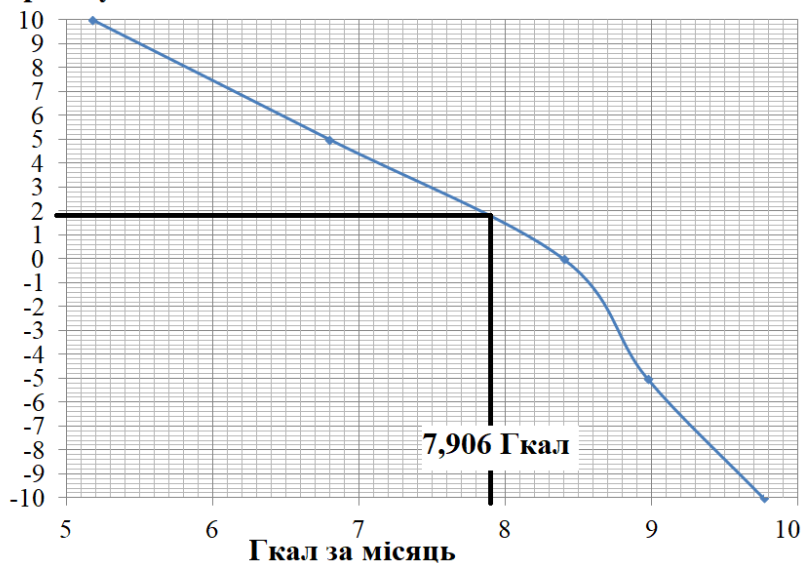
– за місяць – **6,791 Гкал.**

Сумарні втрати теплової енергії у відкритому паркінгу при температурі **+10,0 °C**

– за добу – **0,1724 Гкал,**

– за місяць – **5,172 Гкал.**

Температура в паркінгу



°C

Як видно з отриманих результатів втрати на рівні **7,906 Гкал за місяць** можливі для температури у відкритому паркінгу на рівні **+1,8°C** (див рис.4), якщо температура в грудні на вулиці змінювалась від **-9°** до **+1°C**, а середня складала **-2,0 °C**.

## Висновки

1. Нажаль нема повного балансу по теплонадходженню та теплоспоживанню за опалювальний період 2018–2019 р., не вистачає інформації по виплаті мешканцями всіх заборгованостей за тепlopостачання (не всі мешканці одночасно виплачують за ЦО та ЦПГВ). Цю інформацію можливо отримати після закінчення опалювального сезону та відключення тепlopостачання до будинку (відключення на профілактичні роботи в мережі та її перевірку), що практикується на протязі останніх років. Але, навіть розрахунок за грудень дозволив виявити переплату мешканцями в **7786 грн.** в результаті помилкового розрахунку постачальника КП «Київтеплоенерго».

2. Слід з'ясувати з КП «Київтеплоенерго» чи відносяться тепломережі, які проходять від тепlopункту через паркінг та кімнати сусіднього будинку (які мали б опалюватись за початковим проектом) до МЗК.

3. Значні втрати в тепломережах на рівні 10 тис 713 грн. за грудень місяць є значними та вимагають вирішення: 1) відносно додаткового теплоізолювання труб; 2) відключення ЦПГВ та перехід на підігрів води у електричних бойлерах, які вже встановлені мешканцями будинку; 3) вирішення питання відносно компенсації проходження теплових комунікацій, які

підігрівають сусідній будинок.

**Список використаної літератури**

1. Закон України. № 2119-VIII від 22.06.2017 р. Про комерційний облік теплової енергії та водопостачання (Відомості Верховної Ради (ВВР), 2017, № 34, ст.370)
2. Про внесення змін до розділу IV "Прикінцеві та перехідні положення" Закону України "Про комерційний облік теплової енергії та водопостачання" щодо термінів застосування фінансових санкцій за порушення законодавства у сфері комерційного обліку теплової енергії та водопостачання та до розділу VI "Прикінцеві та перехідні положення" Закону України "Про житлово-комунальні послуги" щодо уточнення порядку введення в дію Закону. [№ 2454-VIII від 07.06.2018](#). (Відомості Верховної Ради (ВВР), 2018, № 23, ст.211)
3. Методики розрахунку кількості теплоти, спожитої на опалення місць загального користування багатоквартирних будинків. Затверджена наказом Міністерства будівництва, архітектури та житлово-комунального господарства України від 31 жовтня 2006 року за № 359 та зареєстрована в Міністерстві юстиції України 27.11.2006 року, за № 1237/13111.
4. ДБН В.2.6-31:2016. Теплова ізоляція будівель. [На заміну ДБН В.2.631:2006 (СНиП II-3-79), чинний від 08.07.2016]. Вид. офіц. Київ: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2016. 30 с.

УДК 697.1

Мельнікова К.І.

Науковий керівник: к.т.н., доц. Шовкалюк М.М.

**МОДЕЛЮВАННЯ СПОЖИВАННЯ ЕНЕРГІЇ ЖИТЛОВОЮ БУДІВЛЕЮ З  
ВИЗНАЧЕННЯМ ПОТЕНЦІАЛУ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ ВІД  
ТЕРМОМОДЕРНІЗАЦІЇ**

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭНЕРГИИ ЖИЛЫМ ЗДАНИЕМ С  
ОПРЕДЕЛЕНИЕМ ПОТЕНЦИАЛА ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ ОТ  
ТЕРМОМОДЕРНИЗАЦИИ**

**MODELING OF ENERGY CONSUMPTION IN RESIDENTIAL BUILDING WITH  
DETERMINATION OF ENERGY-SEVING POTENTIAL FROM  
THERMOMODERNISATION**

**АНОТАЦІЯ:** Проведено моделювання енергоспоживання будівлі з урахуванням фактичних теплотехнічних показників огорожень, умов експлуатації та характеристик інженерних систем. Виконано порівняльний аналіз фактичного, базового споживання теплової енергії та споживання після впровадження заходів з енергозбереження, визначено економічні показники проекту.

**АННОТАЦИЯ:** Проведено моделирование энергопотребления здания с учетом фактических теплотехнических показателей ограждений, условий эксплуатации и характеристик инженерных систем. Выполнен сравнительный анализ фактического, базового потребления тепловой энергии и потребления после внедрения мероприятий по энергосбережению, определены экономические показатели проекта.

**ABSTRACT:** Modeling of energy consumption of the building is carried out taking into account the actual thermal engineering indicators of the fences, operating conditions and characteristics of engineering systems. A comparative analysis of actual, basic consumption of heat energy and consumption after the implementation of energy saving measures is carried out, economic indicators of the project are determined.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** будівля, енергоефективність, енергоспоживання, енергозбереження, моделювання.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** здание, энергоэффективность, энергопотребление, энергосбережение, моделирование.

**KEY WORDS:** building, energy efficiency, power consumption, energy saving, modeling.

**Вступ**

Постійне зростання вартості енергоресурсів та незадовільний стан житлово-комунального господарства обумовлює актуальність завдання підвищення енергетичної ефективності будівель. Будівлі часів масової забудови мають низькі теплотехнічні характеристики огорожень і застарілі інженерні комунікації, тому вимагають суттєвих витрат для реконструкції. Для існуючих будівель є великий потенціал енергозбереження, тому впровадження енергоефективних заходів з доведенням огорожувальних конструкцій до сучасних норм дозволить значно знизити енергоспоживання галузі та, відповідно, знизити енергетичну залежність нашої держави.

Аналіз ефективності використання енергетичних ресурсів будівель повинен відбуватися з застосуванням системного підходу. Питання визначення та підвищення рівня

енергоефективності будівель є кінцевою метою енергетичних обстежень. Зважаючи на те, що заходи з енергозбереження мають взаємний вплив, енергоаудиторам доцільно застосовувати розрахункові моделі та спеціалізовані програмні продукти для побудови енергетичних балансів і вибору економічно обґрунтованих рекомендацій [1].

Енергоаудитори для побудови моделей та визначення енергоспоживання житлових і громадських будівель в Україні застосовують програмний продукт ENSI EAB Software [2], але він не є безкоштовним і не дозволяє автоматично генерувати звіт з енергоаудиту. Огляд можливостей різних програмних продуктів та їх застосування для вирішення конкретних завдань в ході реалізації енергоефективних проектів розглянуто у роботах [3-5].

У відповідності до міжнародного стандарту з енергетичного аудиту [6] моделювання та складання балансу повинно відбуватися не тільки за фактичним рівнем споживання, але і за базовим, що враховує дотримання нормативних вимог по мікроклімату будівлі та роботи інженерних мереж. Національний стандарт [7] передбачає розрахунок енергоспоживання з використанням квазістаціонарних умов на наступні потреби: опалення, вентиляція, гаряче водопостачання та охолодження; вентилятори та насоси; освітлення та ін.

Сучасні програмні продукти, що використовуються під час енергетичних аудитів будівельного фонду, дозволяють оцінювати енергетичні характеристики та прогнозувати рівень енергоспоживання до та після комплексної термомодернізації будівель.

#### **Мета та завдання**

Головною метою цієї роботи є виконання енергетичного обстеження існуючого житлового будинку та порівняльний аналіз енерговитрат будівлі до та після комплексної термомодернізації за фактичними показниками та результатами моделювання у програмних продуктах DesignBuilder та RETScreen з розробкою пакету енергозберігаючих заходів.

В ході роботи виконано детальне енергетичне обстеження будівлі, що включало уточнення геометричних і теплотехнічних показників огорожень, дослідження умов мікроклімату всередині приміщень, обстеження інженерних мереж, виконання необхідних інструментальних вимірювань і розрахунків.

#### **Опис об'єкту дослідження**

Об'єктом дослідження є 17-поверхова житлова будівля 1992 р. побудови, за адресою: м. Київ, вул. Скрипника 40А (рис.1). Опалювальна площа 4100 м<sup>2</sup>. Площа скління 910 м<sup>2</sup>; площа зовнішніх стін 4375 м<sup>2</sup>. Зовнішні стіни будівлі товщиною 0,5 м виконані з силікатної цегли з штукатуркою з обох боків; вікна в будівлі частково дерев'яні, частково замінені на металопластикові; двері центрального входу металеві не утеплені. Дах – з технічним поверхом. Під всією площею будівлі розміщений неопалювальний підвал, в якому знаходиться труба розводка системи опалення.



Рисунок 1 – Зовнішній вигляд огорожень житлової будівлі, що досліджується

Теплопостачання централізоване, автоматичне регулювання відсутнє; схема підключення системи опалення до теплових мереж залежна. Житлова будівля споживає електричну та теплову енергію (див. табл. 1). Розрахунок за спожиті енергоресурси здійснюється за показниками існуючих вузлів обліку води за діючими тарифами (рис.1).

Таблиця 1– Дані про енергоспоживання впродовж 2016-2018 рр.

| № | Найменування енергоносія | Одиниці виміру | Обсяг споживання енергоносія |        |        |
|---|--------------------------|----------------|------------------------------|--------|--------|
|   |                          |                | 2016                         | 2017   | 2018   |
| 1 | Теплова енергія          | Гкал/рік       | 342,63                       | 344,1  | 342,69 |
| 2 | Електрична енергія       | кВт·год/рік    | 261014                       | 259994 | 257743 |

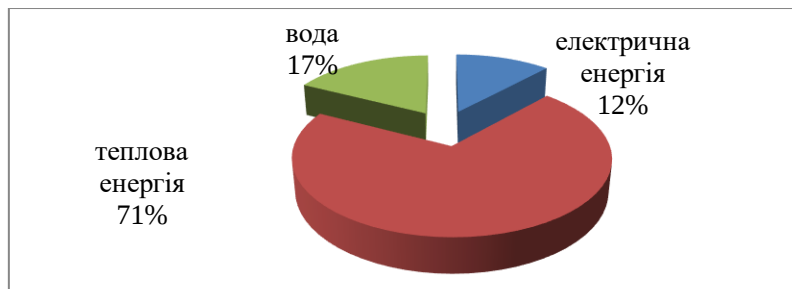


Рисунок 2 – Розподіл грошових витрат за енергоресурси

Найбільші грошові витрати пов'язані з великим обсягом теплової енергії, що споживається у будинку. Основною причиною таких витрат є незадовільний стан зовнішніх огорожень, застаріла система опалення, у якій відсутня можливість регулювання потужності залежно від погодних умов, практично відсутня ізоляція трубопроводів, а також розбалансування системи.

Розрахункова величина термічного опору зовнішніх стін становить  $0,745 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$ , нормативне значення [8] -  $3,3 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$ . Характеристики інших огорожень (вікон, дверей, горищного перекриття, підлоги над підвалом) також не відповідають сучасним вимогам. Виконане тепловізійне обстеження за вимогами стандарту [9] дозволило виявити та візуалізувати проблемні ділянки огорожень та інженерних комунікацій з найбільшими тепловтратами.

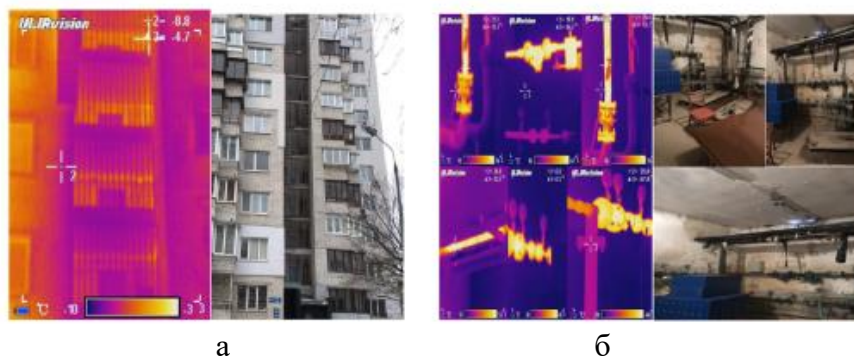


Рисунок 3 – Тепловізійне обстеження будівлі

- а) тепловтрати через незасклені решіткові огороження сходових клітин
- б) відсутність теплової ізоляції та арматури системи опалення

### Моделювання в програмному середовищі DesignBuilder

У програмному середовищі DesignBuilder було створено 3D модель житлового будинку (рис. 4) з існуючими характеристиками його інженерних систем, огорожувальних конструкцій та умов експлуатації.

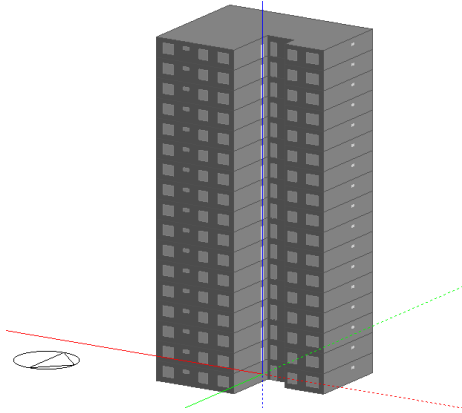


Рисунок 4 – Модель житлового будинку у програмному середовищі DesignBuilder

В ході моделювання визначено енергоспоживання: фактичне (недотримання нормативних температур та відсутня механічна вентиляція), базове та після впровадження запропонованих енергозберігаючих заходів, результати наведено у таблиці 2. Базове енергоспоживання враховує механічну систему вентиляції для забезпечення нормативних вимог по мікроклімату (а саме кратності вентиляції) та автоматичне регулювання в системі опалення відповідно до змін зовнішніх погодних умов (рис.5).

Базове енергоспоживання визначено з використанням стандартної бази даних матеріалів зовнішніх огорожувальних конструкцій та міжнародного кліматичного файлу погоди IWEC (крок дискретизації даних 1 година). Модель дозволяє враховувати графік експлуатації, теплонадходження, характеристики інженерних мереж та більш деталізовані дані огорожень будівлі, наприклад нерівномірне заглиблення цокольного поверху та різний тип вікон по фасадам.

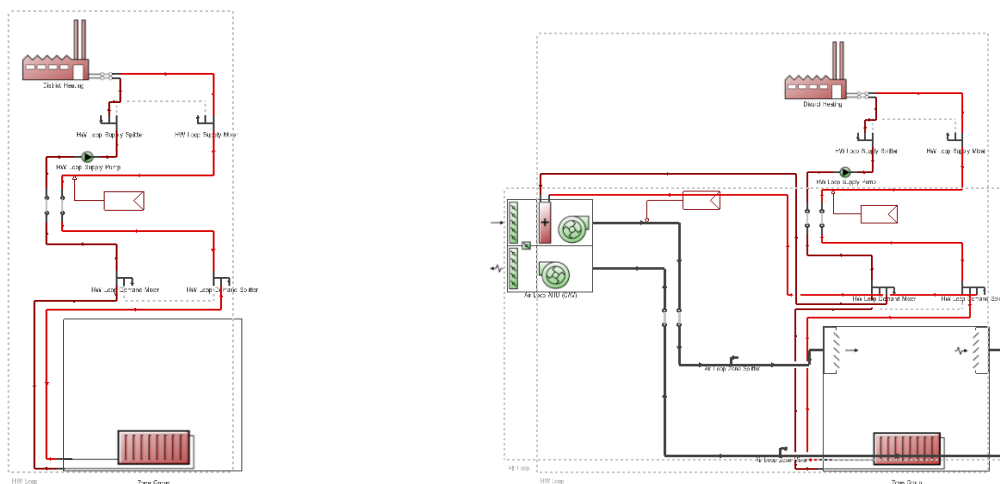


Рисунок 5 – Система опалення та вентиляції будівлі, що досліджується:  
а) фактично б) базовий варіант

Для підвищення рівня енергоефективності житлового будинку запропоновано наступні заходи з енергозбереження:

- модернізація індивідуального теплового пункту (залежне приєднання за підмішувальними насосами) та автоматичним погодним регулюванням;
- утеплення зовнішніх стін, даху з дотриманням нормативних вимог;
- заміна існуючих вікон на енергоефективні, що відповідають сучасним вимогам;
- заміна ламп розжарювання та люмінесцентних ламп на світлодіодні;
- заміна двигуна ліфта.

Таблиця 2 – Споживання електричної та теплової енергії з побудованою моделлю

| Споживання                      | Фактичне | Базове | Після заходів |
|---------------------------------|----------|--------|---------------|
| Теплова енергія, Гкал/рік       | 325,8    | 342,6  | 158,4         |
| Електрична енергія, кВт·год/рік | 266671   | 539505 | 498990        |

### Моделювання в програмному середовищі RETScreen

Програмний продукт **RETScreen** дозволяє комплексно ідентифікувати, оцінювати й оптимізувати технічну й фінансову життєздатність потенційних проектів з підвищення енергоефективності будівель. За допомогою програмного продукту RETScreen було проаналізовано базове споживання енергоносіїв (існуючий стан систем та огорожень з урахуванням дотримання умов мікроклімату) та розраховано споживання після впровадження заходів з енергозбереження.

Послідовність виконання моделювання наведено на рис.6.

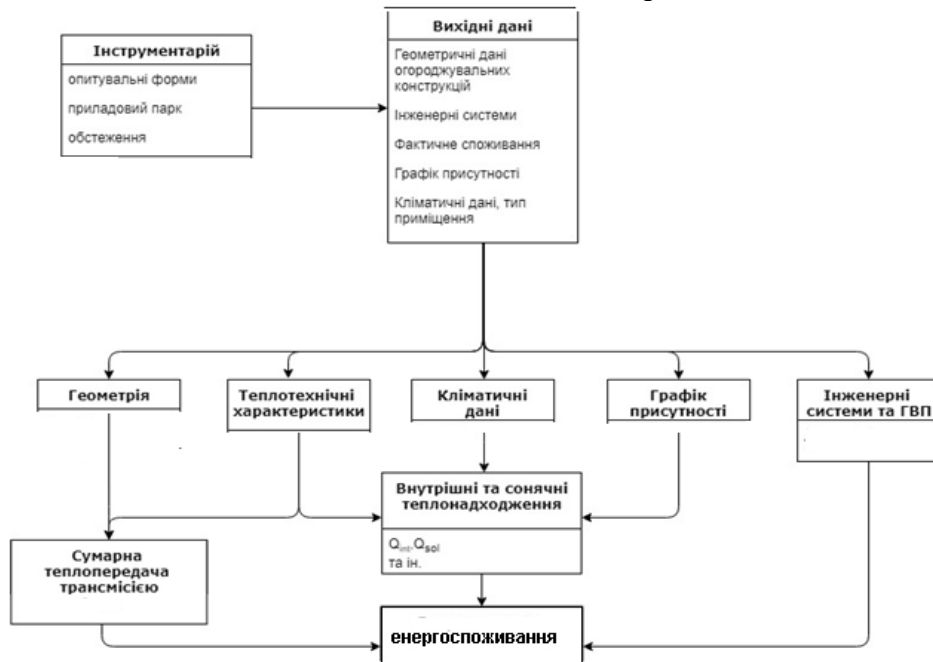


Рисунок 6 – Вихідні дані та послідовність визначення енергоспоживання

В результаті моделювання енерговитрат будівлі в річному розрізі за допомогою програмного продукту RETScreen отримано:

- споживання теплової енергії для базового варіанту становить 323,4 Гкал/рік,
- споживання теплової енергії після впровадження пакету заходів з енергозбереження (перелік заходів аналогічний) - 152,6 Гкал/рік.

Під час виконання розрахунків використано деякі спрощення (наприклад, попередньо визначено середньозважене для будівлі значення термічних опорів зовнішніх огорожень, що

дозволило врахувати наявність часткового клаптикового утеплення стін та заміни частини вікон; кількість годин роботи електроприладів та освітлення прийнята з урахуванням одночасності роботи та ін.).

RETScreen дозволяє виконувати фінансовий аналіз з урахуванням капітальних витрат, темпу інфляції, додаткових щорічних витрат на експлуатацію обладнання, вартості енергоресурсів, очікуваної економії у натуральних та грошових одиницях після впровадження заходів з енергозбереження. За результатами моделювання термін окупності комплексного пакету заходів з термомодернізації будівлі становитиме 7,8 років, що для подібних проектів є прийнятним (рис. 7).

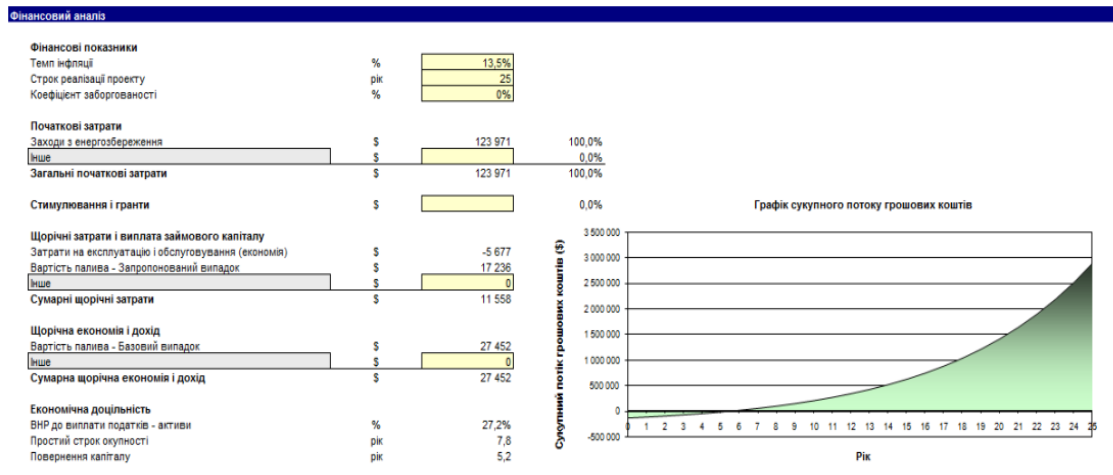


Рисунок 7 – Робоче вікно програми «Фінансовий аналіз»

Узагальнені дані щодо розрахункової теплової потужності та енергоспоживання (теплова енергія) за двома спеціалізованими програмними продуктами наведено у таблиці 3.

Таблиця 3 – Порівняльні результати розрахунків

| Показник                                                           | Фактичне | RETScreen | DesignBuilder |
|--------------------------------------------------------------------|----------|-----------|---------------|
| Теплова потужність, кВт                                            | 94,4     | 88,9      | 89,8          |
| Споживання теплової енергії (існуючий стан), кВт·год/рік           | 398909   | 375649    | 379138        |
| Відхилення від фактичного стану, %                                 | -        | 5,8       | 4,9           |
| Споживання теплової енергії (після термомодернізації), кВт·год/рік | -        | 184219    | 177434        |
| Потенціал економії, %                                              | -        | 51%       | 53%           |

## Висновки

Виконане енергетичне обстеження існуючої житлової будівлі показало значний потенціал енергозбереження та необхідність виконання термомодернізації. За допомогою спеціалізованих програмних продуктів побудовано модель будівлі та виконано порівняльний аналіз енергоспоживання для фактичного стану; розраховано базовий рівень та рівень енергоспоживання після комплексного впровадження заходів з енергозбереження. Виконано фінансові розрахунки доцільності виконання комплексної термомодернізації будівлі.

**Список використаної літератури**

1. Порядок застосування розрахункових елементів програмного забезпечення для визначення енергетичної ефективності будівель // Наказ Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України від 11.07.2018 року № 171.
2. ENSI EAB Software. [Електронний ресурс]. Спеціалізований програмний продукт для виконання енергетичних аудитів житлових і громадських будівель – <http://www.ensi.no>
3. Аналіз програмних продуктів для оцінювання показників енергоефективності будівель / Шовкалюк М.М., Зіменко С.В. // Матеріали VII Міжнар. наук.-техн. конф. «Муніципальна енергетика: проблеми, рішення» - [Миколаїв, НУК ім. адмірала Макарова 21-22 грудня 2017 р.], - с.72-77.
4. Дешко В.І. Математичні моделі будівель для оцінки енергоспоживання / В.І. Дешко, І.Ю. Білоус // Будівельні конструкції: Міжвідомчий науково-технічний збірник наукових праць. Випуск 80, Київ 2014. С. 68–72.
5. Дешко В.І., Суходуб І.О., Яценко О.І. Дослідження підходів до визначення теплового навантаження системи опалення / Енергетика: економіка, технології, екологія. - № 2, 2017. – С. 52-60.
6. ДСТУ ISO 50002:2016 Енергетичні аудити. Вимоги та настанова щодо їх проведення (ISO 50002:2014, IDT)
7. ДСТУ Б А.2.2-12:2015 Енергетична ефективність будівель. Метод розрахунку енергоспоживання при опаленні, охолодженні, вентиляції, гарячому водопостачанні та освітленні.
8. ДБН В.2.6-31:2016 Конструкції будинків і споруд. Теплова ізоляція будівель
9. ДСТУ Б EN 13187:2011 Теплові характеристики будівель. Якісне виявлення теплових відмов в огорожувальних конструкціях. Інфрачервоний метод.

УДК 621.565.954.4:536.24

**Ю. М. Одуденко**, студент, **А. С. Гавриш**, к. т. н., доцент  
Національний технічний університет України  
"Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"  
Теплоенергетичний факультет, Кафедра теоретичної та промислової теплоенергетики

## **ГОФРОВАНІ ТЕПЛООБМІННІ ПОВЕРХНІ КОЖУХОПЛАСТИНЧАСТИХ ТЕПЛООБМІННИКІВ**

*Анотація - Кожухопластинчасті теплообмінники являють собою установку, яка конструктивно поєднує кожухотрубні та пластинчасті теплообмінні апарати. При цьому комбінуються найкращі переваги обох типів: ефективність пластинчастого та безпечність кожухотрубного. Дослідження показують, що гофри мають вагомий вплив на їх конструкцію, зокрема, на площу теплообмінної поверхні та площу теплообміну однієї пластини.*

*Ключові слова – кожухопластинчастий теплообмінник, теплообмінна поверхня, гофровані пластини.*

**J. M. Odudenko**, student, **A.S. Gavrish**, Ph.D., Associate Professor  
National Technical University of Ukraine  
"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"  
Heat power faculty, Department of Theoretical and Industrial Heat Engineering

## **CORRUGATED HEAT EXCHANGE SURFACES OF CASING LAMELLAR HEAT EXCHANGERS**

*Annotation – Casing lamellar heat exchangers represent an installation that constructively combines shell-tube and plate heat exchangers. This combines the best advantages of both types: the effectiveness of the lamellar and the safety of the shell and tube. Studies show that corrugations have a significant impact on their design, in particular, on the area of the heat exchange surface and the heat transfer area of one plate.*

*Key words – casing lamellar heat exchanger, heat exchange surface, corrugated plates.*

### **Вступ**

Пластинчастий теплообмінний апарат – це пристрій, в якому здійснюється передача теплоти від гарячого теплоносія до холодного через сталеві, мідні, титанові гофровані пластини, які стягнуті в пакет. Класифікують на: розбірні, зварні, та кожухопластинчасті. Також, окрім пластинчастих, виокремлюють кожухотрубні.

До теплообмінних апаратів належать випарники, конденсатори, повітрянагрівачі, парогенератори тощо. Їх застосовують у різноманітних галузях промисловості: теплоенергетиці, системах опалення та вентиляції тощо.

Переваги кожухопластинчастого теплообмінного апарата відомі: займають менше простору, не потребують особливого догляду (чистки), як це вимагають кожухотрубні, мають більшу ефективність при використанні.

## Аналіз стану питання

Кожухопластинчастий апарат має свої переваги та недоліки. Він поєднує в собі конструктивні особливості кожухотрубного та інтенсивність теплообміну кожухопластинчастого.

Тип сучасного кожухопластинчастого теплообмінного апарата можна удосконалити за рахунок зменшення масогабаритних характеристик та покращення умов теплообміну, як наслідок, збільшення коефіцієнта теплопередачі. На це суттєво впливає конструкція гофрованих пластин.

## Мета роботи

Ознайомити з будовою кожухопластинчастого теплообмінного апарату та його перевагами над іншими видами теплообмінних апаратів, обґрунтувати особливості гофрованих теплообмінних поверхонь.

## Результати досліджень

Кожухопластинчасті апарати (Рис. 1) представляють установку, що поєднує в собі найкращі властивості двох типів теплообмінних апаратів: пластинчастого та кожухотрубного. Наявність кожуха надає конструкції захисту від ударів при експлуатації.

Цей тип теплообмінників має розміщений в кожусі зварений блок пластин, в якому чергуються канали для гарячого і холодного теплоносія. Він може працювати з протитечією та прямотечією, з одноходовим або багатоходовим розташуванням потоків (Рис. 2). Одноходові апарати виконуються зі знімною кришкою, забезпечуючи при цьому швидкий огляд внутрішньої поверхні апарату та очистки від нерозчинних відкладень. Багатоходові схеми з боку кожуха або пакета пластин застосовуються у суцільнозварних агрегатах в разі малих різниць температур потоків.

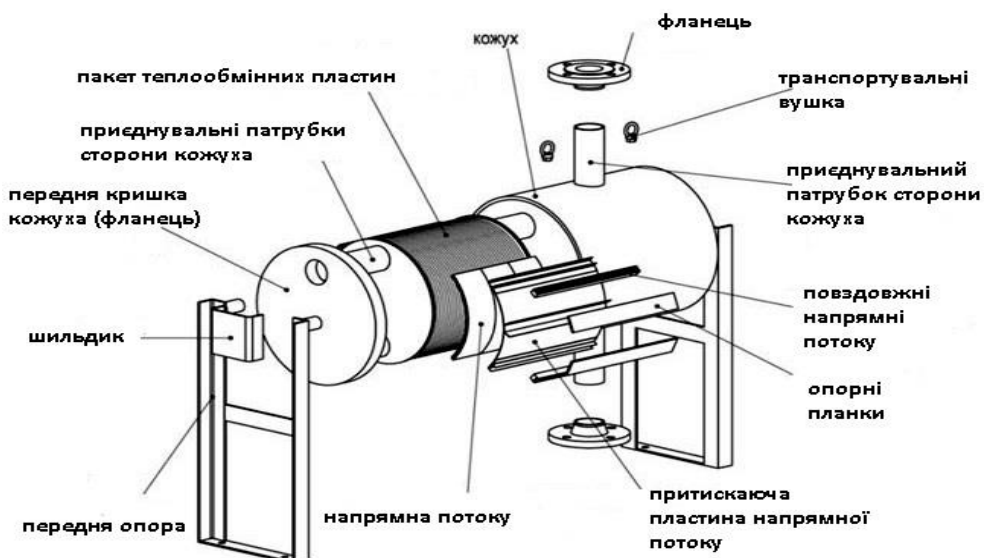


Рис. 1. Принципова схема будови кожухопластинчастого теплообмінного апарата

Порівняно з кожухотрубними, кожухопластинчасті апарати мають більш складну

форму поверхні теплообміну, що забезпечує турбулентний рух середовищ в щільних каналах. При цьому знижується темп відкладення забруднень на стінках каналів і має місце високий коефіцієнт теплопередачі  $K = 1900-5000 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ . Мінімальний перепад температури між теплоносіями може досягати  $1-2 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Найчастіші області застосування кожухопластинчастих теплообмінників: в системах централізованого теплопостачання в якості конденсатора і випарника; зустрічаються в комплексах обігріву та охолодження масла; також застосовуються в якості економайзера і рекуператора для утилізації газів; широко поширений у теплоенергетиці, хімічній, нафтовій, металургійній і газовій промисловості. Потрібно зазначити, що корпус кожухопластинчастого теплообмінника при заводському виробництві виконується знімним, що забезпечує доступ до пакету пластин при проведенні ревізії, ремонту та сервісного обслуговування.

Основним елементом кожухопластинчастого теплообмінника є пакет пластин, що складається з круглих або заокруглених металевих гофр, товщиною  $0,1 - 2 \text{ мм}$  (Рис.3).

Щоб визначити залежність теплообмінної поверхні кожухопластинчастого теплообмінника від типу пластин, належить знати довжину  $b$  та крок  $S$  даного гофру (Рис. 4). Залежно від гофру, застосовуємо різні методики визначення теплообмінної поверхні. Наведемо приклад розрахунку для синусоїдального типу гофрування (Рис. 5). Для відображення коефіцієнт «крутості гофрування», використано величину [1]:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{b}{0,5 \cdot S} . \quad (1)$$

Таблиця 1 - Порівняльна характеристика пластинчастих теплообмінних апаратів.

| Назва апарата                                  | Розбірні пластинчасті      | Зварені пластинчасті      | Кожухопластинчасті                 |
|------------------------------------------------|----------------------------|---------------------------|------------------------------------|
| Маса, кг                                       | 350 - 600                  | 250 - 400                 | 300 - 650                          |
| Області застосування                           | Рідина/рідина, пара/рідина | Рідина/рідина, газ/рідина | Рідина/рідина, газ/рідина, газ/газ |
| Діапазон робочої температури, $^\circ\text{C}$ | -30/+200                   | -150/+400                 | -190/+500                          |
| Порівняльна ефективність                       | 0,75                       | 0,8                       | 1                                  |

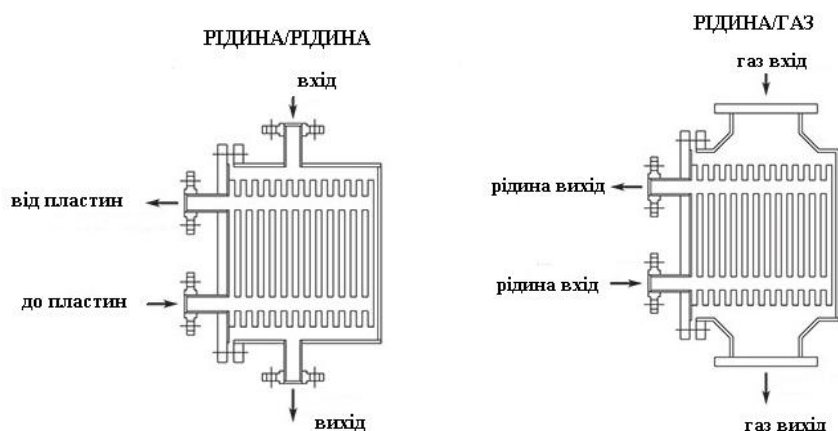


Рис. 2. Принцип роботи кожухопластинчастого апарата в залежності від робочого середовища

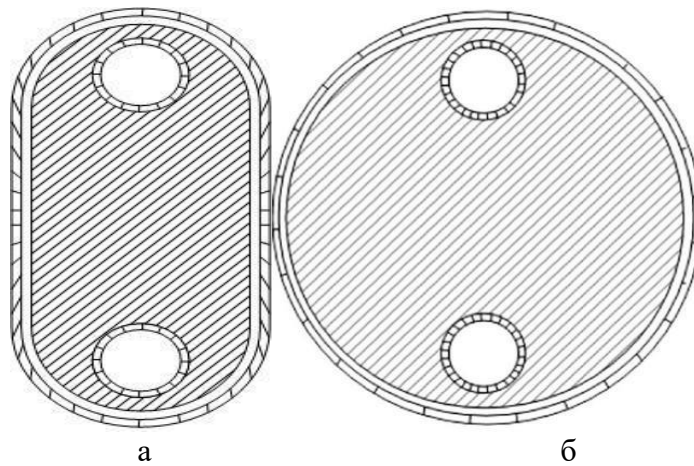


Рис. 3. Типи пластин: закруглений (а) і круглий (б)

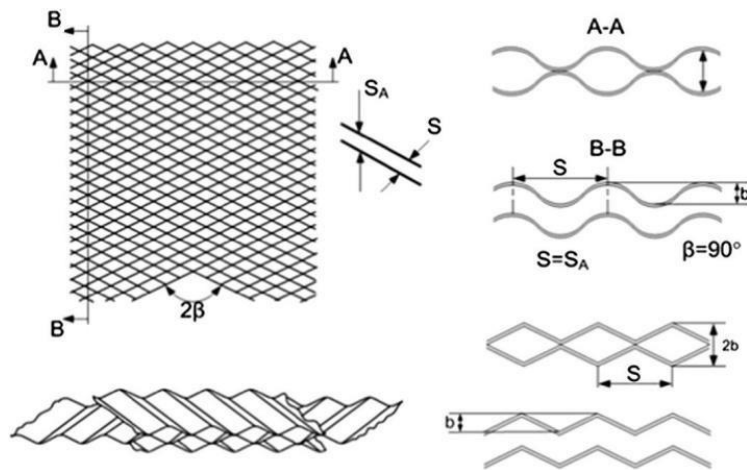


Рис. 4. Зображення різних типів гофрування

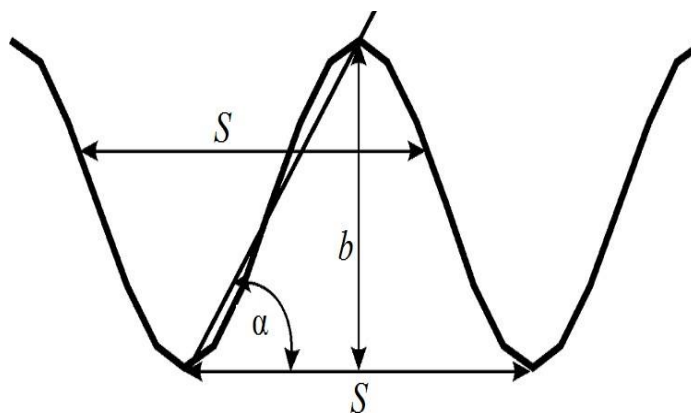


Рис. 5. Синусоїдальний тип гофрування

Формула для визначення коефіцієнта збільшення (зменшення) площі за рахунок гофрування має вигляд (2):

$$\Phi = \frac{1}{6} \cdot (1 + \sqrt{1 + \eta^2} + 4 \cdot \sqrt{1 + \eta^2 / 2}) , \text{ де } \eta = \pi \cdot b / S . \quad (2)$$

З цього рівняння визначимо залежність коефіцієнта збільшення площі від параметру «крутості гофрування»: а). якщо  $\operatorname{tg} \alpha = 0,65$ , то  $\eta = 1,021$ , а  $\Phi = 1,227$ ; б). якщо  $\operatorname{tg} \alpha = 0,75$ , то  $\eta = 1,178$ , а  $\Phi = 1,292$  [1]. За приклад кожухопластинчастого теплообмінника візьмемо теплообмінник компанії LHEngineering типу 3В0 з шириною пластин 0,8, 0,7 та 0,6 м з висотою гофри 2,88, 3,36 та 3,84 мм відповідно [2].

Таким чином побудуємо графік залежності площі теплообмінної поверхні гофрованої пластини від висоти гофри (Рис. 6).

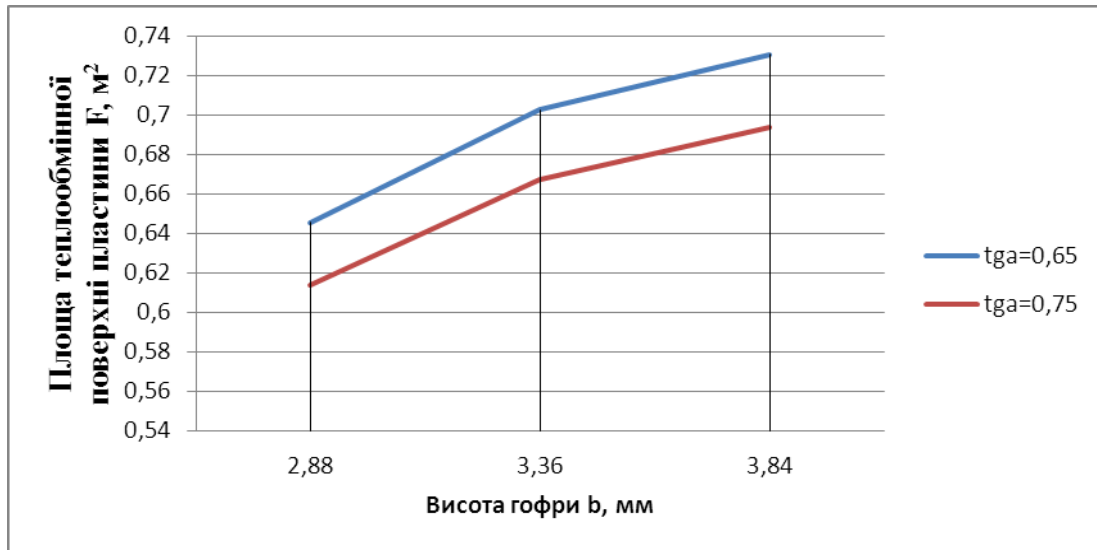


Рис. 6. Залежність поверхні теплообміну пластини від висоти гофри при різних значеннях параметру гофрування

Для розрахунку тепловіддачі в каналах використовується аналогія переносу тепла та імпульсу (3) з урахуванням розвитку площі поверхні за рахунок гофрування згідно з рекомендаціями [1]:

$$Nu = 0,065 \cdot Re^{6/7} \cdot \psi \cdot \frac{\xi}{F_x^{0,7}} \cdot Pr^{0,4} \cdot \left( \frac{\mu}{\mu_{cm}} \right)^{0,17}, \quad (3)$$

де  $\psi$  – частка втрат тиску за рахунок тертя об стінку в загальному перепаді тиску;  $\zeta_s$  – коефіцієнт тертя загального гідравлічного опору, що враховує втрати тиску в каналах;  $F_x$  – відношення фактичної площі до площі теплообміну в плані;  $\mu$  та  $\mu_w$  – динамічна в'язкість при температурі потоку і стінки, Па·с;  $c$  – коефіцієнт, що залежить від природи теплоносія, для діапазону чисел  $Pr$  від 0,7 до 15  $c = 0,4$ .

Знаючи площу теплообмінної поверхні, і розрахувавши коефіцієнт теплопередачі, знаходиться відповідне теплове навантаження теплообмінника за формулою (4):

$$Q = K \cdot F \cdot \Delta t, \quad (4)$$

де  $K$  – коефіцієнт теплопередачі,  $\frac{Вт}{м^2 \cdot К}$ ;  $F$  – площа теплообмінної поверхні,  $м^2$ ;  $\Delta t$  – середній температурний напір,  $^{\circ}C$ .

Встановлено, що зі збільшенням  $\operatorname{tg} \alpha$ , інтенсивність теплообміну покращується,

тобто для забезпечення передачі тепла потрібна менша поверхня теплообміну.

Аналізуючи аналогічно залежність площі теплообміну пластини від висоти гофри можна стверджувати, що при однаковій висоті гофри, площа теплообміну пластини буде менше, чим більше значення параметра  $tg\alpha$ . Це дозволяє проектувати теплообмінники з меншою поверхнею пластини, але з великим їх числом [1].

За такого підходу створюється можливість для досягнення ефекту вирівнювання швидкостей в каналах. Як наслідок, може бути досягнуто зменшення площі поверхні теплопередачі апарату. В свою чергу, це призводить до оптимізації показника співвідношення ціна - якість.

Дослідження гофрованих поверхонь є досить складним і потребує детального вивчення, оскільки на процес експлуатації може впливати конденсація, що в свою чергу, залежить від конструкції самої поверхні.

### Висновки

1. Кожухопластинчасті теплообмінні апарати використовуються у різних галузях промисловості: теплоенергетичній, нафтовій, металургійній тощо. Їх особливістю є ударостійкість та ефективність при експлуатації.

2. Дані теплообмінники виконуються зі знімним кожухом для полегшення очистки апарату при експлуатації. Наприклад, відкладення на стінках пластин можуть утворюватися конденсації пари, що проходить в між трубному просторі.

3. Теплообмінники цього типу можуть використовуватися у великому температурному діапазоні, приблизно  $-190/+500\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

4. Площа теплообміну пластини залежить від висоти гофр. При постійній висоті  $b$ , площа теплообміну пластини буде тим меншою, чим більше значення параметру гофрування:

$$tg\alpha = \frac{b}{0,5 \cdot S}.$$

5. При збільшенні висоти гофрування, інтенсивність теплообміну поліпшується. Таким чином, виходячи з ряду формул, можна стверджувати, що коефіцієнт теплопередачі зростає і, для отримання потрібного теплового навантаження, необхідна площа теплопередачі є меншою.

### Список літератури:

1. Юзбашьян А. П. Інтенсифікація теплообмінних процесів в технологіях переробки вуглеводнів з використанням нерозбірних пластинчастих теплообмінників: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.17.08 - процеси та обладнання хімічної технології / А. П. Юзбашьян – Харків: НТУ «ХПІ», 2018. – 23 с.

2. Кожухопластинчатый теплообменник [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://lhengineering.ru>.

УДК 621.175.1

**М. С. Сторожук**, студент, **А. С. Гавриш**, к. т. н., доцент  
Національний технічний університет України  
"Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"  
Теплоенергетичний факультет, Кафедра теоретичної та промислової теплоенергетики

## **ПРО ДЕЯКІ ПИТАННЯ ІНТЕНСИФІКАЦІЇ ТЕПЛООБМІНУ В КОНДЕНСАТОРАХ І СПОСОБИ ЗАХИСТУ РОБОЧИХ ПОВЕРХОНЬ**

*Анотація – Інтенсифікація теплообміну та захист теплообмінних поверхонь є однією з головних проблем у теплообмінних апаратах. Порівняно з плівковою конденсацією, яка широко використовується в промисловості, більш ефективною є краплинна конденсація. Тому на сьогоднішній день з метою досягнення краплинного режиму конденсації в теплообмінних апаратах використовують поверхнево активні речовини (ПАР). Це дозволяє не тільки досягти більш ефективної конденсації, а й захистити поверхні теплообміну та збільшити термін експлуатації теплообмінного обладнання.*

*Ключові слова – інтенсифікація теплообміну, поверхнево активні речовини, конденсація.*

M. S. Storozhuk, student, A. S. Gavrish, Ph.D., Associate Professor  
National Technical University of Ukraine  
"The Kiev Polytechnic Institute named after Igor Sikorsky"  
Heat and Power Faculty, Department of Theoretical and Industrial Thermal Power Engineering

## **ABOUT SOME QUESTIONS OF HEAT EXCHANGE INTENSIFICATION IN CONDENSERS AND FOR THE PROTECTION OF WORKING SURFACES**

*Annotation - Intensification of heat exchange and protection of heat exchange surfaces is one of the main problems in heat exchangers. Compared to film condensation, which is widely used in industry, drip condensation is more effective. Therefore, to date, in order to achieve the droplet condensation regime, heat-exchange units use surface-active substances (surfactants). This allows not only to achieve more efficient condensation, but also to protect the heat exchange surfaces and increase the lifetime of heat-exchange equipment.*

*Key words - intensification of heat exchange, surface active substances, condensation.*

### **Вступ**

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.

Перший вид конденсації, коли рідка конденсована фаза утворюється на поверхні теплообміну у вигляді стійкої плівки, називається плівковою конденсацією, а другий - коли відбувається утворення крапель – крапельною. Плівкова конденсація має місце, якщо конденсат змочує дану поверхню теплообміну. Якщо ж конденсат не змочує поверхню, то відбувається краплинна конденсація.

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. Тому і на нього слід звертати увагу при проектуванні теплообмінних апаратів.

Окрім задачі інтенсифікації теплообміну постає питання захисту робочих поверхонь теплотехнічного обладнання від впливу корозійно – ерозійних процесів. Вирішення комплексної задачі стосовно довготривалої надійної високоефективної роботи обладнання, збільшення інтервалу між регламентних робіт стає неможливим без використання сучасних технологій, включаючи нанотехнології. На перший план виходять технічні рішення щодо питань енергобезпеки. Одним із напрямків є дослідження конденсаційних процесів в присутності поверхнево-активних речовин, трибосистемних покриттів робочих поверхонь, тощо.

### Краплинна конденсація на похилих та горизонтальних трубах

Особливим чинником, що значно впливає на інтенсивність процесу теплообміну при краплинній конденсації є форма, розміри та компоновка трубного пучку. Для трубних пучків глибиною до 15 рядів швидкість пари змінювалась від 10 до 33 м/с, а температурний напір - від 4 до 12 К. Для стимулювання краплинного режиму конденсації трубний пучок піддавався обробці за допомогою шару гідрофобізатора. Загальна товщина нанесених речовин склала близько 1 мкм, що практично не вплинуло на термічний опір труби. У трубних пучках використано 75 трубок розташованих коридорно, у 5 колонах та 15 рядах. Тепловий баланс для кожної труби визначався за витратою охолоджуючої води та приростом її температури. Парогазова суміш рухалась перпендикулярно до вісі труб.



Рис.1. Краплинна конденсація на стінку горизонтальної труби

На перших рядах, коефіцієнти тепловіддачі при краплинній конденсації були більшими від аналогічних для плівкової. У наступних рядах труб при краплинній конденсації коефіцієнти залишаються сталими, а при плівковій вони починають систематично зменшуватись при зростанні рядності. Наприклад, на рис. 3 зображено залежність питомого теплового потоку від рядності для випадку швидкості руху пари на вході в пучок 10 м/с та температурному напорі 4 К. Розглянуті випадки плівкової та краплинної конденсації пари зі вмістом повітря на вході в пучок 1%, або 0%.

Пояснити зниження теплового потоку на останніх рядах труб можна тим, що при проходженні парової маси через перші ряди труб швидкість її зменшується. Наприклад, при плівковій конденсації швидкість пари зменшилась від 10,2 м/с на вході пучка до 2,2 м/с вже на 13 ряді, а витрата конденсату зростає від 0 до 0,39 кг/хв. відповідно. Такі зміни призвели до

збільшення товщини плівок конденсату на останніх рядах труб, що також негативно вплинуло на тепловий потік.

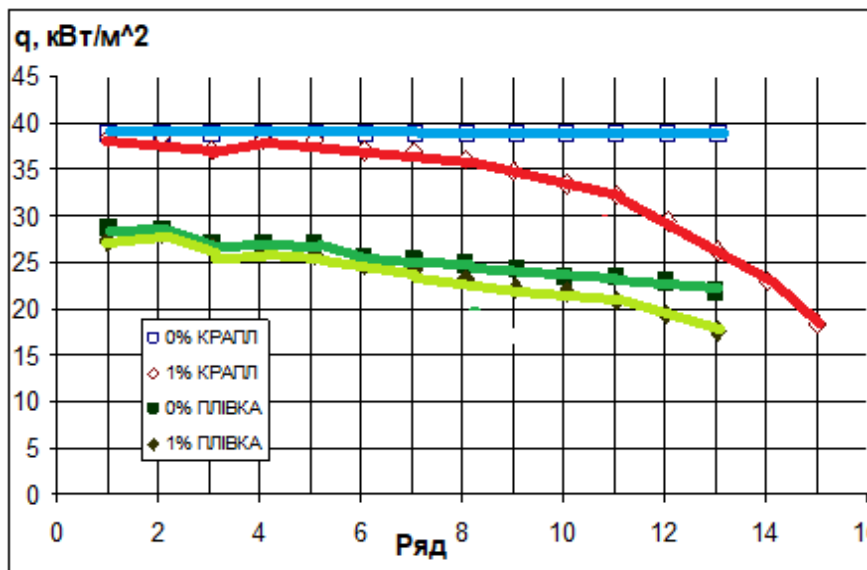


Рис. 2. Залежність коефіцієнта тепловіддачі від ряду труб і наявності в парі повітря

Аналогічно, при краплинній конденсації швидкість пари зменшилась від 12,7 до 1,5 м/с на 13-му ряді. Витрата конденсату зростала від 0 до 0,56 кг/с. Проте, на відміну від плівкового режиму тепловий потік не зменшився. Натомість, краплини стікали до низу труби звідки під дією гравітації скапували. Під час стікання краплини захоплювали на своєму шляху інші, залишаючи слід чистої поверхні, на якій почали утворюватися нові краплини конденсату. Зменшення коефіцієнта тепловіддачі можна пояснити натіканням крапель конденсату з поверхні вищих рядів труб на нижчі ряди. Тим самим спричиняється заливання окремих частин теплообмінної поверхні нижніх рядів, причому чим глибше знаходиться ряд в пучку, тим більша частина труби виключена з процесу краплинної конденсації.

При плівковій конденсації, наприклад, охолоджуюча вода сприйняла 15,6 кВт теплоти у 13-ти рядах труб, проти 21,6 кВт при краплинній. При вмісті повітря у парі кількістю 1% по масі на вході, ця концентрація збільшилась до 8% при краплинній та 7% при плівковій конденсації пари. Збільшення концентрації можна пояснити зменшенням кількості пари при збільшенні номера ряду за умови сталої кількості повітря. Присутність повітря при процесі краплинної конденсації впливає більше ніж при плівковій, але коефіцієнти тепловіддачі та кількість конденсату були вищими. Збільшення швидкості потоку пари призводить до продувки та турбулізації повітряного шару, та, відповідно, до інтенсифікації процесів тепломасообміну.

### Корозійно – ерозійні процеси при використанні ПАР в конденсаторах

Ерозія конструкційних матеріалів являє одну з основних проблем при експлуатації сучасного теплообмінного устаткування. Деталі та вузли таких установок працюють в різноманітних і досить суворих умовах. Матеріали, з яких вони виготовлені, зазнають різні види зношення: абразивне, корозійно-ерозійне, кавітаційне, краплинно ударне зношення, щільну ерозію та ін. Ушкодження матеріалів призводить до зниження ефективності роботи

обладнання та до його аварійних зупинок. Зношення зазнають корпуси, поверхні теплообміну, обойми, діафрагми та ін. В наслідок кавітації, особливо при значних змінах тиску робочого середовища, можуть руйнуватись проточні частини насосів, регулюючої арматури та ін. Дефекти ерозійного характеру спостерігаються в підігрівниках при високих тисках. Інтенсивне розмивання трубопроводів обумовлене протіканням корозійно-ерозійних процесів.



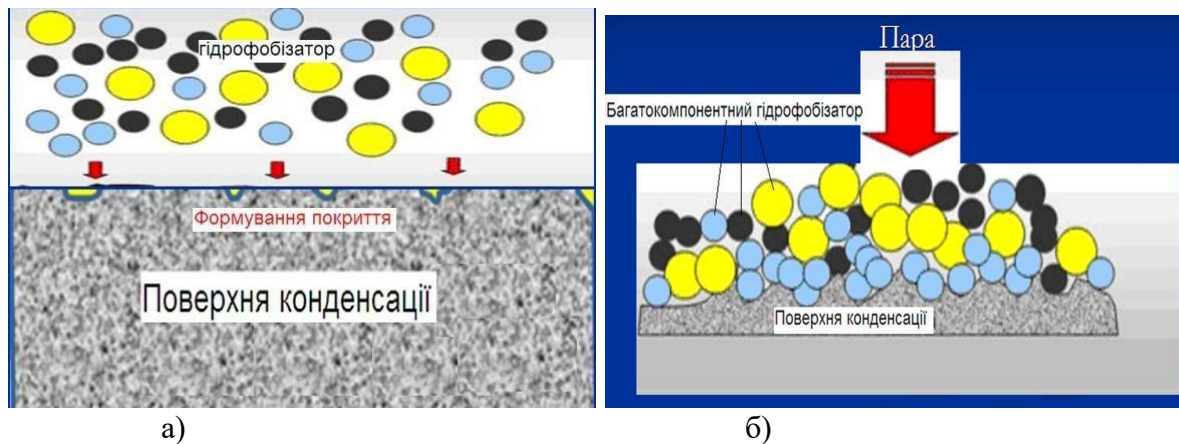
**Рис.3.** Теплообмінна поверхня, яка зазнала впливу ерозійних процесів

Спільна дія механічних та хімічних факторів прискорює ерозію, саме тому проблема підвищення зносостійкості обладнання стає особливо актуальною.

### **Способи захисту поверхонь**

Пошук ефективних способів захисту поверхонь ведеться за такими 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 полімерних добавок та різноманітних поверхнево-активних речовин (ПАР). В основному це розчини високомолекулярних полімерних речовин. Ведення у воду 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 на ті чи інші процеси є багатофакторним і залежить в кожному конкретному випадку від природи речовини, характеру течії, властивості робочої рідини і т.д. Приклад формування захисної поверхні під дією ПАР зображено на рисунку 4.

Для таких покриттів характерними є певні фізико-хімічні властивості. Ці властивості дозволяють вважати покриття гідро- та ліофобними і такими, що не вимиваються. Властивості та склад зносостійких і одночасно ліофобних покриттів залежать від технології їх створення. При створенні новітніх поверхонь важливим є отримання так званих трибосистем (рисунок 4 а). Для цього необхідне дотримання балансу між притоком енергії та її віддачею в навколишнє середовище. Трибосистема є відкритою термодинамічною системою.



а- нанесення багатофункціонального гідрофобізатора на теплообмінну поверхню, б - утворення трибо системи

**Рис. 4.** Формування захисної поверхні під дією ПАР

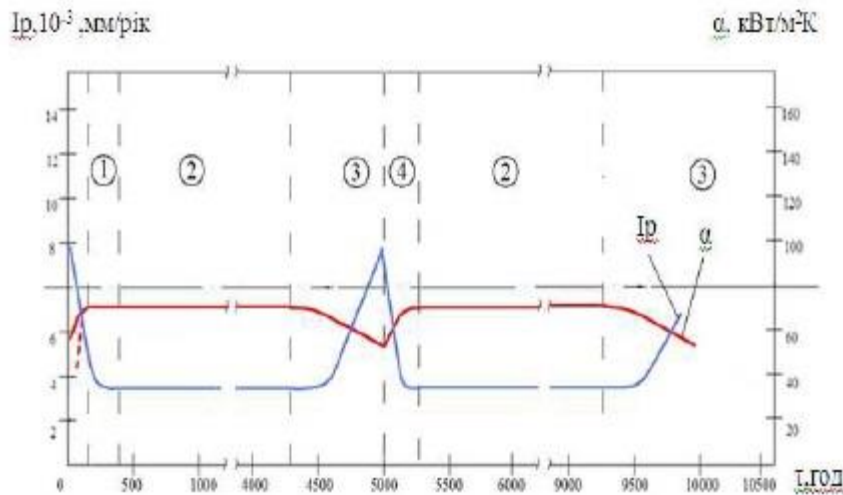
Активні компоненти композиції в наслідок трибохімічних реакцій утворюють особливу модифікацію, яка забезпечує анізотропію механічних властивостей заново сформованої поверхні із збереженням основного призначення теплообмінної поверхні.

Позитивний градієнт механічних властивостей поверхонь забезпечує ліо- та гідрофобність. Якщо для таких систем порушується баланс, то система на це відреагує властивістю самоорганізації. Тобто, трибосистема або руйнує старі зв'язки, або утворює нові, шляхом структурного ускладнення. Поверхневі та під поверхневі пласти накопичують, або віддають енергію, що призводить до зміни як механічних, так і теплофізичних характеристик. Такі пласти мають дуже малий об'єм, для якого зміна значення накопиченої енергії може бути критичним і призвести до зміни агрегатного стану складових нанопокриття. При цьому можливе утворення особливого стану речовини - трибоплазми, яка є нестійкою і може повернутись поетапно до вихідного стану речовини. Проходження зміни агрегатних станів, наприклад, для речовин типу політетрафторхлоретиленів та ін., може відбуватись із утворенням радикальних, іонних та іонно-радикальних структур. Кінцевим результатом таких перетворень є формування особливих покриттів із продуктів трибохімічних реакцій рекомбінованих вихідних речовин.

В результаті відбувається добудова кристалічної решітки металевих теплообмінних поверхонь під дією сил когезії та адгезії.

Наявність незначних захисних оксидних плівок може само уповільнювати корозійну поведінку конструкційних матеріалів має місце так звана "пасивація". Все вищевказане дозволяє комплексно вирішувати основні задачі інтенсифікації теплообміну та створення якісно нового обладнання. Швидкість корозії залежить від концентрації стимулятора краплинної конденсації (рис.5).

З часом дія ліофобізованого покриття зменшується, в результаті чого ліофобні властивості поверхні конденсації погіршуються, якість поверхні погіршується під дією корозії. Результатом цього являється поступове погіршення інтенсивності теплообміну та перехід режиму краплинної конденсації до плівкової та погіршення теплотехнічних характеристик самого устаткування.



1 - нанесення і стабілізація роботи покриття, 2 - термін стійкої роботи гідрофобізатора, 3 - поступове руйнування покриття, 4 - повторне нанесення покриття

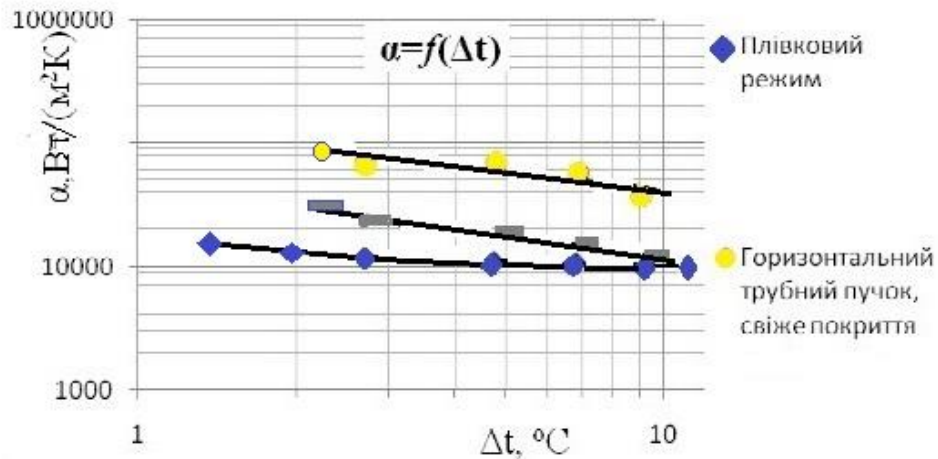
**Рис.5.** Зміна швидкості корозії поверхні теплообміну за час служби гідрофобного покриття

Вплив корозії має в цілому негативний характер так як корозійні плями, що вкривають теплообмінну поверхню призводять до порушення ліюфобного покриття, збільшують шорсткість поверхні та змінюють геометричну конфігурацію краплин конденсату, спричинюючи зміну кута змочування та перехід від сферичної до інших форм краплин. Ліюфобізація поверхні теплообміну за допомогою РТРЕ-спрію уповільнює швидкість корозії, як було встановлено (рис. 6). В результаті яких досліджувалася робота ліюфобного покриття на відмову, можна стверджувати, що незважаючи на простий в роботі теплообмінна поверхня дослідного апарату хоча і зазнала дії процесу корозії проте в порівнянні з картиною отриманою для звичайних конденсаторів без застосування ліюфобізаторів, інтенсивність корозійної активності була значно нижчою.

Тому як позитивний момент можна відзначити, що використання стимуляторів краплинної конденсації може слугувати інгібітором корозії, зменшуючи її швидкість в 1,5 - 2 рази в порівнянні зі швидкістю на тій самій проте не обробленій теплообмінній поверхні, що знаходиться в дистилаті.

В процесі роботи покриття, зменшується швидкість корозії, паралельно з цим відбувається ріст коефіцієнтів тепловіддачі. На протязі усього терміну дії ліюфобізатору для теплообміну характерні стійкі високі значення коефіцієнтів тепловіддачі при фіксованому значенні теплового потоку. Швидкість корозії при цьому мінімальна.

Знищення ліюфобного покриття та погіршення його властивостей супроводжується одночасним прискоренням корозійних процесів та зниженням коефіцієнтів тепловіддачі і поступовим переходом від краплинного режиму конденсації до плівкового.



**Рис.6.** Залежність коефіцієнту тепловіддачі від теплового потоку при незмінному ліофобному покритті для кожухотрубного теплообмінного апарату

Однозначний вплив корозії на інтенсивність тепловіддачі при процесі краплинної конденсації встановити важко, так як чисельно тепловіддача залежить від умов даного експерименту ще й від зниження ліофобних властивостей стимулятора, тому як результат зниження інтенсивності показано графічною залежністю, що порівнює дані, отримані за однакових умов на одному покритті з перервою в 10 місяців.

### Гідрофобність та ліофобізація

Для отримання крапельної конденсації необхідно, щоб когезія (зв'язування, зчеплення) конденсату була більшою за адгезію (прилипання) до металу теплообмінної поверхні. Пари ряду речовин самочинно утворюють крапельну конденсацію. Наприклад, у крапельній формі відбувається конденсація пари ртуті на нержавіючій сталі. Крапельна конденсація спостерігається і у суміші деяких парів інших речовин.

Водяна пара при конденсації на чистих металевих поверхнях дає плівкову конденсацію. Незмочування металу досягається нанесенням на його поверхню активних речовин – ліофобізаторів та гідрофобізаторів, молекули яких побудовані асиметрично з полярних і неполярних груп. При адсорбції таких молекул твердою фазою полярна група спрямовується в бік більш полярної твердої фази, а неполярна фаза контактує з парою. Поверхнева активність збільшується зі збільшенням асиметрії адсорбованої молекули.

Максимальну гідрофобність забезпечують мономолекулярні шари з чітко вираженими неполярними вуглеводневими частинами не дуже великих молекул. Нанесення на поверхню теплообміну мономолекулярного шару гідрофобізатора не до додаткового термічного опору.

Основні технічні вимоги, які ставляться до ліофобізаторів, зводяться до наступного.

- Ліофобізатор повинен забезпечувати якісну крапельну конденсацію, яка дає високі коефіцієнти тепловіддачі. Крапельна конденсація повинна підтримуватися на протязі тривалого часу, що в значній мірі визначається характером зв'язку молекул ліофобізатора з поверхнею; при утворенні хімічного зв'язку, що може спостерігатися при наявності в молекулі гідрофобізатора якого-небудь електровід'ємного атома ( $\text{S}^{4+}$ ,  $\text{N}^{3-}$ ,  $\text{O}^{2-}$ ,  $\text{F}^-$  та ін.), зчеплення з поверхнею металу значно більше, ніж при виникненні тільки міжмолекулярних зв'язків, викликаних ван-дер-ваальсівськими силами.

- Гідрофобізатор повинен бути безпечним в корозійному відношенні. У тих випадках, коли гідрофобізатор вводиться до живильної води чи пари, він не повинен погіршувати роботу

парогенератора і інших елементів енергетичної установки. Гідрофобізатор повинен буди нетоксичним і дешевим.

- Підбір ліофобізаторів, придатних для промислового застосування, є складною технічною задачею. Вирішенню цієї задачі присвячено багато робіт, наслідки яких часто носять ряд суперечливих висновків.



**Рис. 7.** Гідрофобність на рослинах із ефектом Лотоса

Гідрофобність дуже добре можна помітити при конденсації пари вранці так званої роси на деяких стеблах і листках рослин

### **Висновок**

1. Встановлено, що нанотехнології дозволяють 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 над незмочуваних поверхонь, які мають властивість самоочищення і в перспективі необмежений термін використання.

2. 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 утворити єдиний моноліт, який руйнується лише механічним шляхом. Таке покриття виконує захисну, антикорозійну, самоочисну, термостійку функціональну приналежність і при цьому здатне самоорганізовуватись.

3. Для стійкого процесу краплинної конденсації та додаткового захисту конденсуючої поверхні від корозії необхідна періодична підтримка покриття стимулятором. Розглянута та проаналізована модель конденсації чистої нерухомої (малорухомої) пари в горизонтальному трубному пучку, яка враховує дискретний характер стікання конденсату. Для оцінки впливу дискретної течії конденсатної плівки на теплообмін необхідно встановити зв'язок між локальними коефіцієнтами тепловіддачі та характеристиками краплі масою, часом контакту із поверхнею трубки, середньою площею, залитою цією краплею на поверхні трубки за час контакту. Характеристики перетікаючої краплі залежать від фізичних властивостей конденсату, діаметра трубок і вертикального кроку трубного пучка.

### Перелік посилань

1. Semenov, V. The flow-mode of condensate in a multirow horizontal tube bundle Heat Transfer / V. Semenov, G. Shklover // Soviet research. – 1981. – Vol. 13. – № 3. – P. 127-133.
2. Ляндзберг А.Р. Разработка рациональной технологии комплексного извлечения полезных компонентов при переработке высокотемпературных геотермальных флюидов: Дис. ... канд. техн. наук. – Чита: ЧитГТУ, 2002.–178с.
3. Гавриш А.С., Гавриш С.А., Рачинский А.Ю. О применении гидрофобных поверхностей в малогабаритных конденсаторах // Тепловые процессы в технике. - 2011. - Т.3, №3. - С.122-126.
4. Гавриш А.С., Урошлев В. В. Про використання сучасних трибосистемних покриттів в конденсаторах / III Науково-технічна конференція „ЕНЕРГЕТИКА. ЕКОЛОГІЯ. ЛЮДИНА.” Збірка наукових праць, м. Київ, 24-25 травня 2011 р. – 2011. - № СЗ-3. – С.323-327.
5. Гавриш А.С. О некоторых аспектах получения защитных покрытий несмачиваемых конденсационных поверхностей. // Труды РНКТ-7. 2018. Т.2. С.31—34.
6. Гогонин, Иван Иванович. Интенсификация теплообмена при конденсации пара с использованием оребрения теплообменной поверхности / И. И. Гогонин, О. А. Кабов, В. И. Сосунов. - Новосибирск: ИТФ, 1985. - 24, [1] с.: ил.; 21 см. - (Препринт. АН СССР, Сиб. отделение, Ин-т теплофизики; 134-85).

УДК 62-852:536.253

Д.В. Бузоверя, студент, А. С. Гавриш, к. т. н., доцент  
Національний технічний університет України  
"Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"  
Теплоенергетичний факультет, Кафедра теоретичної та промислової теплоенергетики

## АНАЛІЗ РОЗВИТКУ СУЧАСНОЇ ВІТРОЕНЕРГЕТИКИ

*Анотація - Проблема використання енергії вітру в наші дні придбала велику актуальність в зв'язку з подорожчанням традиційних енергоресурсів. З плином часу вітрова енергетика розповсюдилася у всьому світі і не виникає сумніву в її ефективності. Проведений аналіз розвитку вітроенергетики показав, що з ростом потреби на зелену енергію росте рівень технологічності вітрогенераторів і тому з'являються нові типи установок такі як: мембранні, аеростати, вітрогенератори у вигляді стебел, горизонтально - осьові - ротор Оніпко, тощо. Сучасні вітроенергетичні установки(ВЕУ) щорічно виробляють у 180 разів більше електроенергії, ніж 20 років тому.*

*Ключові слова – вітрогенератори, зелена енергія, сучасні ВЕУ.*

D.V. Buzoverya, student, A.S. Gavrish, Ph.D., Associate Professor  
National Technical University of Ukraine  
"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"  
Heat power faculty, Department of Theoretical and Industrial Heat Engineering

## Analysis of development of modern wind power

*Summary - The problem of use of wind power acquired big relevance in stars today "to a yazk z rise in price of traditional energy resources. Eventually wind power extended around the world and there is no doubt in its efficiency. The carried-out analysis of development of wind power showed, that with growth of requirement on green energy technological effectiveness level v\_trogenrator\_v grows and therefore with "to emerge new types of installations such as: Membrane, balloons, wind generators in the form of stalks, it is horizontal - axial - Onipko's rotor, and so forth. Modern wind power installations (VEU) annually make in 180 times more of the electric power, than 20 years ago.*

*Keywords - wind generators, green energy, modern VEU.*

### Вступ

Про того, хто перший взявся використати енергію вітру, учені сперечаються досі. Імовірно, найстаріші вітряні млини у світі з'явилися в Древньому Вавілоні приблизно в 1700 році до н.е. Окрім вітрильного флоту, вітрова енергія використовувалася тільки для помелу зерна і підйому води. На Сході вітряні млини мали радикально іншу конструкцію на відміну від європейських. Як правило, це були машини з вертикально розташованим ротором. Зокрема, відомо про декілька типів конструкцій такого роду на території Древнього Китаю

Енергія вітру доступна практично в будь-якій країні й не залежить від коливання цін на викопне паливо, запаси якого невпинно скорочуються. За останні десятиріччя вартість вітрових електроустановок (ВЕУ), витрати на їх встановлення і обслуговування значно

знизилися. В майбутньому ці витрати продовжуватимуть зменшуватися.

### Аналіз стану питання

В сучасному світі спостерігається стійка тенденція до підвищення цін на всі види органічних палив. Крім того існують труднощі в забезпеченні надійного паливно-енергетичного постачання віддалених районів у всіх регіонах Земної кулі. Одночасно з цим відбувається загострення економічних проблем. Але при цьому позитивним моментом є передові досягнення в області енергетичного устаткування і будівельних технік. Всі ці фактори привели до зростання рентабельності малих установок поновлюваної енергії. І в решті решт зумовили розширення перспектив їх застосування для забезпечення електроенергією віддалених та ізольованих від центральних енергосистем споживачів.

### Мета роботи

Завдання яке постає перед сучасними дослідниками є збір та систематизація інформації що використання новітніх вітроенергетичних установок (ВЕУ) таких, як мембранні , аеростати, вітрогенератори у вигляді стебел, горизонтально - осьові - ротор Оніпко, тощо.

### Результати досліджень

#### 1. Типи вітрогенераторів та їх особливості

Вітрогенератор (вітроелектрична установка або скорочено ВЕУ) - облаштування для перетворення кінетичної енергії вітрового потоку в механічну енергію обертання ротора з подальшим її перетворенням в електричну енергію.

Існують два основні типи віротурбін:

- 1) з вертикальною віссю обертання ("карусельні" - роторні (у тому числі "ротор Савоніуса"), "лопатеві" ортогональні - ротор Даріні);
- 2) з горизонтальною віссю круглого обертання (крильчаті). Вони бувають швидкохідними з малим числом лопатей і тихохідними багатолопатевиими, з ККД до 40%.

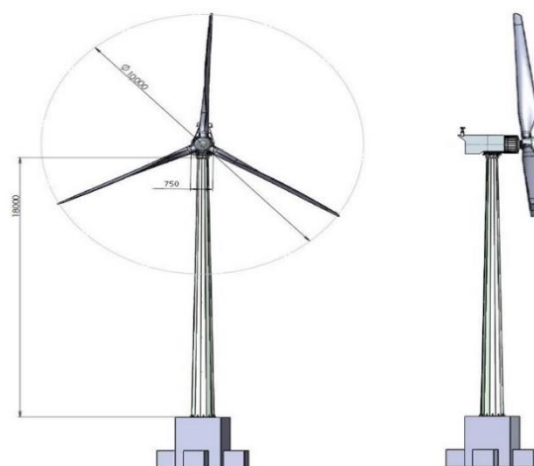


Рис.1. Схема класичного горизонтально-осьового вітрогенератора.

Вітрогенератори такого типу краще ставити там де вітер перевищує відмутку 4м/с.

Але слід відмітити, що найбільша ефективність горизонтальних пропелерних ВЕУ досяжна тільки за умови забезпечення постійної колінеарності осі вітроколеса і напрямку вітру. Необхідність орієнтації на вітер вимагає наявності в конструкції ВЕУ механізмів і систем орієнтації на вітер для безперервного стеження за вітровою обстановкою, пошуку напрямку з максимальним вітровим потенціалом, повороту вітроколеса в цьому напрямі і його утримання в такому положенні. Наявність в конструкції ВЕУ системи орієнтації на вітер саме по собі ускладнює вітроагрегат і знижує його надійність.

Через те, що з'явилася потреба враховувати напрям вітру і тим самим підлаштовувати під нього вітрогенератор, люди звернули увагу на інший тип конструкції ВЕУ, а саме горизонтальні вітроустановки. Вони кардинально відрізняються від класичного зразку і тим самим це дає їм змогу ігнорувати колінеарну умову. Приклад горизонтально-осьового вітрогенератора можна побачити на рис.2.

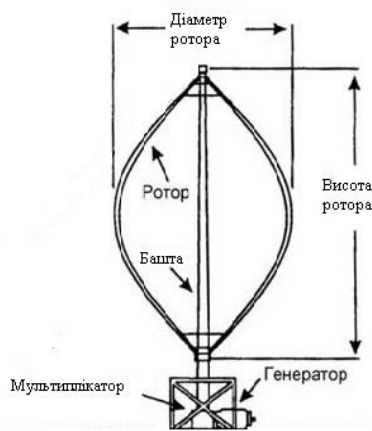


Рис.2. Схема вертикально-осьового вітрогенератора.

## 2.Ефективність застосування ВЕУ і станцій на їх основі для електропостачання об'єктів

Теоретично доведено, що коефіцієнт використання енергії вітру ідеального вітроколеса горизонтальних, пропелерних і вертикально-осьових установок рівний, 0.593. Це пояснюється тим, що ротори ВЕУ обох типів використовують один і той же ефект підйомної сили, що виникає при обтіканні вітровим потоком профільованої лопаті.

До теперішнього часу досягнутий на горизонтальних пропелерних ВЕУ коефіцієнт використання енергії вітру складає 0.4. На даний момент цей коефіцієнт у вітрогенераторів (вітроустановок) ГРЦ-вертикаль складає 0.38. Проведені експериментальні дослідження російських вертикально-осьових установок показали, що досягнення значення 0.4-0.45 - цілком реальне завдання. Таким чином, можна відмітити, що коефіцієнти використання енергії вітру горизонтально-осьових пропелерних і вертикально-осьових ВЕУ близькі.

Частіше питання про ефективність зводиться до вартості конструкції, тут звісно має важливу роль розміри, та місце установки. Вартість установки вітрогенератора будь-якого типу на воді в десятки раз дорожча ніж на суші.



Рис. 3. Горизонтально-осьові вітрогенератори встановлені на воді в вітропарку

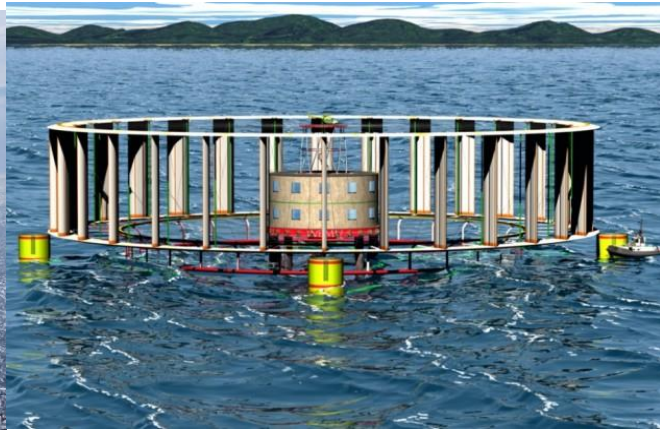


Рис.4. Вертикально-осьовий вітрогенератор. Проектна модель японської фірми.

### 3.Світовий рівень розвитку вітроенергетики і основні технічні характеристики ВЕУ провідних світових виробників

Дотеперішнього часу розповсюдження вітроенергетики спостерігається у таких країнах як: Китай, США, Німеччина, Іспанія, Україна та інших. Розглянемо деякі з них.

#### 3.1 Сучасний стан вітроенергетики Китайської народної республіки

Сумарне вироблення електроенергії у вітропарках Китаю у кінці 2015 року наблизилось до 150 ГВт. При цьому країна є відносно новим гравцем на ринку вітроенергетики. Але темпи зростання промисловості диктують свої умови, тому найближчими роками планується подальше нарощування вітроенергетичного потенціалу країни. Заявлена країною цифра споживання вітрової енергії до 2020 року складає 200 ГВт, проте, судячи з щорічного приросту 25-28%, цей термін настане раніше.



Рис. 5. Горизонтально-осьові вітрогенератори (Китайський вітропарк).

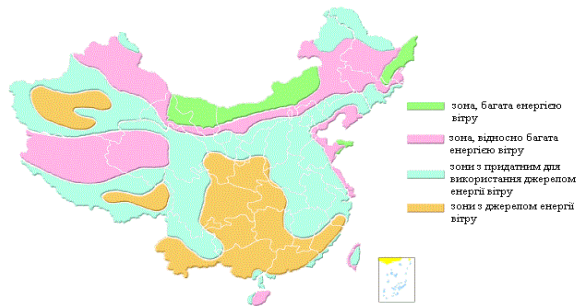


Рис.6. Карта вітрів Китаю.

#### 3.2 Вітроенергетика Сполучених штатів Америки

Розвиток альтернативної енергетики, у тому числі - вітровий, в Сполучених Штатах - постійний, планомірний процес. До початку 2016 року сумарна потужність американських вітропарків оцінена в 74,35 ГВт. В силу досить жорсткої регуляторної політики, що проводиться владою в енергетичній області, в країні не спостерігається яскраво вираженого буму будівництва "вітряків", проте країна продовжує упевнено утримувати друге місце.



Рис. 7. Горизонтально-осьові вітрогенератори (вітропарк Південної Америки).

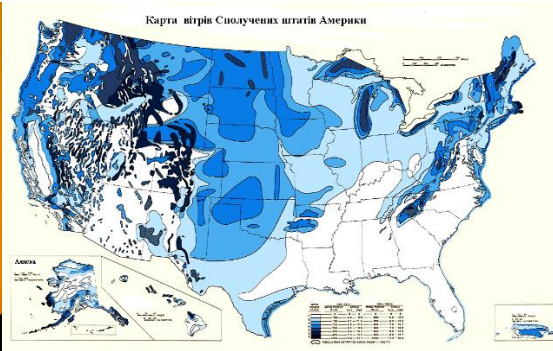


Рис.8. Карта вітрів США.

### 3.3 Розвиток вітроенергетики в Німеччині

Є традиційним лідером у виробництві вітрових турбін. Усе саме інноваційне устаткування в цій галузі робиться тут. Загальна потужність власних вітроелектростанцій Німеччини - на даний момент - 45,2 ГВт, що складає біля третини сумарної продуктивності вітропарків усього Євросоюзу. Приріст долі енергії, що виробляється "вітряками" в країні в 2015 році склав майже 10%.



Рис. 9. Вітрова електростанція в Німеччині .

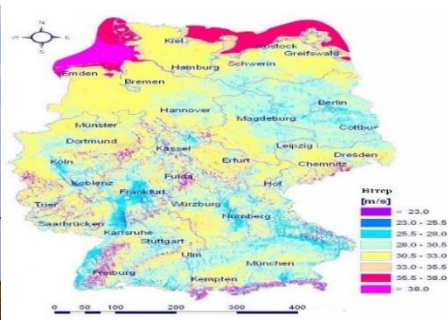


Рис. 10. Карта вітрів Німеччини.

### 3.4 Сучасне положення вітрової енергетики в Іспанії

Займає 4-е місце в рейтингу країн з найрозвиненішою вітроенергетикою. В умовах пригніченого стану економіки і нестачі власних природних ресурсів альтернативні види енергії є стратегічним напрямом розвитку країни. Сумарна потужність вітроелектростанцій країни складає близько 23 ГВт. Відповідно до даних WWEA за 2015 рік в країні не спостерігалось істотного приросту долі енергії, що виробляється "вітряками".

Іспанія і надалі має намір розвивати альтернативну відновлювальну енергетику для зниження викидів в атмосферу CO<sub>2</sub>. Вже до 2020 року в загальному енергетичному балансі країни частка ВДЕ має збільшитися до 40%, за рахунок розвитку офшори вітроферм.



Рис. 11. Вертикально-осьовий вітрогенератор (ефект “Магнуса”).



Рис. 12. Карта характеру вітрів Іспанії.

### 3.5 Дані розвитку вітрової енергетики України

У 2017 році потужність вітроенергетики України перевищила 500 МВт. По кількості встановлених потужностей лідирує Запорізька область. Збільшилися вітроенергетичні потужності в Херсонській, Миколаївській і Львівській областях. А в Івано-Франківській була встановлена перша вітротурбіна.

У 2017 році ввели в експлуатацію 4 вітропарка: в Херсонській (перша черга Новотроїцького ВЕС, загальна потужність якої складе 69 МВт), в Миколаївській (друга черга Причорноморського вітропарка, загальна потужність якого - 20,8 МВт), у Львівській (ВЕС "Старий Самбор 2", загальною потужністю 20,7 МВт) і Івано-Франківській областях (перша черга ВЕС "Шевченково-1", матиме загальну потужність 6,4 МВт).



Рис. 13. Вітропарк у Запорізькій області



Рис. 14. Карта швидкості вітру України.

І багато інших країн, які тільки вступають у еру вітрової енергетики, багато з яких використовують старі види установок, які мають низьку ефективність і велику вартість.

## 4. Нові види вітрогенераторів

### 4.1 Вітрогенератор - аеростат

Для покращення ситуації по всьому світі компанії ведуть розробку нових типів вітрогенераторів, які зможуть працювати будь-де. Наприклад:



Рис.15. Вітрогенератор - аеростат.

У Канаді осінню 2009 р. запущено серійне виробництво вітрогенераторів (висотних вітрогенераторів, вітрогенераторів-аеростатів), що дрейфують в небі. Такі установки називаються MARS (Magenn Air Rotor System), потужність кожній складе 100 кВт. Вітрогенератори, що дрейфують в повітрі, по суті своїй ті ж аеростати, тільки виготовлені вони з метою перетворення енергії вітру в електрику. Установки, що доки дрейфують, здатні тільки на мікрогенерацію, але надалі, з розвитком технології, вони зможуть конкурувати з відомими на ринку моделями вітряків. У вітрогенераторів, що дрейфують, є декілька переваг перед звичайними вітряними турбінами:

- спрощена розгортка (тобто установка) системи;
- зниження витрат на розгортку;
- мобільність і гнучкість: є можливість переносити систему;
- покращення експлуатаційних характеристик.

#### 4.2 Мембранний вітрогенератор

Іншим видом новітньої розробки є «Мембранний вітрогенератор». Цей агрегат, створений стараннями інженерів компанії SaphonEnergy, працює за принципом парусника. Він сконструйований так, що «парус», який на фото більше схожий на тарілку, ловить вітер, перетворюючи енергію рухомої маси повітря в електрику. Завдяки напору вітру (навіть невеликого) вітрило коливається, сприяючи руху невеликих поршнів, розташованих у верхній частині системи.



Рис.16. Мембранний вітрогенератор.

Поршні, в свою чергу, запускають в роботу особливу гідравлічну систему, яка і перетворює кінетичну енергію в електрику. За словами розробників, Saphonian, так називається система, не містить ні трансмісій, ні «коробки передач». Крім того, така система практично не шумить. У той же час, ККД такої системи в 2,3 рази вище, ніж у звичайного

вітрогенератора. Крім того, витрати на підтримку системи в роботі на 45% нижче, ніж у випадку традиційної схеми роботи.

#### 4.3 Вітроелектростанція в вигляді стебел

Ще одне цікаве рішення по створенню незвичайної конструкції вітряної електростанції реалізується в Об'єднаних Арабських Еміратах. Недалеко від Абу-Дабі будується місто Мадсар, в якому планують звести досить незвичайну вітряну електростанцію, названу розробниками «Windstalk».

Засновник нью-йоркської дизайнерської компанії Atelier DNA, що розробляє дизайн даного проекту, сказав, що головною ідеєю було знайти в природі кінетичну модель, яка могла б служити для генерації електроенергії, і така модель була знайдена. 1203 стебла з вуглецевого волокна, кожен близько 55 метрів заввишки, з бетонними підставами шириною по 20 метрів, будуть встановлені на відстані 10 метрів між собою.

Стебла будуть армовані гумою, і мати ширину близько 30 см біля основи, а догори звужуються до 5 сантиметрів. Кожен такий стебло буде містити чергуються шари електродів і керамічних дисків, виготовлених з п'єзоелектричного матеріалу, який генерує електричний струм, коли піддається тиску.

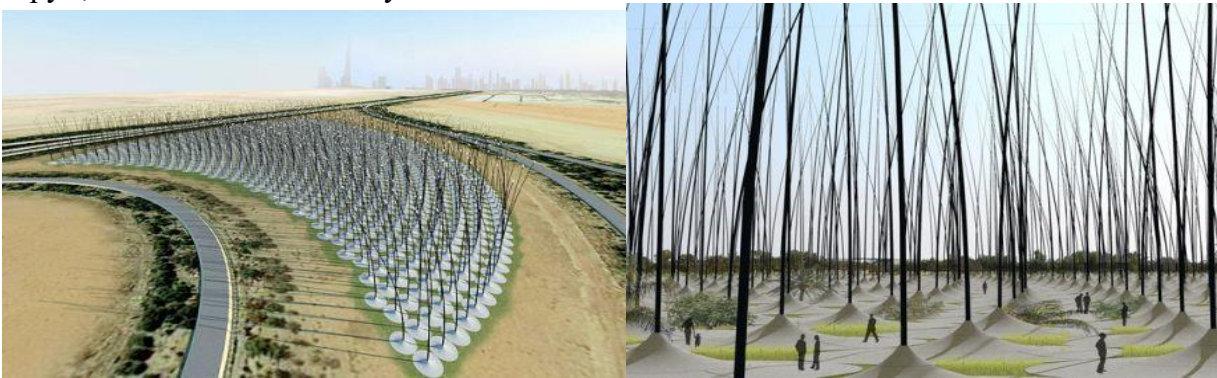


Рис.17. Вітроелектростанція в вигляді стебел.

Коли стебла будуть гойдатися на вітрі, диски будуть стискуватися, генеруючи електричний струм. Ніякого шуму лопатей вітряних турбін, ніяких жертв серед птахів, нічого крім вітру.

Ідея виникла завдяки спостереженню за хитними на болоті очеретами. Проект Windstalk компанії Atelier DNA посів друге місце в конкурсі LandArtGenerator, спонсорованим Мадсаром для вибору кращого, з числа міжнародних заявок, твори мистецтва, яке зможе генерувати енергію завдяки відновлювальним джерелам.

Площа, яку займає цю незвичайну вітряну станцію, охопить 2,6 гектара, а по потужності буде відповідати звичайному вітрогенератору, що займає аналогічну площу. Система ефективна через відсутність втрат на тертя, властивих традиційним механічним системам.

#### 5. Майбутнє вітроенергетики в Україні

В даний час на Україні спостерігається бурхливий розвиток вітроенергетичної галузі, обумовлене, в основному, прийняттям Верховною Радою України в 2009 р одного з найвищих в Європі зеленого тарифу на електроенергію, отриману на ВЕС потужністю понад 2 МВт. Цей тариф становить близько 11,3 євроцента за 1 кВт год і буде діяти аж до 2030 р.

Зараз в країні працює 16 ВЕС, включаючи ті, які були побудовані в рамках виконання Державної Комплексної програми з будівництва ВЕС (1997-2010 рр.). При цьому майже

третина (90 МВт) введених в експлуатацію ВЕС припадає на Запорізьку область, дещо менше - на Крим (близько 86 МВт) та Донецьку область (83 МВт).

Підводячи підсумок розгляду бурхливого розвитку вітроенергетики в Україні, зазначимо, що встановлена потужність вітчизняних ВЕС зросла за 2012 р майже вдвічі - до 301,8 МВт проти 151,1 МВт на кінець 2011 р Згідно з розрахунками Української вітроенергетичної асоціації (УВЕА), встановлена потужність національної вітроенергетики до кінця 2015 р може досягти 4000 МВт, а до кінця 2020 р - 5600 МВт.

Але нічого хорошого в цьому немає. Необхідно відзначити, що ВЕС - це екологічно дуже небезпечний об'єкт, і розміщувати їх можна тільки в неживих місцях: в напівпустелях, в затоці Сиваш, кримському півострові Мегон, Карпатах і подібних місцях. Справа в тому, що сучасний вітроустановки, в своїй масі, представляють собою недопрацьовані лабораторні зразки, які в гонитві за надприбутками пустили в серійне виробництво.



Рис.18. Горизонтально-осьовий вітрогенератор (ротор Оніпко).

### Висновки

Енергія вітру доступна практично в будь-якій країні й не залежить від коливання цін на викопне паливо, запаси якого невпинно скорочуються. За останні десятиріччя вартість вітрових електроустановок (ВЕУ), витрати на їх встановлення і обслуговування значно знизилися. В майбутньому ці витрати продовжуватимуть зменшуватися. Встановити невелику ВЕУ можуть дозволити собі навіть кінцеві споживачі, особливо в тих країнах, де існують дотації та пільги на розвиток вітроенергетики. Наприклад, у США існує система стимулювання, коли споживач, який за рахунок вітрових електроустановок виробляє більше енергії, ніж здатен спожити, може продавати її в енергетичну мережу за підвищеним тарифом.

Розширення світового ринку вітроенергетики призвело до значного падіння цін на енергію, що виробляється вітром. Сучасні ВЕУ щорічно виробляють у 180 разів більше електроенергії, ніж 20 років тому. При цьому кіловат виробленої енергії подешевшав щонайменше вдвічі. При вдалому розташуванні вітроенергетичні станції можуть конкурувати за економічними показниками з атомними і тепловими електростанціями (АЕС і ТЕС відповідно).

І хоча у вітрової енергетики є велика кількість переваг вона має чи мало недоліків, таких як:

- Необхідність розташування установок у певних районах із високою інтенсивністю вітру.
- Необхідності виведення з експлуатації земель, які могли б бути використані під інші види господарської та природоохоронної діяльності.
- Шумові впливи.
- Можлива шкода для птахів, кажанів, деяких інших видів тварин.
- Відносно високі питомі інвестиції у вітроенергетичні проекти в порівнянні з

традиційними галузями енергетики, що працюють на викопному паливі.

- Стробоскопічний ефект у північних регіонах.

Таким чином, можна зрозуміти, що вітрова енергетика має величезний потенціал, але як і всі види отримання енергії потребує чималих доопрацювань для зменшення шкоди навколишньому середовищу та збільшення ефективності.

#### **Перелік посилань**

1. Я.І.Шефтер. Винахідникові про вітродвигуна та вітроустановках / Я.І. Шефтер,І.В. Різдяний.- Мін. Сільського госп-ва СРСР,1957. - 150с.
2. В.Г.Лабейш, Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии / В.Г.Лабейш. - СЗТУ, 2003. - 245с.
3. Гусак С.І. Енергія вітру: вчора, сьогодні, завтра // Альтернативна енергетика та екологія. 2009. № 7 (75). С. 65-68.
4. Гужулев Е.П. Нетрадиційні і поновлювані джерела енергії: навч. посібник. Омськ: ОмГТУ, 2006. 272 с.
5. Бубенчиков А. А., Киселёв Г. Ю., Скороходов В. И., Боева Л. В., Киселёв Б. Ю., Шкандюк Д. О. Ветроэнергетика как источник электрической энергии // Молодой ученый. — 2016. — №28.2. — С. 35-38.
6. Долгоульській А., Сайдамагов Е. - Бішкек: Альтернативні джерела енергії, 2007.
7. Григораш О.В., Военцов Д.В. Вітроенергетичні станції - стан і перспективи // Прикладні завдання електромеханіки, енергетики, електроніки. Інженерні ідеї ХХІ століття: тр. Всерос. студ. наук.-техн.
8. Проблеми вітроенергетики [Електронний ресурс] URL: [http:// www. solarhome. ru](http://www.solarhome.ru)
9. ВЕС [Електронний ресурс] URL: <http://www.eng-stroy.ru>

УДК 697.1

**Максименко О.Е.**, аспірант, *наук. керівник: Дешко В.І.*, д. техн. наук, проф.  
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені  
Ігоря Сікорського», Україна

## АНАЛІЗ ТОЧКОВОЇ ІНДИВІДУАЛЬНОЇ ТЕРМОСАНАЦІЇ ОГОРОДЖУЮЧИХ КОНСТРУКЦІЙ БАГАТОКВАРТИРНИХ ЖИТЛОВИХ БУДИНКІВ

*Сучасний стан багатоквартирних житлових будинків (ЖБ), побудованих до кінця 90-х років, потребує повної або часткової модернізації та значного підвищення енергоефективності. При термомодернізації ЖБ основна увага приділяється: вдосконаленню архітектурних та об'ємно-планувальних рішень будівель та їх приміщень; підвищенню ефективності роботи системи опалення, водопостачання та кондиціонування повітря; оптимальному використанню природного освітлення. Однак найбільш відповідальним етапом енергозбереження є термосанація зовнішніх огороджуючих конструкцій.*

*Слід відзначити, що вплив утеплення на опалення потребує додаткового вивчення. При цьому раціональним може бути поєднання експериментального визначення умов комфортності з математичним моделюванням теплових процесів у конструкції будівлі та системі опалення. Виходячи з цього, в роботі проведено аналіз впливу комплексного та «кляптикового» утеплення на температурні умови окремих приміщень та режимів системи опалення при експлуатації типових багатоквартирних будинків.*

**Ключові слова:** теплове навантаження, витрата теплоносія, багатоквартирні будинки, точкова модернізація, умови комфортності, система опалення.

The current state of multi-apartment residential buildings built up to the end of the 1990s requires full or partial modernization and a significant increase in energy efficiency. At the thermo-modernization of the housing stock, the main attention is paid to: improvement of architectural and bulk-planning decisions of buildings and their premises; increase of efficiency of the heating system, water supply and air conditioning; optimal use of natural light. However, the most important stage of energy conservation is the thermal sensing of external enclosing structures.

There are two types of insulation: complex and "shred" ("patchy"). Most of the mistakes that lead to a decrease in the heat-shielding properties and operational reliability of the insulated constructions are due to the "shred" insulation. When doing such insulation, residents increase the comfort conditions in the apartment, but if the apartment doesn't have a heat meter and the possibility of regulating its consumption - it will not affect the payment for heating. It should be noted that the effect of insulation on the heating needs to be further studied. At the same time, a combination of experimental determination of comfort conditions with mathematical modeling of thermal processes in the construction of a building and heating system can be rational. Proceeding from this, in the work the analysis of the influence of complex and "shred" insulation on the temperature conditions of separate premises and modes of heating system during operation of typical multi-apartment buildings has been carried out.

**Keywords:** heat load, heat transfer volume, multi-apartment residential buildings, point modernization, comfort conditions, heating system.

### Вступ

Підвищення енергетичної ефективності об'єктів житлово-комунального господарства є

одним із стратегічно важливих завдань державної політики України, адже на їх опалення витрачається більше 40% всіх паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР) [1]. Досягти зниження витрат ПЕР можна тільки при системному підході до управління та аналізу ефективності.

На сьогодні відбувається гармонізація нормативної бази України з європейською, ведеться співпраця з міжнародними фінансовими організаціями для залучення іноземних інвестицій в рамках міжнародних проектів; активно використовуються інструменти софінансування (Фонд енергоефективності, регіональні, місцеві програми), створюються муніципальні системи енергетичного менеджменту та енергомоніторингу [2]. Серед інструментів державного впливу на енергоефективність будівельного фонду можна вказати також наступні: удосконалення законодавчої та нормативно-правової бази, ліцензії, сертифікація діяльності (наприклад, енергоаудиторської), ціноутворення та тарифна політика (в тому числі на енергоносії), податкові та кредитні пільги тощо.

Значну частину будівельного фонду було зведено за часів масового серійного будівництва 90-х років, тому енергоємність комунальних послуг на сьогодні є дуже високою і майже вдвічі перевищує показники розвинених країн. Наприклад, Україна використовує в п'ять разів більше енергії, ніж Німеччина, а в порівнянні з Польщею – витрачає в три рази більше енергії не тільки на опалення, а й на освітлення і побутове споживання будівель [3].

Одним з інструментів досягнення енергоефективності у житловому секторі – є впровадження заходів на рівні кінцевих споживачів, якими можуть бути як власники приватних будинків, так і ОСББ, ЖБК та інші форми об'єднання.

При термомодернізації багатоквартирних житлових будинків основна увага приділяється: вдосконаленню архітектурних та об'ємно-планувальних рішень будівель та їх приміщень; підвищенню ефективності роботи системи опалення, водопостачання та кондиціонування повітря; оптимальному використанню природного освітлення.

Однак найбільш відповідальним етапом енергозбереження є термосанация зовнішніх огорожуючих конструкцій (ОК). Існує два види утеплення: комплексне та «кляптикове» («латкове»). Більшість помилок, що призводять до зниження теплозахисних властивостей і експлуатаційної надійності утеплених конструкцій пов'язано саме з «кляпковим» утепленням, коли шар утеплювача монтується навколо однієї окремої квартири або декількох сусідніх квартир. Роблячи таке утеплення мешканці підвищують умови комфортності в квартирі, але якщо в квартирі відсутній прилад обліку тепла та можливість регулювання його споживання – це не вплине на сплату за опалення. Слід відзначити, що вплив цього виду утеплення на опалення потребує додаткового вивчення. При цьому раціональним може бути поєднання експериментальне визначення умов комфортності з математичним моделюванням теплових процесів у конструкції будівлі та системі опалення. Можливими недоліками є також і втрати тепла через сусідні неутеплені квартири, і створення "містків холоду", які сприяють утворенню плісняви і грибка. Окрім вищезгаданого, «латкове» утеплення є ще й забороненим не тільки в Україні [4], а й в країнах Західної Європи та Польщі.

#### **Мета та завдання**

*Метою роботи* є аналіз впливу комплексного та «кляпкового» утеплення на температурні умови окремих приміщень та режимів системи опалення (СО) при експлуатації типових багатоквартирних будинків.

Для досягнення поставленої мети були поставлені наступні *завдання*: 1) провести аналіз результатів енергоаудиту типової багатоквартирної будівлі; 2) розробити математичну модель для визначення теплового стану приміщень будівлі з вертикальною однотрубною системою опалення; 3) визначити вплив «кляпкового» утеплення на рівень параметрів опалення і температур приміщення.

#### **Матеріал та результати досліджень**

*Опис об'єкту досліджень.* В якості об'єкту проведення енергоаудиту було вибрано окремо розташовану житлову багатоквартирну будівлю у м. Києві (1993 року забудови). Будівля являє собою 12-поверхову споруду, побудовану за індивідуальним проектом з панельним перекриттям, цегляними стінами та лоджіями без складних архітектурно-планувальних чи конструктивних рішень. Будинок має 4 під'їзди, сумарно 175 квартир (431 кімната), загальною опалювальною площею 12429 м<sup>2</sup>. СО – вертикальна однотрубна, з проточною схемою підключення приладів опалення (радіатори типу МС–140), тепловий пункт з елеваторним вузлом та теплолічильником). В якості моделі обране житлове приміщення, характеристики ОК якого наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Характеристика огорожувальних конструкцій об'єкту дослідження

| Конструктивний елемент       | Опис (товщини $\delta$ , м та коефіцієнти теплопровідності $\lambda$ , Вт/м·°C)                                             | Термічний опір $R$ , (м <sup>2</sup> ·°C)/Вт | Площі $F$ , м <sup>2</sup> |
|------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------|
| Зовнішні стіни               | Плитка керамічна (0,02 ; 0,64)<br>розчин бетонний (0,01 ; 0,93)<br>цегла пустотіла (0,51 ; 0,58)<br>шпаклівка (0,05 ; 0,81) | 1,14                                         | 5,35                       |
| Зовнішня стіна з утеплювачем | Мінеральна вата (0,10 ; 0,058)                                                                                              | 2,86                                         | 5,35                       |
| Вікна                        | Однокамерні склопакети з ПВХ профілем,<br>дерев'яні (близько 20%)                                                           | 0,34                                         | 1,8                        |

Загальний вигляд зовнішніх огорожень будівлі показано на рис.1.



Рисунок 1 – Загальний вигляд зовнішніх стін будівлі ОСББ

Проведено визначення фактичної температури подачі та зворотної води в СО будинку по отриманим даним теплолічильника за 1,5 року. Встановлено, що температурний графік подачі теплоносія не відповідає проектному і не забезпечує належних умов комфортності в приміщеннях, а також невідповідність фактичної температури води в зворотному трубопроводі СО, що свідчить про зменшення фактичної витрати теплоносія від проектної

(майже в 1,2 рази) і недотримання комфортних умов в приміщенні.

Враховуючи цю ситуацію, деякі з жильців проводили точкову індивідуальну термосанацію огорожуючих конструкцій своїх квартир. Типовим є використання шару утеплювача мінвата товщиною 10 см, що не дозволяє досягти мінімально допустимого опору теплопередачі для зовнішніх стін, що становить  $3,3 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$  для І температурної зони [5]. Дана ситуація є типовою для багатоквартирних будинків, тому для її аналізу розроблена математична модель та проведено ряд розрахунків, які наведені далі.

*Опис моделі.* Для досягнення поставленої мети було створено математичну модель, реалізовану в програмному середовищі Mathcad. В моделі розглядається стояк одноконтурної СО з нерегульованими опалювальними приладами (ОП), який проходить через однакові житлові приміщення 12-типоверхового будинку. Ця модель дозволяє визначити температури теплоносія на вході та виході з ОП, тепловий потік від ОП та внутрішню температуру повітря в приміщеннях.

Модель представляє собою систему рівнянь теплового балансу: теплопередачі від приладу опалення до повітря у кімнаті (1), від кімнати назовні (2) та теплового потоку від води до ОП (3), записану для стояка одноконтурної СО. Приймалося, що внутрішні тепло надходження у приміщенні відсутні.

$$Q = Q_p \cdot \left[ \frac{t_n + t_{36} - t_{6H}}{70} \right]^{1,3}$$

$$Q = h \cdot (t_{6H} - t_{36H})$$

$$Q = m \cdot c \cdot (t_n - t_{36})$$
(1-3)

де  $Q_p$  – номінальний тепловий потік ОП при  $\Delta t = 70^\circ\text{C}$ ,  $\text{кВт}/\text{м}^2$ ;

$\square t = \frac{t_n + t_{36}}{2}$  – середня температура ОП,  $^\circ\text{C}$ ;

$t_n$  – температура теплоносія на вході в ОП,  $^\circ\text{C}$ ;

$t_{36}$  – температура теплоносія на виході з ОП,  $^\circ\text{C}$ ;

$t_{6H}$  – внутрішня температура повітря в приміщенні,  $^\circ\text{C}$ .

$t_{36H}$  – зовнішня температура повітря в приміщенні,  $^\circ\text{C}$ ;

$m$  – витрата теплоносія через стояк,  $\text{кг}/\text{с}$ ;

$c = 4,183 \text{ кДж}/\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}$  – питома теплоємність теплоносія (води).

$h$  – приведений коефіцієнт теплової провідності огороження, визначається згідно характеристик огорожувальних конструкцій, наведених в таблиці 2 та формулою (4) [6,7],  $\text{Вт}/\text{К}$ .

$$h = h_{tr} + h_{vent},$$
(4)

де  $h_{tr}$  – загальний коефіцієнт теплопередачі зовнішніх огорожувальних конструкцій,  $\text{Вт}/\text{К}$ ;

$h_{vent}$  – загальний коефіцієнт теплопередачі вентиляцією,  $\text{Вт}/\text{К}$ .

$$h_{tr} = \sum_{j=1}^m A_s \cdot \frac{1}{R_{se} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + R_{is}} + U_w \cdot A_w$$
(5)

де  $R_{is} = 0,17 \text{ (м}^2 \cdot \text{К)}/\text{Вт}$  – тепловий внутрішній поверхневий опір [7];

$R_{se} = 0,043 \text{ (м}^2 \cdot \text{К)}/\text{Вт}$  – тепловий зовнішній поверхневий опір [7];

$U_w = 2,94 \text{ Вт}/\text{(м}^2 \cdot \text{К)}$  – коефіцієнт теплопередачі світлопрозорого огороження [8];

$A_s, A_w$  – площі світлопрозорих та непрозорих огорожень відповідно;

$\delta$  – товщина  $i$ -го шару елементу непрозорої конструкції, м;  
 $\lambda$  – теплопровідність матеріалу  $i$ -го шару непрозорої конструкції, Вт/(м<sup>2</sup>К);  
 $n$  – кількість шарів конструкції;  
 $i$  – порядковий номер шару конструкції;  
 $m$  – кількість зовнішніх непрозорих елементів огорожень через які втрачається тепло;  
 $j$  – порядковий номер зовнішніх непрозорих огорожень.

$$h_{vent} = 0,34 \cdot V \cdot n \quad (6)$$

де  $V = 30,6 \text{ м}^3$  – внутрішній об'єм приміщення,  
 $n = 1 \text{ год}^{-1}$  – кратність повітрообміну.

*Результати розрахунків.* Розрахунки проведено для даних, представлених в таблиці 2. Фактична витрата води через стояк 0,084 кг/с. При температурі зовнішнього повітря відповідно -18°C та 0°C температура подачі теплоносія в стояк: 68,8°C та 50,9°C відповідає фактичному температурному графіку з урахуванням охолодження води в подавальному трубопроводі від тепlopункту.

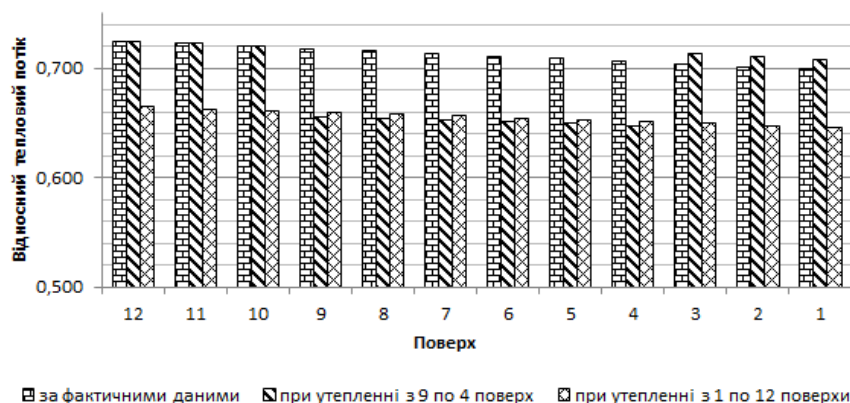
Таблиця 2 – Вихідні дані для розрахунків

|                                                                  |       |      |
|------------------------------------------------------------------|-------|------|
| Температура зовнішнього повітря $t_{зовн}, ^\circ\text{C}$       | -18   | 0    |
| Температура подачі теплоносія в стояк $t_n, ^\circ\text{C}$      | 68,8  | 50,9 |
| Витрата теплоносія через стояк $m, \text{кг/с}$                  | 0,084 |      |
| Коефіцієнт теплової провідності огороження $h,$<br>$\text{Вт/К}$ | 17,6  | 14,4 |

Проведено три варіанти розрахунків поповерхового розподілу температур та теплових потоків в приміщеннях:

- 1) для коефіцієнта теплопровідності огорожень, розрахованого відповідно до норм забудови будинку;
- 2) для коефіцієнта теплопровідності огорожень, перерахованого для «кляптикового» утеплення стін з 9 по 4 поверх шаром мінвати 10см;
- 3) у випадку комплексного утеплення будинку з 1 по 12 поверхи.

Результати розрахунків теплових потоків у приміщеннях, у віднесені до  $Q_p=0,740 \text{ кВт}$ , що відповідає розрахунковим даним, наведено на рис.2.



а) при зовнішній температурі повітря -18°C



б) при зовнішній температурі повітря  $0^{\circ}\text{C}$

Рисунок 2 – Відносні теплові потоки ОП, які розташовані на різних поверхах в залежності від виду утеплення

При фактичних температурі подачі та витраті теплоносія відносно значення теплового потоку від ОП при  $t_3 = -18^{\circ}\text{C}$  складає від 0,724 до 0,700 (рис. 2,а). За умови «клатикового» утеплення цей потік зменшується від 0,718 до 0,655 на 9-му поверсі і від 0,707 до 0,647 – на 4-му. Тепловий потік у випадку комплексного утеплення – 0,665 ... 0,646.

Для середніх температур опалювального сезону відносно значення фактичного теплового потоку ОП майже не змінюється на першому поверсі в порівнянні з 12-м і становить 0,386 (рис. 2,б). При «клатиковому» утепленні спостерігається зменшення теплового потоку з 9 по 4 поверхи (0,355) і збільшення на нижніх поверхах – 0,389. При комплексному утепленні відбувається зниження теплового потоку на 8% в порівнянні з фактичними даними (0,357).

Аналогічний аналіз проводився для температур повітря в приміщеннях (рис.4). При фактичних даних, отриманих при енергоаудиті об'єкту встановлено, що температура повітря в приміщеннях при ( $t_3 = 0^{\circ}\text{C}$ ) в середньому становить  $16,2^{\circ}\text{C}$ . за даними розрахунків при «клатиковому» утепленні: з 12 по 10 поверх – температура залишається незмінною; з 9 по 4 – підвищується на  $2,1^{\circ}\text{C}$ ; а з 3 по 1 – зменшується на  $1,9^{\circ}\text{C}$ . У випадку комплексної модернізації спостерігається підвищення температур повітря на  $2,1^{\circ}\text{C}$  порівняно з фактичними даними на всіх поверхах ( $18,3^{\circ}\text{C}$ ).

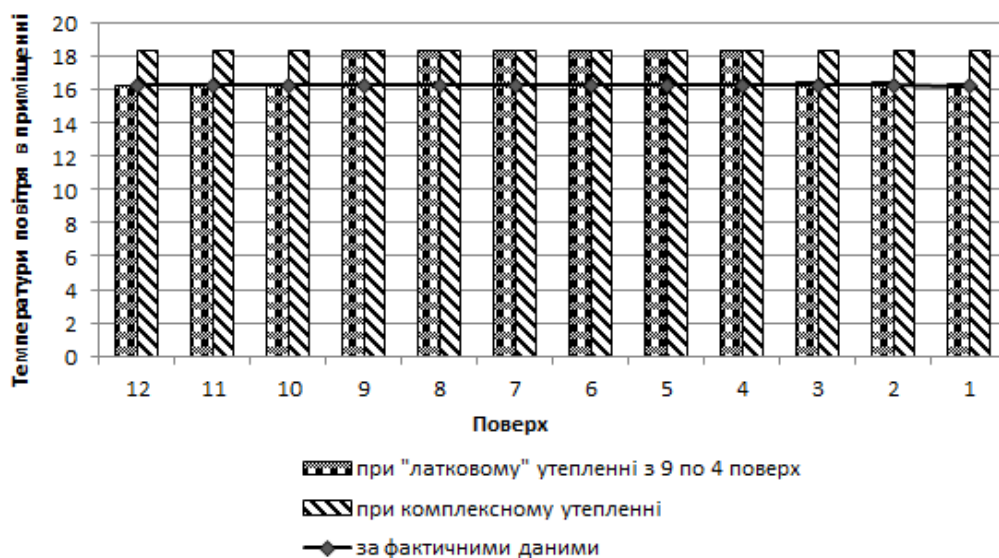


Рисунок 3 – Температури повітря в приміщеннях

### Висновки

В роботі проведено аналіз впливу утеплення на умови комфортності та зниження енергоспоживання в типовій багатоквартирній будівлі. Розглянуто варіанти 50 % та 100% утеплення стін. В останньому випадку для розглянутих умов спостерігається економія теплової енергії на потреби опалення 8%. Ця економія могла би бути більшою при використанні світлопрозорих елементів конструкцій з кращими теплотехнічними показниками та зменшених втратах з повітрообміном.

«Клаптикове» утеплення з 9 по 4 поверхи додатково призвело до покращення показників комфортності на 3-1 поверсі (внутрішня температура зросла всього на 0,2°C). Отримані результати можуть бути використані при визначенні розподілу загально будинкової вартості опалення між окремими мешканцями. «Клаптикове» утеплення призводить до зменшення споживання для утеплених квартир (8%) та збільшення споживання енергії і, відповідно, плати мешканцями нижніх поверхів (понад 1% для середніх температур зовнішнього повітря).

*Перспективи подальших досліджень.* Врахування в моделі теплоінерційних особливостей, можливості перетоків між суміжними приміщеннями та врахування додаткових теплонаходжень.

### Список літератури

1. Лавінська З., Саницька О. Соціально-екологічні аспекти енергозбереження в житлово-комунальному секторі. “GEODESY, ARCHITECTURE & CONSTRUCTION 2009” (GAC-2009), 14-16 MAY 2009, LVIV, UKRAINE. P.75-77.
2. Шовкалюк М.М., Леконцева О.Е. Розвиток програм стимулювання підвищення енергоефективності будівель в Україні / Збірник наук. праць V Міжнар. наук.-техн. та навч.-метод. конф. у м. Києві 17-12.04.2018р., с.116-117.
3. Офіційний сайт НКРЕКП (Національна комісія, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг), [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <http://www.nerc.gov.ua>
4. ЗУ «Про особливості здійснення права власності у багатоквартирних будинках» №417-8, від 10.06.2018 р., Цивільний кодекс України ч. 2 ст. 382 в редакції Закону № 417-8, від 14.05.2015.
5. ДБН В.2.6-31:2016. Теплова ізоляція будівель. К.: Мінбуд України, 2017. 37 с.
6. EN 12831:2003. Heating system in buildings – Method for calculation of the design heatload. – CEN. – European Committee for Standardization. – 2003.
7. ДСТУ Б А.2.2-12:2015. Енергетична ефективність будівель. Метод розрахунку енергоспоживання при опаленні, охолодженні, вентиляції, освітленні та гарячому водопостачанні [Уведений вперше; чинний від 2015.01.01]. К. Мінрегіонбуд України, 2016. 205 с.
8. ДБН В.2.6-31:2006. Конструкції будинків та споруд. Теплова ізоляція будівель [На заміну СНиП II-3-79; чинний від 2007.04.01]. К.: Мінбуд України, 2006. 64 с.

УДК 621.472

Аспірант 1 курсу, **Бондаренко В.В.**, 0000-0001-9589-3873

Науковий керівник: **Студенець В.П.**, к.т.н., доц.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

## ТЕРМОДИНАМІЧНИЙ НАКОПИЧУВАЧ ЕНЕРГІЇ ТА ПОВІРКОВИЙ РОЗРАХУНОК ЙОГО ЕФЕКТИВНОСТІ.

*Розглянуто термодинамічний накопичувач енергії та можливості його застосування. Виконано повірковий розрахунок його ефективності. Отримані результати порівняно з ефективністю накопичувача за іншими джерелами. Виявлено шляхи підвищення ефективності акумулятора.*

**Ключові слова:** термодинамічний накопичувач енергії, акумулятор, матеріали з фазовим переходом.

## THERMODYNAMIC ACCUMULATOR OF ENERGY AND VERIFICATION THEIR EFFICIENCY.

*The thermodynamic energy storage and possibilities of its application are considered. Verification of its efficiency is done. The results are compared to results from other sources. The ways of increasing the efficiency of the storage are revealed.*

**Keywords:** thermodynamic energy storage, accumulator, phase-change material.

### Вступ

Будь-яка електрична мережа завантажена нерівномірно. Як правило, вранці та ввечері виникають піки споживання, які необхідно компенсувати. Це можливо зробити з допомогою акумулювання енергії під час спадів споживання та її використання під час піків. Існує багато методів акумулювання електроенергії, але у великих масштабах використовується тільки ГАЕС. Термодинамічне накопичення енергії є перспективним типом акумулювання, оскільки воно може бути використане без прив'язки до географічного розташування та є більш компактним за ГАЕС. При цьому його теоретично розрахована ефективність не поступається відповідному показнику ГАЕС [1, 2].

### Мета роботи

Аналіз можливостей застосування термодинамічного накопичувача енергії та повірковий розрахунок його ефективності.

### Аналіз стану питання

Будь-яка система постачання енергії складається із джерела первинної енергії, підсистеми перетворення енергії і споживачів перетвореної енергії. У системі можуть виникати невідповідності — як у часі, так і у просторі — між виробництвом енергії і споживанням. Подолання цих невідповідностей є основною метою акумулювання енергії.

Термодинамічний накопичувач енергії має широке застосування.

В енергосистемах:

- Згладжування добової нерівномірності навантаження енергосистем за рахунок накопичення енергії в період нічного провалу споживання і видачі енергії в період денних піків споживання.

Разом з маломаневреними генеруючими потужностями:

- Адаптація маломаневрених базових генеруючих потужностей, наприклад, таких як АЕС, до енергосистем зі значною змінною складовою в графіку споживання.

Спільно зі споживачами зі значною змінною складовою в графіку споживання:

- Підвищення середньої пропускної спроможності для ЛЕП, що живлять споживачів нерівномірним графіком споживання електроенергії.

- Зниження потужності підключення для споживачів з нерівномірним графіком споживання електроенергії.

Спільно з генеруючими потужностями на поновлюваних джерелах енергії:

- З вітроелектростанціями

- З сонячними електростанціями на фотоелементах.

До інших задач акумулювання енергії належать:

- забезпечення резерву на випадок раптового припинення роботи установок, особливо на період запуску резервних установок;

- регулювання або буферне акумулювання при високих амплітудах зміни навантаження, що дозволяє покривати навантаження при невеликих градієнтах зміни потужності первинного джерела енергії;

- акумулювання енергії поблизу місця її споживання для зменшення піків навантаження і вартості системи енергопостачання не тільки в частині перетворення енергії, а також при її розподіленні, за допомогою мереж [3].

### **Принцип роботи накопичувача**

Робота накопичувача складається з трьох почергових процесів: зарядка, зберігання, розрядка.

Зарядку в свою чергу можна розділити на наступні етапи:

- Отримання накопичуваної механічної (електричної) енергії від зовнішнього джерела.

- Перетворення механічної (електричної) енергії в високотемпературну і низькотемпературну теплову енергію в тепловому насосі з газовим робочим тілом (замкнутий зворотний рекуперативний цикл Брайтона).

- Передача теплової енергії рідким теплоносіям, в яких отримана теплова енергія зберігається.

Відповідно розрядку можна розділити на:

- Передача теплової енергії, накопиченої в рідких теплоносіях, теплової машині з газовим робочим тілом (замкнутий рекуперативний цикл Брайтона).

- Перетворення теплової енергії в механічну (електричну) в тепловій машині.

- Передача повертається механічної (електричної) енергії споживачу.

Робочим тілом теплового насоса і теплової машини може бути повітря, азот, аргон, або газові суміші на його основі.

У термодинамічному накопичувачі енергії можуть бути використані різні теплоносії, від характеристик яких буде залежати ефективність накопичувача.

У джерелах пропонується два варіанти матеріалів, що можуть бути використані для акумулювання:

1. Консервативний варіанту реалізації(використовується у подальших розрахунках:

- Високотемпературний теплоносій - наприклад, розплав суміші нітрату натрію та нітрату калію (так звана «сонячна сіль», «solar salt», 60%  $\text{NaNO}_3$ , 40%  $\text{KNO}_3$ ).

- Низькотемпературний - наприклад, водно-сольові (форміатні, або ацетатні антифризи), або водно-спиртові (наприклад, водно-метанольна) суміші, або спирти (наприклад метанол) з температурою замерзання до  $-55^\circ\text{C}$  і нижче.

2. Екстремальний варіант реалізації:- Високотемпературний - металевий натрій, калій, або їх сплав (до  $700^{\circ}\text{C}$  і вище).- Низькотемпературний - наприклад, пропан, або бутан, або пентан, або їх суміш (до  $-120^{\circ}\text{C}$  і нижче).  
Принцип роботи термодинамічного накопичувача енергії під час його зарядки та розрядки зображено відповідно на рисунках 1-2.

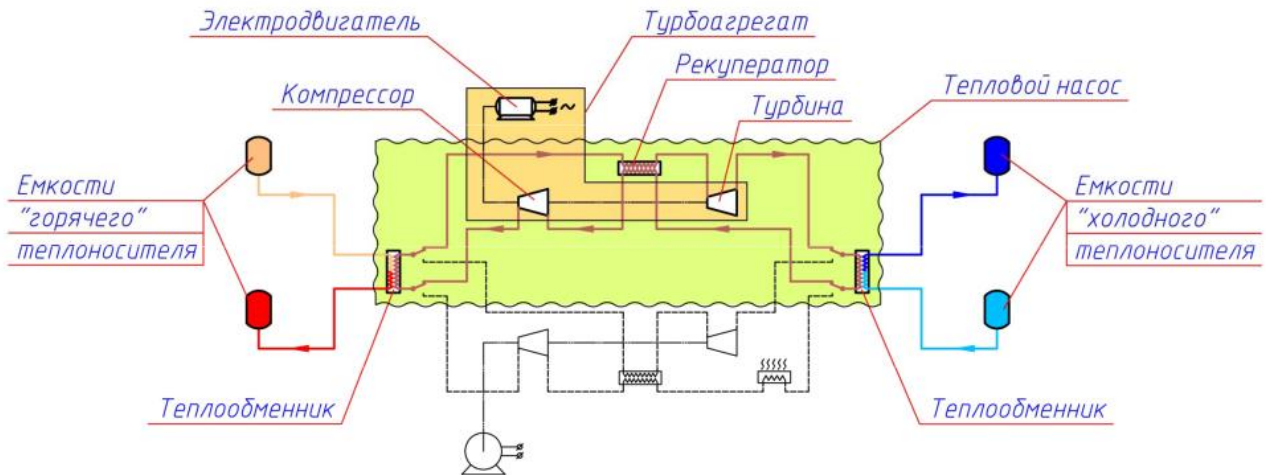


Рис. 1 – Схема термодинамічного акумулятора енергії під час накопичення енергії [1].

Під час накопичення енергії працює частина контуру газоподібного робочого тіла, виконана як тепловий насос. Накопичувана електроенергія підводиться до клем двигуна турбоагрегату. Турбіна, що знаходиться на одному валу з компресором, частково покриває споживання енергії на компресорі. Гарячий теплоносій нагрівається. Холодний теплоносій охолоджується.

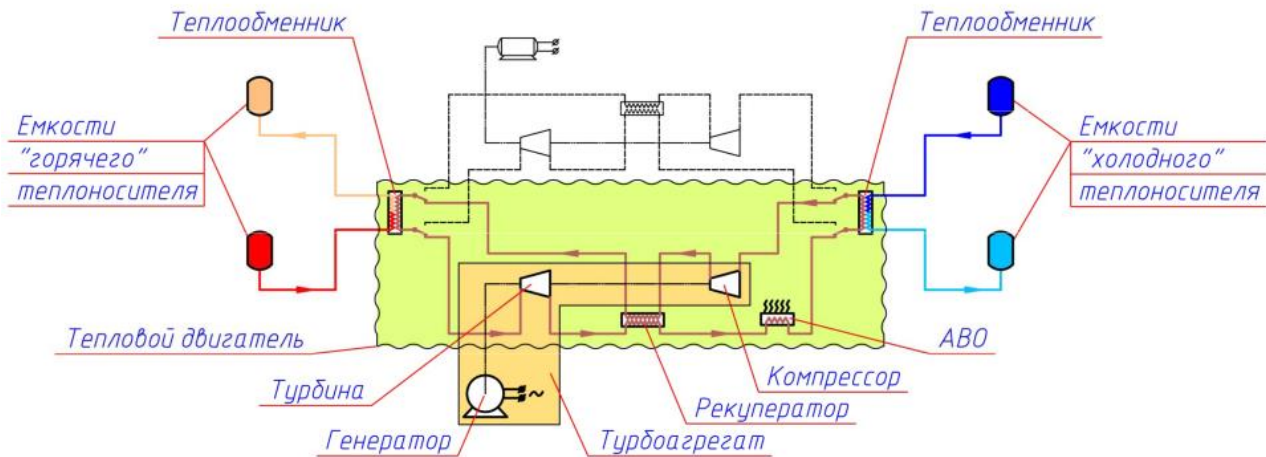


Рис. 2 – Схема термодинамічного акумулятора енергії під час повернення енергії [1].

Під час повернення енергії працює частина контуру газоподібного робочого тіла, виконана як тепловий двигун. Електроенергія, що повертається назад, відбирається від клем генератора турбоагрегату. Компресор отримує необхідну для роботи енергію від турбіни, що знаходиться з ним на одному валу. Гарячий теплоносій охолоджується. Холодний теплоносій нагрівається.

У джерелах [1, 2] приведено результати розрахунків характеристик теплоносія у різних точках циклу, що зображено на рисунках 3-4.

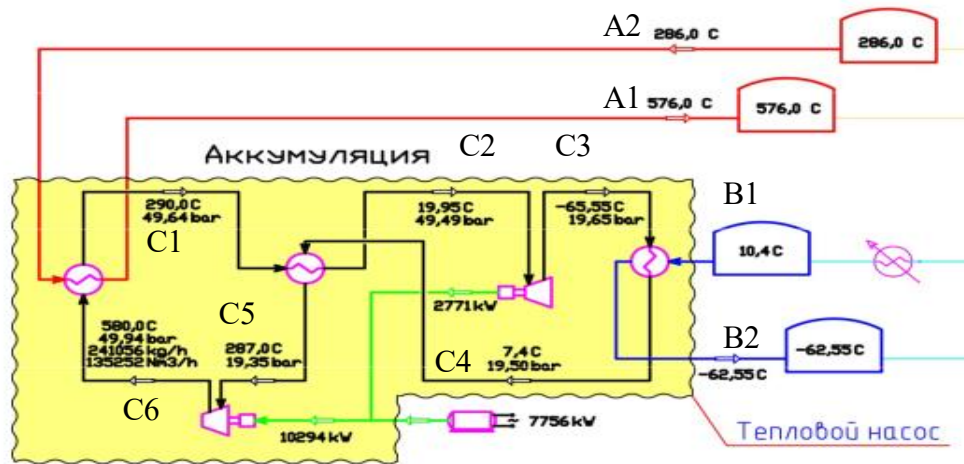


Рис. 3 – Характеристики теплоносія під час накопичення енергії [1].

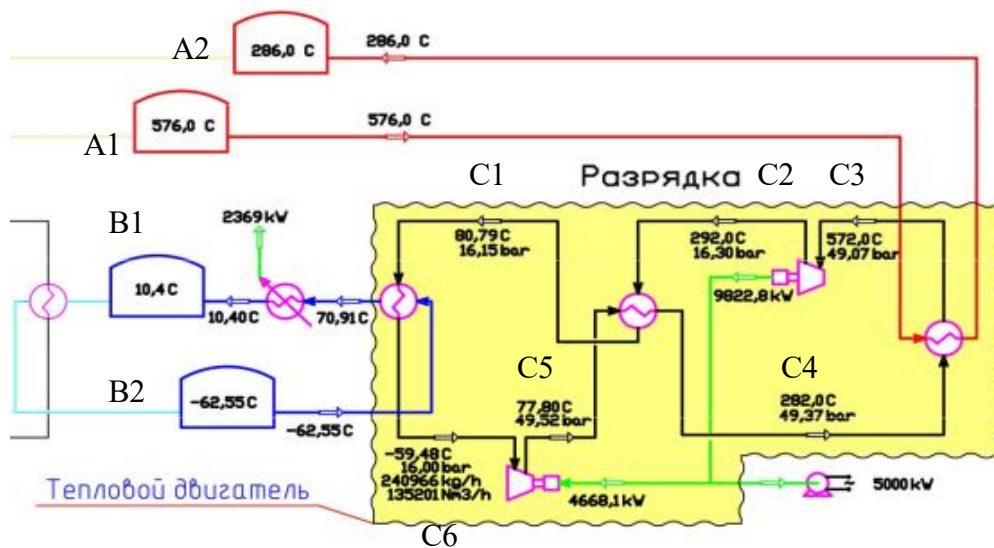


Рис. 4 – Характеристики теплоносія під час віддачі енергії [1].

### Повірковий розрахунок ефективності термодинамічного накопичувача енергії

Відповідно до даних одержаних з джерела [1], а саме температури, тиску, масової витрати теплоносія у кожній точці циклу було розраховано теплову енергію кожного процесу циклу. Теплота, що була віддана або отримана теплоносієм в результаті кожного процесу була розрахована за формулою.

$$Q = cm(t_{\text{кін}} - t_{\text{поч}}),$$

де:

$Q$  — тепловий потік, Вт;

$c$  — питома теплоємність, кДж/кг/К;

$t_{\text{кін}}$ ,  $t_{\text{поч}}$  — кінцева та початкова температура теплоносія, °C;

$m$  — масова витрата теплоносія, кг/с.

Результати розрахунків представлені у таблиці 1.

Таблиця 1 – Теплові потоки процесів.

| процес | накопичення енергії | повернення енергії |
|--------|---------------------|--------------------|
|        | Q, кВт              | Q, кВт             |
| A1-A2  | 9931                | 9931               |
| B1-B2  | 2764                | 2764               |
| C6-C1  | 9931                | 5133               |
| C1-C2  | 9842                | 7520               |
| C2-C3  | 3235                | 9581               |
| C3-C4  | 2764                | 9931               |
| C4-C5  | 10207               | 7277               |
| C5-C6  | 10037               | 5025               |

Точки A1, A2, B1, B2, C1, C2, C3, C4, C5, C6 позначені на рисунках 3-4. Таким чином під час накопичення енергії системі передається енергія C5-C6, враховуючи електричний ККД, що дорівнює 97% та адіабатичний ККД компресора — 88%, системі необхідно передати 11759 кВт енергії. Але оскільки під час процесу C2-C3 частина енергії системи (2887 кВт враховуючи Електричний ККД та ККД турбіни) була передана через детандер компресору, отже ззовні системі було надано різницю між енергією, що підведена під час C5-C6, та енергією, що отримана під час C2-C3, тобто 8872 кВт.

Під час повернення енергії корисна енергія дорівнює різниці між енергією процесу C2-C3 та енергією процесу C5-C6. Враховуючи подвійне перетворення з механічної енергії у електричну та назад, корисна енергія дорівнює 2664 кВт.

Таким чином ККД установки складає 30%, що значно менше за результати, що отримано під час розрахунків у джерелах [1, 2].

### Висновки

ККД термодинамічного накопичувача енергії відповідно до розрахунків складає 30%, що значно менше за дані отримані у попередніх розрахунках та ККД ГАЕС. При цьому очевидними є можливості збільшення ефективності накопичувача. По-перше, можливе уникнення подвійних перетворень енергії. Наприклад, під час передачі енергії від процесу C2-C3 до C5-C6 відбувається перетворення механічної енергії в електричну з допомогою турбогенератора, а потім знову перетворення електричної енергії у механічну з допомогою компресору. Таким чином втрачається близько 6% механічної енергії процесу C2-C3. Також можливе використання речовин для холодних та гарячих акумуляторів з більшою різницею температур, що дозволить збільшити термодинамічний ККД циклу.

### Література

1. А.П. Самойлов, В.Н. Блашук. Термодинамический накопитель энергии как альтернатива ГАЭС. Октябрь. 2013.
2. Т. Скоренко. Популярная механика, № 12, 2014г. – с.72-76.

### References

- 1) A.P/ Samoilov, V.N. Blaschuk. Thermodynamic energy storage as an alternative to PSP. October. 2013.
- 2) T. Skorenko. Popular mechanics, № 12, 2014г. – с.72-76

УДК 621.311.243

Магістрант гр. ОТ-81мп А.А. Лівіщенко, В.І. Шкляр к.т.н., доц.,  
В.В. Дубровська к.т.н., доц.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря  
Сікорського»

## ВИКОРИСТАННЯ ТВЕРДОПАЛИВНИХ ПЕЛЕТНИХ КОТЛІВ ДЛЯ СИСТЕМИ ОПАЛЮВАННЯ СЕРЕДНЬОЇ ЗАГАЛЬНООСВІТНЬОЇ ШКОЛИ № 121.

*Анотація. В даній статті для модернізації системи опалення та підвищення рівня енергоефективності розглядається можливість використання твердопаливного пелетного котла з автоматичною подачею палива.*

*Ключові слова: енергоефективність, котельня, теплозабезпечення, енергозбереження.*

## THE USE OF SOLID FUEL PELLET BOILERS FOR HEATING SYSTEM OF SECONDARY SCHOOL № 121.

*Annotation. In this article, the possibility of using a solid fuel pellet boiler with automic fuel supply is considered for the modernization of the heating system and the increase of the energy efficiency level.*

*Keywords: energy efficiency, boiler house, heat supply, energy saving.*

**Вступ.** Котельня в школі №121 обладнана у підвалі, що категорично заборонено за [1]. В котельні встановлено два твердопаливних котлоагрегати НІСТУ – 5, призначені для систем водяного опалення і гарячого водопостачання житлових, адміністративних і промислових об'єктів, які використовують вугілля марки АКО. Котли фактично є застарілими і навіть з використанням газоподібного палива вони не є ефективними в роботі. Для підвищення частки використання альтернативних видів палива, пропонується встановлення сучасних пелетних котлів з автоматичною подачею палива.

**Мета та завдання дослідження.** Мета дослідження: перехід від вугілля, як на даний момент одного з найдорожчих ресурсів до більш економічного виду палива. Основні завдання, які були встановлені: підвищення енергоефективності будівлі, ефективне використання ресурсів.

**Результати досліджень.** Розрахунок проводився для Спеціалізованої загальноосвітньої школи №121, що знаходиться за адресою вул. Каменярів, 32 м. Київ. Будівля школи має три поверхи, складається з двох корпусів, так звана «стара» школа (1935 р.) і «нова» школа (1957 р.) з прибудовою спортивної зали. В школі передбачено три сходові клітини. Будівля з опалювальним підвальним приміщенням і бомбосховищем, має скатний дах. На сьогодні школу відвідують 237 учнів, працюють 42 працівники, в тому числі обслуговуючий персонал. Загальна площа будівлі становить 4539,3 м<sup>2</sup>, площа підвалу – 300 м<sup>2</sup> та площа бомбосховища – 200 м<sup>2</sup>. Загальна опалювальна площа – 3200 м<sup>2</sup>. Площа засклення 499,5 м<sup>2</sup>, зовнішніх стін - 1987 м<sup>2</sup>. підлоги над неопалюваним підвалом -1119 м<sup>2</sup>, горищного перекриття - 1119 м<sup>2</sup>. загальна висота будівлі - 12,5 м. Школа має індивідуальну котельню, в якій виробляють гарячу воду для технічних потреб. Як джерело опалення використовують вугілля марки АКО, котельня працює сезонно. Вугілля яке використовується зберігається на вулиці. У холодний період часу (сніг, дощ, підвищена волога) відбувається порушення умов зберігання твердого палива, вугілля злипається і як наслідок час запалювання палива дуже значний і значна

частина теплоти втрачається тільки на загоряння палива. Тому необхідно спроектувати спеціальне приміщення, в якому подібні ресурси будуть зберігатися у сухому місці.

Споживання вугілля за останні три роки (2016 - 2018) показано у таблиці 1.

Таблиця 1– Споживання твердого палива на потреби школи.

| Місяць        | Споживання вугілля, т |               |            |               |            |               |
|---------------|-----------------------|---------------|------------|---------------|------------|---------------|
|               | 2016                  |               | 2017       |               | 2018       |               |
|               | т                     | грн           | т          | грн           | т          | грн           |
| Січень        | 32                    | 85312         | 33         | 87978         | 34         | 90644         |
| Лютий         | 32                    | 85312         | 30         | 79980         | 34         | 90644         |
| Березень      | 27                    | 71982         | 24         | 63984         | 29         | 77314         |
| Квітень       | 15                    | 39990         | 14         | 37324         | 19         | 50654         |
| Жовтень       | 16                    | 42656         | 17         | 45322         | 16         | 42656         |
| Листопад      | 25                    | 66650         | 27         | 71982         | 24         | 63984         |
| Грудень       | 30                    | 79980         | 32         | 85312         | 29         | 77314         |
| <b>Всього</b> | <b>177</b>            | <b>471882</b> | <b>177</b> | <b>471882</b> | <b>185</b> | <b>493210</b> |

Школа веде облік використаної електричної енергії завдяки двом лічильникам НІК 2301 АТ (№059295) для котельні та їдальні та НІК 2301 АП-3 (№344533) - решти школи. Споживання електричної енергії за останні три роки лічильником показано у таблиці 2.

Таблиця 2 – Споживання електричної енергії

| Місяць        | Споживання електричної енергії |               |              |               |              |               |
|---------------|--------------------------------|---------------|--------------|---------------|--------------|---------------|
|               | 2016                           |               | 2017         |               | 2018         |               |
|               | кВт*год                        | грн           | кВт*год      | грн           | кВт*год      | грн           |
| Січень        | 11310                          | 16173,3       | 9670         | 15085,2       | 11010        | 19377,6       |
| Лютий         | 10500                          | 15015         | 11780        | 18376,8       | 12390        | 21806,4       |
| Березень      | 9520                           | 13613,6       | 9130         | 14242,8       | 7270         | 12795,2       |
| Квітень       | 8190                           | 11711,7       | 7570         | 11809,2       | 7620         | 13411,2       |
| Травень       | 5200                           | 7436          | 4520         | 7051,2        | 5890         | 10366,4       |
| Червень       | 3190                           | 4561,7        | 3830         | 5974,8        | 3180         | 5596,8        |
| Липень        | 1850                           | 2645,5        | 1840         | 2870,4        | 2390         | 4206,4        |
| Серпень       | 2260                           | 3231,8        | 2350         | 3666          | 1393         | 2451,68       |
| Вересень      | 2950                           | 4218,5        | 3490         | 5444,4        | 2494         | 4389,44       |
| Жовтень       | 6630                           | 9480,9        | 6540         | 10202,4       | 4729         | 8323,04       |
| Листопад      | 9580                           | 13699,4       | 8440         | 13166,4       | 6424         | 11306,2       |
| Грудень       | 10230                          | 14628,9       | 10260        | 16005,6       | 8554         | 15055         |
| <b>Всього</b> | <b>81410</b>                   | <b>116416</b> | <b>79420</b> | <b>123895</b> | <b>73344</b> | <b>129085</b> |

Школа веде облік використаної води завдяки двом водомірам №0121946, який розташовано у підвалі та №0122433, який розташовано у котельні.

Споживання води за останні три роки показано у таблиці 3.

Таблиця 3 – Споживання води

| Місяць        | Споживання води |                |             |                |            |                |
|---------------|-----------------|----------------|-------------|----------------|------------|----------------|
|               | 2016            |                | 2017        |                | 2018       |                |
|               | м3              | грн            | м3          | грн            | м3         | грн            |
| Січень        | 49              | 425,81         | 89          | 1051,98        | 103        | 1575,9         |
| Лютий         | 84              | 729,96         | 76          | 898,32         | 133        | 2034,9         |
| Березень      | 68              | 590,92         | 120         | 1418,4         | 91         | 1392,3         |
| Квітень       | 37              | 321,53         | 109         | 1288,38        | 51         | 780,3          |
| Травень       | 22              | 191,18         | 83          | 981,06         | 55         | 841,5          |
| Червень       | 47              | 408,43         | 90          | 1063,8         | 41         | 627,3          |
| Липень        | 39              | 338,91         | 52          | 614,64         | 37         | 566,1          |
| Серпень       | 25              | 217,25         | 41          | 484,62         | 21         | 321,3          |
| Вересень      | 51              | 443,19         | 113         | 1335,66        | 30         | 459            |
| Жовтень       | 77              | 669,13         | 110         | 1300,2         | 90         | 1377           |
| Листопад      | 70              | 608,3          | 76          | 898,32         | 71         | 1086,3         |
| Грудень       | 54              | 469,26         | 94          | 1111,08        | 85         | 1300,5         |
| <b>Всього</b> | <b>623</b>      | <b>5413,87</b> | <b>1053</b> | <b>12446,5</b> | <b>808</b> | <b>12362,4</b> |

Покажемо на графіку (рис. 1) у відсотковому відношенні скільки витрачалось коштів на забезпечення школи електро-, водо- та теплопостачанням.

З даної діаграми бачимо, що найбільше коштів для школи витрачається на теплопостачання майже 78 %, на електроенергію - 20% коштів, а найменше на систему водопостачання – близько 2%. На базі даних досліджень пропонуємо вирішувати проблему саме з системою опалення навчального закладу.

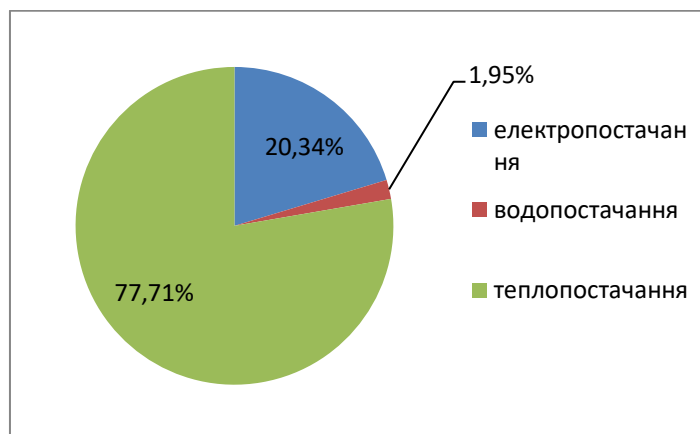


Рисунок 1 – Графік витрат коштів на енергоресурси

Пропонується встановити в окремому існуючому підсобному приміщенні два пелетні котли Metal-Fach Sokol SEG BIO -100 Silver Left, з автоматичною системою подачі палива та ККД 92%. При роботі котлів зменшиться кількість викидів та покращиться екологічний стан навколишнього середовища. Котли адаптовані для установки вентилятора і електронного контролера, що значно підвищує зручність використання. Автоматика може мати функцію

PID, що дозволяє підтримувати температуру котла на постійному рівні, таким чином економлячи до 10% палива.

У програмному середовищі RETScreen визначили кількість теплоти, яка необхідна для опалення будівлі, при інфільтрації та робочій вентиляції будівлі після його утеплення.

Розрахунок показав, що при використанні сучасної системи пелетних котлів для опалення необхідно 309,7 МВт·год теплоти, що значно менше ніж при використанні застарілих НІСТУ-5 – 387,2 МВт·год. За утеплених стін тепловтрати зменшилися на 20%. Потужність нових котлоагрегатів складає – 150 кВт, котли які запропоновані для опалення школи коштують 840 000 грн. Як видно з графіку (рис. 2) проект має строк окупності 11,3 роки.

При використанні нової системи опалення маємо значну річну економію, яка складає 256 810 грн.

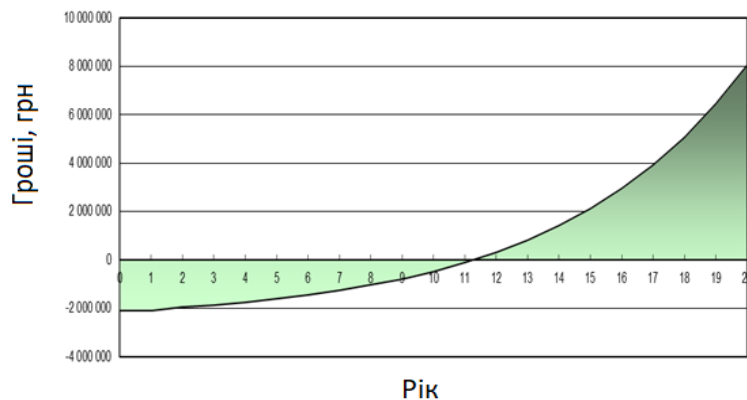


Рисунок 2 – Термін окупності твёрдопаливного пелетного котла

Щоб система працювала досконало необхідно утеплити стіни, дах та вікна (тепловтрати до модернізації становили 178 Вт а після 44,5 Вт), що дасть значну економію коштів. Термін окупності після утеплення склав біля 5 років.

#### Список використаних джерел

1. [www.retscreen.net](http://www.retscreen.net).

УДК 621.22

Магістрант гр. ОТ-81мп М. М.Фіщай, В.І. Шкляр к.т.н., доц.,  
В.В. Дубровська к.т.н., доц.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря  
Сікорського»

### ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ МІНІ-ГЕС ЗАКАРПАТТЯ

*Анотація. В статті розглядаються засоби підвищення загального рівня енергоефективності гідроелектростанцій за рахунок сучасного обладнання та автоматизованих систем керування процесами.*

*Ключові слова: енергоефективність, деривація, електропостачання, вода, енергозбереження.*

### ENERGY EFFICIENCY OF THE MINI-HPP OF TRANSCARPATHIA

*Annotation. In this article, the means of raising the overall level of energy efficiency of hydroelectric power stations are considered at the expense of modern equipment and automated process control systems.*

*Keywords: energy efficiency, derivation, electricity, water, energy saving.*

**Вступ.** З огляду на сучасний стан електроенергетики в світі за оцінками Світової енергетичної ради, частка економії органічного палива завдяки малій гідроенергетиці від загального виробництва енергії станом на 2020 рік буде становити 69 і 99 млн т у. п. для відповідно мінімального й максимального варіантів розвитку.

Малу гідроенергетику, перш за все, слід використовувати у ізольованих та важкодоступних районах, де відсутні лінії електропередачі і саме тому постачання туди органічного палива пов'язане з великими часовими, технічними й фінансовими труднощами. В даний момент територію України доволі важко повністю охопити централізованою мережею електропостачання, тому, з урахуванням особливостей певних територій, доцільно ефективніше налагодити максимальне використання екологічно чистих поновлювальних джерел енергії, а саме воду, відновивши старі та побудувавши нові малі та міні-ГЕС, які могли б успішно забезпечувати споживачів доступною та дешевою електроенергією.

Головною гідрологічною характеристикою таких об'єктів є середній багаторічний стік, або норма річного стоку. Найбільшим сприятливими для цього саме природними умовами є ріки Закарпаття, в яких стік води значною мірою залежить від висоти басейну та кута нахилу річки. Тут знаходиться найбільший гідроенергетичний потенціал за рахунок розгалуженої річкової мережі, яка охоплює 17 % від загальної кількості малих річок в Україні.

**Мета та завдання дослідження.** Проаналізувати обладнання дериваційної міні-ГЕС, ознайомитись з поняттям «деривація», визначити енергоефективність будівлі.

**Результати досліджень.** За об'єкт дослідження були взяті дериваційні міні-ГЕС нового зразка «Брустуриянка 1» потужністю 1 МВт довжиною деривації 750 м та «Брустуриянка 2» потужністю 1,2 МВт довжиною деривації 820 м від першої міні-ГЕС, які працюють за каскадною системою з 2015-го року в гірських районах Закарпатської області. Розглянемо дериваційну міні-ГЕС «Брустуриянка 1» (рис. 1), де напір води створюється напірним дериваційним водоводом.



Рисунок 1 – Дериваційна міні-ГЕС «Брустуриянка I»

Для деривації запроектований залізобетонний відвідний канал довжиною 22 м та шириною від 3 до 8 метрів. Рівень води в нижньому б'єфі на рівні 542,95 метрів.

Характеристика міні-ГЕС:

- довжина деривації - 750 м.
- діаметр трубопроводу - 2,4 м.
- напір брутто - 16,5 м.

До складу гідроагрегату будівлі міні-ГЕС на р. Брустуриянка, входить поворотно-лопатева турбіна Каплана (рис. 2). Технічні характеристики турбіни Каплана наведено в табл.1.

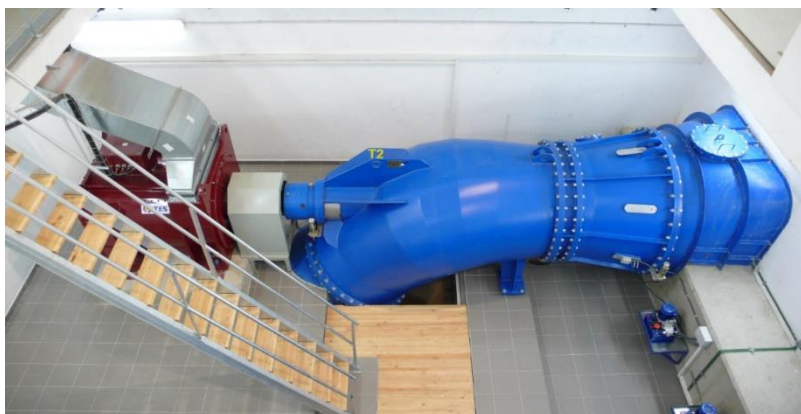


Рисунок 2 – Зовнішній вид турбіни Каплана

Таблиця 1 – Технічні характеристики турбіни Каплана

| Характеристика                              |      |
|---------------------------------------------|------|
| Механічна потужність, кВт                   | 1000 |
| Номінальна швидкість обертання, об/хв       | 500  |
| Максимальна витрата води, м <sup>3</sup> /с | 7,65 |

Направляючий апарат осевих турбін регулює її потужність в залежності від поданої витрати води на турбіну (табл. 2).

Таблиця 2 – Залежність ефективності турбіни від витрати води

|                    |      |      |      |      |      |
|--------------------|------|------|------|------|------|
| Витрата води, м³/с | 7,65 | 6,12 | 4,59 | 3,06 | 1,53 |
| Ефективність, %    | 91,6 | 92,6 | 92,4 | 90,5 | 81,5 |

Синхронний генератор змінного струму з вбудованим резонатором і з запатентованою системою регулювання. Виступаючий полюс є безщітковим, саморегулювання здійснюється роликотідишниками. Ефективність та технічні характеристики генератора показані в табл. 3 та 4.

Таблиця 3 – Технічні характеристики генератора      Таблиця 4 – Ефективність генератора

| Найменування                         | Од.<br>вимірюв. | Кількість   |
|--------------------------------------|-----------------|-------------|
| Номинальна потужність                | [КВА]<br>[КВт]  | 1200<br>996 |
| ККД генератора                       |                 | 0,95        |
| Номинальна напруга                   | [В]             | 690         |
| Температура навколишнього середовища | [°С]            | 40          |
| Макс. Висота                         | [м]             | 1000        |
| Коефіцієнт потужності                |                 | 0,83        |

| Поточний | Коефіцієнт<br>потужності | Коефіцієнт<br>потужності |
|----------|--------------------------|--------------------------|
| 100%     | 95,0                     | 96,9                     |
| 75%      | 95,1                     | 97,0                     |
| 50%      | 94,9                     | 96,8                     |
| 25%      | 94,1                     | 95,2                     |

Спорудження малої ГЕС, якщо вона не прибудована до існуючого вузла або каналу системи водопостачання або водовідведення, пов'язане зі створенням водоймища. Малі об'єкти не потребують створення великих водоймищ, вузькі річки мають швидкий природний потік, який має ряд переваг за умов правильної деривації потоку. Вплив таких водоймищ на навколишнє природне середовище здобуває в сучасних умовах все більшого значення оскільки він є більш екологічним.

При розгляді сучасних систем міні-ГЕС можна побачити, що за рахунок оптимального режиму роботи сучасного обладнання з мінімальними втратами, можна зменшити шкоду завдану довкіллю до мінімальних показників.

Серед основних переваг є також малий термін окупності проектів, який в середньому складає від 2 до 5 років.

Сама енергоефективна будівля запроектована по жорсткій конструктивній схемі з несучими залізобетонними стінами для будівництва в районах з сейсмічністю 7 балів та звичайними геологічними умовами.

Будівля умовно поділяється на технічний поверх та поверх обслуговування. На відмітці нижче рівня землі знаходяться технічне приміщення та машинне відділення. На рівні землі знаходяться операторська, санітарний вузол обслуговуючого персоналу та трансформаторна.

В будівля ГЕС міститься одна турбіна Каплана з генератором, трансформаторна підстанція, елементи середньої напруги, паралельне коло та система контролю.

Зовнішнє оздоблення фасадів. Зовнішні стіни залізобетонні, частина з декоративною дерев'яною обшивкою та мінераловатним утеплювачем (рис 3.).



Рисунок 3 – Будівля міні-ГЕС

Будівля двоповерхова, з підземним технічним поверхом і надземним 1-им поверхом для обслуговування споруди міні ГЕС, в межах 2-ох поверхів розміщена машинна зала, де розміщується турбіна та є доступ для монтажу та обслуговування останньої за допомогою кран-балки. Будівля конструктивно представлена в вигляді ядра жорсткості, прямокутна в плані з стінами та перегородками, що слугують, як діафрагми, з вертикальними підсиленнями(скриті колони), та схованими перемичками у тілі стін в місцях прорізів.

Перекриття виконано монолітне залізобетонне товщиною 300 мм. З подвійним армуванням та підсиленнями в місцях технологічних отворів.

Просторова жорсткість будівлі в цілому забезпечується за рахунок взаємно-перпендикулярних стін і жорсткістю дисків перекриття. Несучі елементи даху розраховані на навантаження, які включають власну вагу та нормативну тимчасову снігову з врахуванням льодової кірки.

Опалення приміщень запроектоване електричне. Передбачається встановлення настінних електроконвекторів. Всі системи опалення розраховані на параметри зовнішнього повітря з  $t = -18\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Температура припливного повітря з тепловентилятора в системі опалення прийнята  $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Запроектована витяжна вентиляція є природною. Необхідний повітрообмін розрахований по нормативній кратності.

Припливно-витяжна вентиляція з природним спонуканням передбачається у всіх приміщеннях будівлі і характеризується переміщенням повітря внаслідок різниці температур повітря приміщення і зовнішнього повітря, які утворюють тепловий напір через припливні і витяжні отвори, а також двері та вікна.

При проектуванні таких міні ГЕС передбачаються різні заходи по енергозбереженню для зменшення витрат енергії на власні потреби:

1. Товщина зовнішніх залізобетонних стін складає 400 мм, утеплення зовнішніх стін пінополістирольні плити товщиною 50 мм та захисна дерев'яна ламберія, пінополістерол в ґрунті - екструдований пінополістерол на глибину 1 м від обрізу ґрунту зворотної засипки.

2. Ворота та двері виконані з утеплювачем.

3. Ворота та двері обладнані автозамикаючими пристроями.

4. Обслуговування міні ГЕС передбачає автономну роботу з періодичним відвідуванням оператором міні ГЕС, тому освітлення та опалення даної споруди передбачає регульовану в часі схему, що забезпечує роботу всіх систем з температурами, згідно їх паспортних даних та вирівнювання температур комфортних для людини (+18°C) для відвідування споруди оператором.

5. Всі освітлювальні прилади люмінесцентні лампи або енергозберігаючі лампи.

6. Система примусової вентиляції виконана автоматизованою, як така що забезпечує нормальний 2-х кратний обмін повітря всіх приміщень.

Описані заходи дозволяють мінімізувати витрати електричної енергії на експлуатацію споруди та забезпечення нормальної роботи персоналу.

Під час експлуатації споруди персонал користується необхідними умовами для нормальної роботи, а саме - забезпечується спецодягом та спецінструментом при роботі з електрообладнанням та механізмами, нормальними умовами освітлення та безпеки, в приміщенні операторської розміщується стіл з тумбою, стілець та шафа; передбачена аптечка.

За рік роботи станція виробляє близько 5,2 млн. кВт·год. електричної енергії (табл. 3), що забезпечує річну потребу електроенергії біля 2000 домогосподарств.

Таблиця 3 – Кількість виробленої електричної енергії на міні-ГЕС, кВт· год

| Місяць   |        | Місяць       |          |
|----------|--------|--------------|----------|
| Січень   | 401,09 | Липень       | 438,86   |
| Лютий    | 359,69 | Серпень      | 397,56   |
| Березень | 417,29 | Вересень     | 432,68   |
| Квітень  | 392,24 | Жовтень      | 437,39   |
| Травень  | 392,24 | Листопад     | 679,87   |
| Червень  | 407,92 | Грудень      | 403,90   |
|          |        | Разом за рік | 5 202,05 |

## Висновки

Проаналізована робота міні-ГЕС на річці Брустурянка Закарпатської області і встановлено що вона є енергоефективним і перспективним заходом по виробництву електричної енергії, відповідає сучасним вимогам по захисту навколишнього середовища та має економічну привабливість. Завдяки такій дериваційній гідроелектростанції Тячівський район може не залежати від центральних мереж електропостачання, самостійно забезпечувати себе електроенергією, а надлишки продавати до центральної мережі.

## Список використаних джерел

1. Сидорчук О. В. Особливості ідентифікації конфігурації проектів каскаду малих дериваційних гідроелектростанцій в умовах стохастичного середовища / Східний-Европейський журнал передових технологій. – 2010. – № 1(2). С. 40-42.
2. Крисенков М., Добровольський В., Веремчук А. Енергетичне використання малих річок Карпатського регіону України в сучасних умовах. Нетрадиційні енергоресурси та екологія України. – К.,: Манускрипт, 1996. – С. 37–46.

**СЕКЦІЯ 3.**  
**ІНЖИНІРИНГ ТА АВТОМАТИЗАЦІЯ**  
**ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ КОМПЛЕКСІВ**

УДК 621.3.078.3

Почепня Г.Л., Прядко С.Л.

### СИСТЕМА АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ НАПРАВЛЕНИМ РУХОМ ВИДОБУВНОЇ МАШИНИ

*Проведено аналіз методів контролю межі «вугілля-порода» та запропонована багатосенсорна система автоматичної орієнтації спрямованим рухом видобувної машини для безлюдної виїмки копалини з метою зменшення вмісту породи і іншого мінералу, які повинні бути видалені в процесі збагачення.*

*Ключові слова:* Енергозбереження, , давачі межі «вугілля-порода» система керування.

### СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ НАПРАВЛЕННЫМ ДВИЖЕНИЕМ ДОБЫВАЮЩЕЙ МАШИНЫ

*Проведен анализ методов контроля границы «уголь-порода» и предложена мультисенсорная система автоматической ориентации направленным движением добывающей машины для безлюдной выемки полезного ископаемого с целью уменьшения содержания породы и другого минерала, которые должны быть удалены в процессе обогащения*

*Ключевые слова:* Энергосбережение, , датчики границы «уголь-порода», система управления.

### AUTOMATIC CONTROL SYSTEM BY DIRECTION OF THE MOTOR OF THE CUTTING MACHINE

*The analysis of the methods of controlling the "coal-rock" boundary has been carried out and the multisensory system of automatic orientation directed by the movement of the mining machine for the deserted mining of the fossil has been proposed in order to reduce the content of the rock and other minerals that must be removed during the enrichment process.*

*Key words:* energy Saving, burashnikov complex, sensors the border "coal-rock" control system.

**Актуальність теми** Безлюдне виймання вугілля – узагальнена назва способів виймання корисної копалини, при яких шахтарі у вибоях відсутні (окрім виконання допоміжних робіт: монтажу, демонтажу та ремонту обладнання)[1]. Управління видобувною технікою – дистанційне, з підготовчих виробок або поверхні. Автоматична система керування по гіпсометрії вугільного пласта (CIR) з розпізнаванням межі «вугілля-порода» може надати робочому органу видобувної машини здатність автоматично відстежувати товщину вугільного пласта, що дозволяє зменшити вміст породи і іншого мінералу, які повинні бути видалені в процесі збагачення вугілля [3,4]. В останні роки вуглевидобувні кампанії США, Німеччини приділяють велику увагу розробці таких систем як одному з ключових методів автоматизації гірничих робіт.

Наукові дослідження з розпізнавання межі «вугілля-порода» проводяться у наступних напрямках:

- розпізнавання за сигналами датчика на основі NGR (природного гамма-випромінювання) ;
- розпізнавання за сигналами датчика, на реакції ріжучої сили комбайна (тензометрія);
- розпізнавання за сигналами датчика виявлення інфрачервоних променів;
- розпізнавання за сигналами датчика вібрації .

Наприклад, системи автоматичного керування по гіпсометрії пласта німецької фірми **marco** оснащені датчиками вібрації і розпізнавання межі «вугілля порода» тільки по спектру вібросигналів різання вугілля або породи. Оскільки у кожного окремого датчика є своя спеціальна певна точність і діапазон застосування, достовірність даних які отримані даних за допомогою сенсора одного типу обмежений певною областю, і розпізнавання межі корисної копалини та породи іноді недостовірне. Дослідження і розробка системи розпізнавання з використанням мультисенсорних систем є основною тенденцією при створенні автоматизованих систем.

**Мета і задачі дослідження.** Мета роботи – зменшити вміст породи та іншого мінералу, які повинні бути видалені в процесі збагачення вугілля. Для досягнення мети роботи вирішувались задачі:

- побудова структурної схеми автоматичної системи керування видобувною машиною в площині пласта ;
- впровадження комплексу засобів моніторингу та контролю параметрів положення видобувної машини.

У зв'язку з розглянутим вище, з'явилася нова ідея - сигнали які пов'язані з зусиллям різання, струму двигуна, тиску масла в гідросистемах, повітря в пневмосистемах, вібрацій частин, що не обертаються, об'єднати в мультисенсорну систему, яка може значно підвищити точність розпізнавання межі «вугілля-порода». Злиття даних (DF) - це метод обробки з інформації з декількох джерел[2,5,6]. Метою DF є отримання ідентичного опису об'єкта шляхом обчислення та ідентифікації існуючих сигналів з декількох джерел.. Мультисенсор DF може повністю використовувати переваги декількох датчиків, а потім синтезувати додаткову або надлишкову інформацію як в часі, так і в просторі відповідно до визначених алгоритмів та принципів, тому може бути доступний ідентичний опис для виявлення об'єкта. Ці DF можуть збільшувати діапазон часу і простору, підвищувати довірчі межі, зменшувати фазифікації, покращувати якість виявлення і значно підвищувати надійність системи. У мультисенсорній системі інформація, що надається кожним датчиком, має межі достовірності, тому для обробки інформації пропонується використати нейронну мережу (NN). Технологія NN виграє завдяки своїй унікальній перевазі серед інших методів. Загальна топологічна структура FNN показана на рис.1. Різниця між FNN і NN полягає в додаванні шару фазифікації і шару дефазифікації.

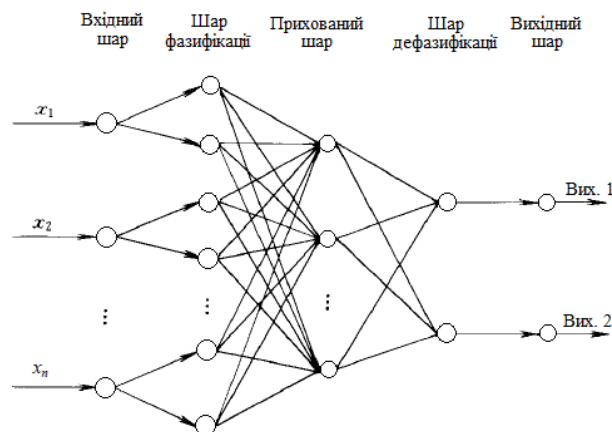


Рисунок 1. Загальна топологічна структура FNN

Для розпізнавання межі «вугілля-порода» сигнали, зібрані датчиками, складаються з двох станів, тому кожне вхідне значення можна розділити на два рівня. В процесі реалізації функції членства використовується метод NN. На вхід  $x_i$ , фазифікація буде  $\mu_{i1}$ , що належить до ступеня членства вугілля і  $\mu_{i2}$ , яка належить до ступеня членства породи, тому як може бути отриманий NN процес  $x_i \rightarrow \mu_{i1}$ ,  $x_i \rightarrow \mu_{i2}$  показано на рис. 2

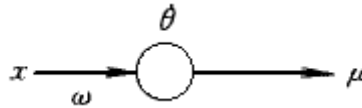


Рисунок 2. NN реалізація функції членства

Функція приналежності показана на рис.3 Де:  $X_1$  – Максимальне значення, вугілля - 100%;  $X_2$  – Присутність 50% вугілля, 50% гірської породи;  $X_3$  – Мінімальне значення

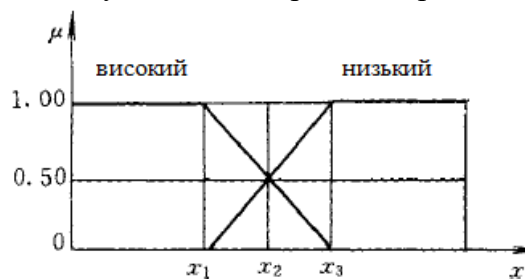


Рисунок 3. Функція членства

Кожне  $x_i$ ,  $\mu_{i1}$  і  $\mu_{i2}$  можна визначити за формулою  $\mu = f(\omega x + \theta)$ , в якій  $f = \text{sigmoid}(x)$ .  $\omega$  та  $\theta$  можуть бути визначені, коли функція помилки  $\varepsilon$  мінімізована, враховуючи  $(x_i, \mu_i)$ ,  $i=1, 2, \dots, N$ .

$$\varepsilon = \left[ \sum_i (\mu_i - \mu) \right] / N \quad (1)$$

Де:  $\mu_i$  - очікуваний вихід;  $\mu$  – токовий вихід.

Визначення  $\omega$  і  $\theta$  відповідно до вищевикладеного дорівнює визначенню відповідної функції належності. Значення більше не змінюються при більш пізньому навчанні.

Поширені NN не містять шар дефазифікації, прихований шар безпосередньо з'єднується з вихідним рівнем. Кількість вихідних вузлів дорівнює кількості класифікованих шаблонів. Під час підготовки зробить виведення відповідного шаблону рівним 1, а решта рівними 0 і візьміть найбільший результат в якості результату класифікації. Але межа класифікації даних інтерфейсу вугільної породи нечітка, дані іноді є слабкими, навчений зразок має нульове значення на більш, ніж одному виході. Таким чином, в момент навчання мережа хоче вивчити взаємозв'язок між входом і виходом.

Якщо є L-шаблони, відповідно є L вихідних вузлів.

Визначення 1:  $O_i$  і  $V_i$  значать середнє значення і стандартну помилку i-го результату зразків відповідно, тому відстань між навчальним зразком і результатом визначається як

$$d_{ij} = \sqrt{\sum_{p=1}^n \left( \frac{F_{jp} - O_{ip}}{V_{ip}} \right)^2} \quad k = 1, 2, \dots, L$$

Де:  $F_{jp}$  - значення елемента  $p$ th для  $j$ -го шаблону;  $1/V_{ip}$  - значення ваги означає квадратичну помилку.

Функція належності  $j$ -го шаблону до  $i$ -й класифікації

$$u_{ij} = \frac{1}{\sum_{k=1}^c (d_{ij} / d_{kj})}$$

Щоб зробити значення алгоритму більш прийнятним, порядок  $F_{jp}$ , повинен бути більше або рівним середньому значенню породи і  $F_{jp}$ , який повинен бути менше або рівним середньому значенню вугілля[7,8].

При різанні опір різанню копалини буде відрізнятися від різання гірських порід через різну твердість. Таким чином, це дає видобувній машині по-різному реагувати на різні стани різання. Зміни стану роботи можуть бути показані в наступних аспектах:

- тиск масла;
- вібрація плеча барабану робочого органу;
- струм навантаження двигуна;
- крутильний момент і крутильні коливання валу барабана.

Порівнюючи зміни енергії, можна судити про стан різання копалини автоматична система визначає знаходження робочого органу в площині пласта. Функціональна схема вимірювальної системи показана на рис.4.

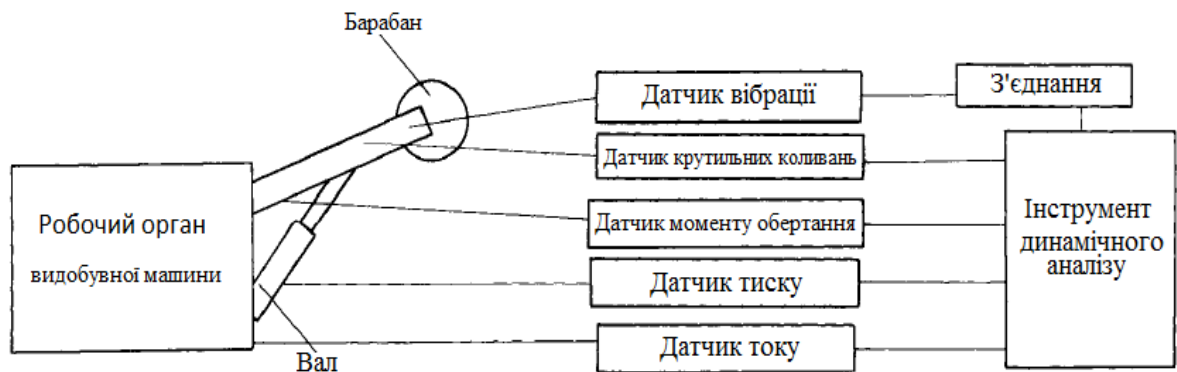


Рисунок 4. Принцип роботи обладнання вимірювальної системи

Після завершення вищевказаної роботи вектор характеристик сигналу вібрації становить 12 вимірювань, вектор характеристик поточного сигналу - два розміри, інший вектор функції - один розмір відповідно. Тому спочатку злиття функцій здійснюється за допомогою FNN, дані навчання якого є дані вібраційного сигналу і дані поточного сигналу відповідно. Потім злиття здійснюється за допомогою FNN, входними даними якого є перші виходи FNN, дані тиску, дані крутильних моментів, дані про крутильні вібрації. Таким чином, модель процесу визначила розподілену структуру з кількома датчиками і дворівневу модель злиття. Яка представлена рис. 5.

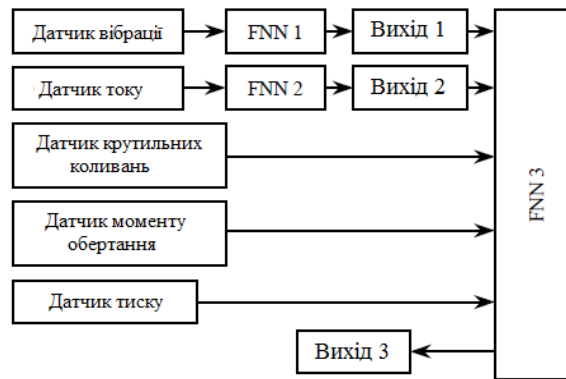


Рисунок 5 Дворівнева модель злиття

**Висновок:**

таким чином, використання сигналів двох або більше давачів межі «вугілля-порода, оброблені через дворівневу модель злиття, роблять систему більш надійною, а коли несправний датчик надає неправильну або суперечливу інформацію, додаткові дані, отримані за допомогою інших датчиків, дозволяють автоматичній системі утримувати робочі органи видобувної машини в площині пласта.

**Література**

1. Выемка угля безлюдными способами / А.Е. Левкович и др. – К.: Техніка, 1992
2. Комашинский В. И., Смирнов Д. А. Нейронные сети и их применение в системах управления и связи. М.: Горячая линия – Телеком, 2003. – 94 с
3. Ройтер М., Крах М., Кислинг У., Векслер Ю.А. Система управления Марко «Цифровая шахта» для угольных шахт. Проблемы и пути инновационного развития горнодобывающей промышленности. Алматы. 2013.
4. Xu-rui Chen, Tong-qing Yang, Wei Wang, Xi Yao: Vibration energy harvesting with a clamped piezoelectric circular diaphragm, *Ceramics International* 38S (2012), стр. 271-274, Available online 5 May 2011
5. Соловьев, В. А. Искусственный интеллект в задачах управления. Интеллектуальные системы управления технологическими процессами / В. А. Соловьев, С. П. Черный. – Комсомольск-на-Амуре : ГОУВПО «КнАГТУ», 2006. – 74 с.
6. Леоненков, А. В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH / А. В. Леоненков. – СПб. : БХВ-Петербург, 2005. – 736 с.
7. Штовба, С. Д. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB / С. Д. Штовба. – М.: Горячая линия – Телеком, 2007. – 288 с.
8. Ren Fang, Yang Zhaojian, Xiong Shibo STUDY ON THE COAL-ROCK INTERFACE RECOGNITION METHOD BASED ON MULTI-SENSOR DATA FUSION TECHNIQUE. *CHINESE JOURNAL OF MECHANICAL ENGINEERING* Vol.16, No.3, 2003

УДК 681.515+62-551.453

**С.Ю. Докшина**, магістрант (НТУУ "КПІ ім. І. Сікорського", ІЕЕ, кафедра АУЕК)  
Керівник магістерської дисертації доцент каф. АУЕК **Тишевич Б.Л.**

## **ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА СИСТЕМА ПРОГНОЗУВАННЯ КОРОТКОСТРОКОВОГО СПОЖИВАННЯ ЕНЕРГІЇ, НА БАЗІ ШТУЧНОЇ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ, З ВИКОРИСТАННЯМ БАГАТОФАКТОРНОГО АНАЛІЗУ**

*У даній роботі розглядається новий підхід до прогнозування короткострокового енергоспоживання в комунальних підприємствах та житлових будівлях. Метод ґрунтується на використанні штучної нейронної мережі (ШНМ), яка частково охоплена зворотнім зв'язком. Навчання цієї ШНМ здійснюється за допомогою гібридного алгоритму. Нова підхід, прогнозування короткострокового енергоспоживання, базується на використанні даних, які визначаються багатьма факторами що впливають на енергоспоживання. У якості вхідних даних були використані поточні і прогнозовані значення температури, поточне енергоспоживання, час та добу для яких були визначені дані. Точність подібного прогнозування була оцінена через порівняння з реальними даними. Досягнуті результати демонструють високу точність запропонованого підходу та використаної ШНМ.*

**Ключові слова:** штучні нейронні мережі; прогнозування енергоспоживання; багатофакторний аналіз, методи оптимізації.

## **INTELLIGENT SYSTEM OF PROGNOSTATION OF SHORT-TERM CONSUMPTION OF ENERGY, ON THE BASIS OF AN ARTIFICIAL NEURAL NETWORK, USING MULTI-FACTOR ANALYSIS**

*In this paper we consider a new approach to forecasting short-term energy consumption in communal enterprises and residential buildings. The method is based on the use of an artificial neural network (ANN), which is partially covered by feedback. The training of this ANN is carried out using a hybrid algorithm. A new approach, forecasting short-term energy consumption, is based on the use of data that is determined by many factors affecting energy consumption. The input data used were current and projected values of temperature, current energy consumption, time and day for which the data were determined. The accuracy of this prediction has been estimated through comparison with real data. The achieved results demonstrate the high accuracy of the proposed approach and the used ANN.*

**Key words:** artificial neural networks; forecasting of energy consumption; multi-factor analysis, optimization methods.

### **1 ВСТУП**

Для реалізації системи прогнозування енергоспоживання необхідно впровадити інтелектуальну систему для комунальних та будівель суспільного призначення для максимізації ефективності енергоспоживання з мінімумом витрат. У [1] наводиться перелік компонентів для інтелектуальних систем управління сучасними будівлями, у яких відводиться значна роль системі енергоменеджменту (ЕМС), яка контролює енергоспоживання будівлі. Для нормальної роботи ЕМС, необхідна точна інформація про енергоспоживання для того, щоб знати короткострокову і середньострокову перспективу. Короткострокове прогнозування енергоспоживання (КПЕ) дозволяє передбачити електричне навантаження у будівлях, регіонах, країнах і навіть, окремих галузях виробництва на період хвилин, годин, днів або тижнів. В останні роки з'явилося багато інформації про застосування інтелектуальних систем,

на базі ШНМ, для прогнозування енергоспоживання, що свідчить про те, що такий підхід є одним з більш успішних для різноманітних умов у несприятливих обставинах.

## 2 МЕТА ТА ЗАВДАННЯ

Для вирішення завдання короткострокового прогнозування було застосовано ШНМ з використанням багатофакторного аналізу, з метою співвіднесення кліматичних умов, розкладів роботи і т.п. з варіаціями електричних навантажень, щоб передбачити або максимуми щоденного навантаження та загальне добове енергоспоживання або погодинне навантаження. Перевага у використанні ШНМ перед іншими методами прогнозування, полягає в її здатності моделювати багатофакторну задачу, яка описується складними зв'язками між окремими змінними. Крім того, ШНМ може обходити приховані нелінійні зв'язки, серед цих змінних, шляхом "навчання" внаслідок аналізу даних. На цей час досягнуто багато достовірних результатів у реальних застосуваннях ШНМ, з архітектурою широкого спектру, для короткострокового прогнозування [2,...,4].

Завдання які були досліджені, в останні роки, для вирішення проблеми використання ШНМ для короткострокового прогнозування, були пов'язані з вибором найкращої структури ШНМ. Наприклад, розглядалось застосування квазіоптимальної ШНМ для короткострокового прогнозування [5], де наведені декілька правил для побудови рекурентної ШНМ, яка працює із частим перенавчанням.

Основна мета даної роботи - запропонувати новий підхід до прогнозування навантаження з високою точністю за допомогою ШНМ із зворотнім зв'язком, яка навчається за допомогою гібридного алгоритму на базі багатофакторного аналізу.

Для перевірки запропонованого методу були використані дані енергоспоживання підприємств України.

## 3 МЕТОДИКИ, МАТЕРІАЛИ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

### 3.1 Розробка та навчання ШНМ

У якості системи прогнозування (предиктора) було запропоновано ШНМ особливого виду [6], зі зворотнім зв'язком (33), яка представлена на рисунку 1.

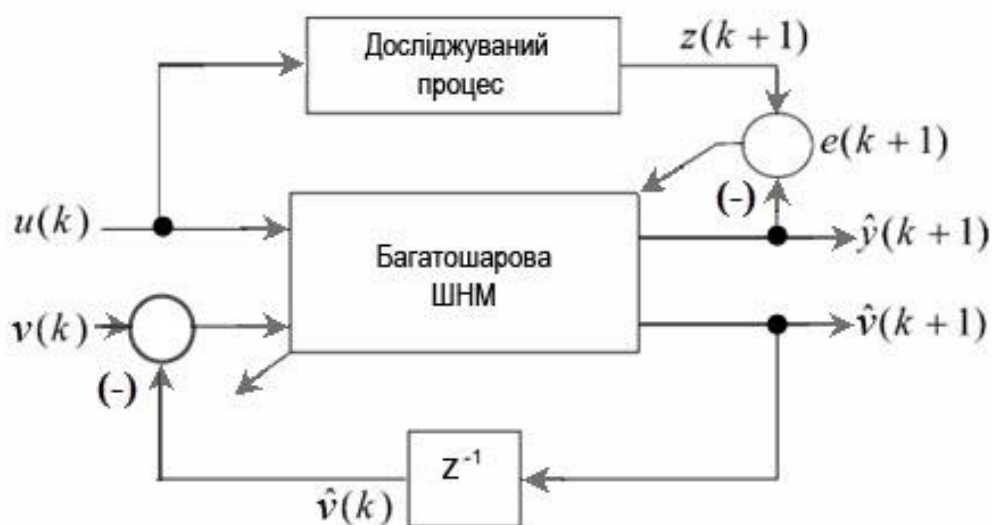


Рисунок 1. Загальна схема ШНМ із 33.

Ця ШНМ працює за наступним алгоритмом - вхід системи  $u(k)$  і вірогідне значення

початкових даних  $v(k)$  передаються через багат шарову ШНМ (с будь-яку топологію) на виході якої, формуються дані для наступного вибіркового моменту  $k+1$ , що є прогнозом  $\hat{y}(k+1)$  дійсного значення у виходу ШНМ та прогнозованого значення  $\hat{y}(k+1)$  для початкових даних  $v(0)$ . Ці значення подаються назад в мережу через елемент однотокової затримки  $z^{-1}$ . Помилка прогнозування  $e(k+1) = z(k+1) - \hat{y}(k+1)$ , по відношенню до вимірюного виходу процесу  $z(k+1)$ , використовується для навчання ШНМ. За допомогою "відображення"  $v(0)$  та  $u(k)$  та прогнозованих значень  $v(k+1)$  та  $\hat{y}(k+1)$ , структура ШНМ із 33 може наближатися до будь-якого ступеня точності, використовуючи безліч прихованих вузлів та будь-яку динамічну систему для якої у просторі станів описуються деякі існуючі функції  $g$  і  $h$ .

$$\begin{aligned} v(k+1) &= h[v(k), u(k)]; \\ y(k+1) &= g[v(k+1)]. \end{aligned}$$

Алгоритм навчання подібної ШНМ є гібридним, і формується за допомогою відомого дельта-правила з випадковим пошуком [6].

### 3.2 Структура мережі та навчання

Як наведено у [6] - будь-яка ШНМ із багат шаровою топологією можна використовувати для створення структури із 33. В запропонованій системі прогнозування, на базі ШНМ, було використано персептрони, які утворюють один прихований шар і нейрони з функцією активації на базі гіперболічного тангенсу

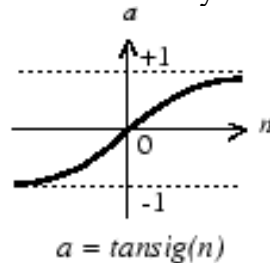


Рисунок 2. Тангенціально-сигмоїдальна функція активації.

Така структура ШНМ забезпечила поліпшені результати прогнозування з точки зору необхідної кількості ітерацій при навчанні з використанням алгоритму зворотнього розповсюдження похибки (ЗРП) [7]. У структурі ШНМ, яка наведена на рисунку 1, помилки стану не аналізувалися під час навчання. Однак, якщо вони відомі, то також можна здійснювати навчання з врахуванням цих помилок і таким чином отримати більшу точність роботи ШНМ. Насправді, більш правильний підхід, коли відображаються значення  $v(0)$  та  $u(k)$  та прогнозовані значення  $v(k+1)$  та  $\hat{y}(k+1)$ .

ШНМ із 33 проходять навчання з використанням алгоритмів аналогічних тим, що запропоновані у [8] (у даній роботі було прийнято рішення використовувати класичний алгоритм ЗРП зі збільшенням коефіцієнту навчання, щоб уникнути тривалого часу виконання алгоритму). Цей метод працює наступним чином: спочатку тренування здійснюється з використанням модифікованої версії ЗРП. Коли загальна помилка зменшується нижче заданого значення  $|E(w^{k+1}) - E(w^k)| \leq \epsilon'$ , гібридний алгоритм припускає, що поточне значення даних знаходиться поблизу локального мінімуму, внаслідок застосування методу випадкової оптимізації МВО [9]. При зменшенні значення помилки більше ніж заданий максимум  $E(w^k), G, \epsilon, (0 < G < 1)$ , алгоритм зворотнього розповсюдження запускається повторно [8]. Подібна стратегія також була покращена за допомогою методу, запропонованого в [10], де МВО був посиленний за допомогою деякої евристичної але ефективної ідеї - використовувати той самий метод Гауса для випадкової зміни вектору параметрів у наступній ітерації, якщо загальна помилка зменшувалася та змінювати дисперсію параметрів в залежності від зменшення цієї помилки.

### 3.3 Загальна структура системи прогнозування

Загальна структура предиктора наведена на рисунку 3.

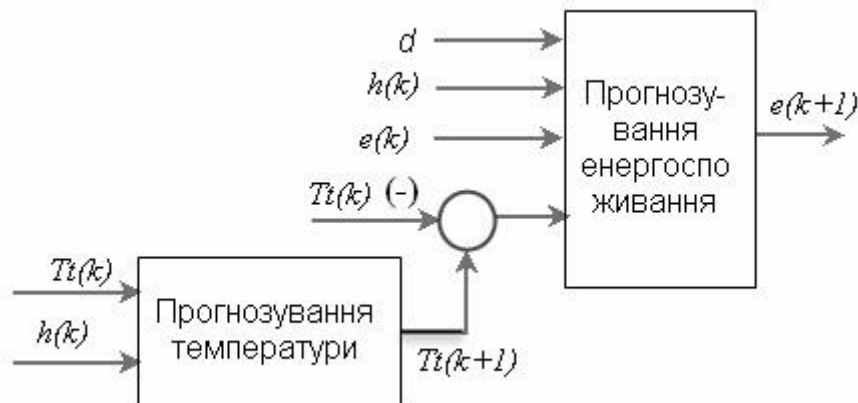


Рисунок 3. Загальна структурна схема системи прогнозування на базі ШНМ

Як можна спостерігати, це декілька ШНМ прогнозування. Перша з них це, ШНМ прогнозування температури (ШНМПТ), що забезпечує визначення передбачуваного значення температури навколишнього середовища на годину. У попередніх рішеннях цієї задачі було зроблено багато зусиль для розробки методів для прогнозування цього значення температури [11–13].

Вихідний сигнал ШНМПТ є одним з входів другої ШНМ прогнозування енергоспоживання (ШНМЕ). Загальна структурна схема, на рисунку 3, показує як вводиться температура (унікальна змінна оточуючого середовища). Замість використання прогнозованого значення цієї змінної, як вхідного сигналу, для надання найбільш вірогідного значення яке відповідає співвідношенню навантаження / температура, для ШНМЕ у якості вхідного сигналу, вводиться невеличка зміна температури (1).

$$\Delta Tt = Tt_{k+1} - Tt_k, \quad (1)$$

де  $Tt_{k+1}$ - прогнозована температура за період  $k + 1$ ;  $Tt_k$  - значення температури, яка виміряна в момент  $k$ .

Така визначена різниця  $\Delta Tt$ , може вказувати на те, що якщо є збільшення (або зменшення) температури навколишнього середовища на протязі певного періоду часу та відносно часу прогнозування для наступного періоду, то можливе збільшення або зменшення енергонавантаження.

Другим значним елементом цієї бази даних є час - година доби  $h(k)$  та день  $d$  тижня. Час кодується через його синусове і косинусове значення, як запропоновано у літературі [14,15]. Що стосується режимів роботи, то добре відомо, що у вихідні та святкові дні, підприємства споживають менше енергії незалежно від температури навколишнього середовища. Ця зміна визначається розкладом роботи де робиться наголос на вихідні та неробочі дні [16]. Ці обставини, незважаючи на те, що зовнішня температура здійснює величезний вплив, як вхідна змінна для КПЕ у робочі дні, точність прогнозування температури втрачає значущість у вихідні дні, у зв'язку з зниженим енергоспоживанням. Якщо задати ці умови для вихідних, або святкових днів то можна спростити систему прогнозування аналізуючи тільки робочі дні. Для обраної ШНМ із ЗРП, враховуючи вище згадане, було враховано вихідні та святкові дні, оскільки неможливо переривати обробку інформації ШНМ кожні п'ять днів. Тому необхідно додавати у базу даних спеціальний індекс, який визначає який день тижня обробляє ШНМ. Цей індекс також визначається двома векторами  $\sin$  та  $\cos$  дня тижня, як наведено у таблиці 1.

Таблиця 1. Вхідні дані для прогнозування

|    | Змінні                     | Позначення                                                                             |
|----|----------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. | Оточуюча температура       | $(t_k^{d-i} - t_k^{d-i}), (t_k^{d-i} - t_k^{d-i}), \dots, (t_k^{d-i} - t_k^{d-i})$     |
| 2. | Година                     | $\sin\{\pi[(h_k^{d-i}, \dots, h_k^d)/12]\}; \cos\{\pi[(h_k^{d-i}, \dots, h_k^d)/12]\}$ |
| 3. | День тижня                 | $\sin\{\pi[(d^{d-i}, \dots, d^d)/4]\}; \cos\{\pi[(d^{d-i}, \dots, d^d)/4]\}$           |
| 4. | Енергоспоживання на вході  | $e_k^{d-i}, \dots, e_k^d$                                                              |
| 5. | Енергоспоживання на виході | $e_k^{d-i}, \dots, e_k^{d-1}$                                                          |

Третім входом може бути величина поточного енергоспоживання  $e(k)$ . Від того моменту, коли система прогнозування спрогнозує енергоспоживання для години  $k+1$ , для третього входу використовується значення енергоспоживання на годину  $k$ , за виміряною величиною. Ця інформація є дуже важливою, оскільки показує реальну зміну енергоспоживання конкретної будівлі або устаткування.

В той час поки іншим системам прогнозування потрібні такі дані як рівень зайнятості, величини змінних оточуючого середовища (наприклад інформація про опади), можна зазначити, що введення у ШНМ реального енергоспоживання призводить до ефекту який викликаний всіма змінними по всіх входах на годину  $k$ . Однак, завдання системи прогнозування є передбачення наступної величини у залежності від об'ємів "необхідного знання" на протязі попереднього циклу навчання ШНМ. Ця база даних формується як матриця розмірністю  $n \times m$  (див. Таблицю 1) де  $n=6$  входам, а  $m$  дорівнює кількості днів тобто розмір матриці в днях помножити на 24 год. У даному випадку використано було інформацію за 21 день. Для обробки даних в ШНМ було використано нормалізацію у діапазоні  $[-0,9, \dots, +0,9]$  за формулою

$$X_n = 1.8 \left[ \frac{X - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}} \right] - 0.9$$

Нормалізація для різниці  $\Delta Tt$  між прогнозованим та дійсним значенням температури була здійснена за допомогою додавання  $\pm 10$  °C до максимального та мінімального значень  $\Delta Tt$ , в той час як до входу ШНМ з поточним навантаженням додається  $\pm 50$  КВт до максимального та мінімального значень енергоспоживання за визначений період відповідно таблиці 1.

Позначення у таблиці 1:

$(t_k^{d-i} - t_k^{d-i}), (t_k^{d-i} - t_k^{d-i}), \dots, (t_k^{d-i} - t_k^{d-i})$  - послідовність різниць температур між годиною  $(h + 1)$  та  $h$  для дня який в якому вибірка починається  $(d - n)$  до різниці температур на 24 годину дня  $(d + 1)$  та на 23 годину дня  $d$ , для якого здійснюється навчання ШНМ,

$\sin\{\pi[(h_k^{d-i}, \dots, h_k^d)/12]\}; \cos\{\pi[(h_k^{d-i}, \dots, h_k^d)/12]\}$  - кодування годин, які змінюються від 0 до 23.

$\sin\{\pi[(h_k^{d-i}, \dots, h_k^d)/12]\}; \cos\{\pi[(h_k^{d-i}, \dots, h_k^d)/12]\}$  - кодування днів від 1 до 7, де 7 відповідає "неділі".

$e_k^{d-i}, \dots, e_k^d$  - послідовність величин електричного навантаження від 00 годин  $(h=0)$  для дня у який починається вибірка даних  $(d - n)$  до 23 години  $(h=0)$  дня  $d$  для якого здійснюється навчання ШНМ.

$e_k^{d-i}, \dots, e_k^{d-1}$  - послідовність величин електричного навантаження від 01 години  $(h=0)$  для дня у який починається вибірка даних  $(d - n)$  до 00 годин дня  $(d+1)$ .

Після нормалізації синус і косинус дня і часу залишається точно у межах  $[-0,9, \dots, +0,9]$  проте поточне навантаження і різниця температур

залишаються нормалізованими з урахуванням доданих кіловатів і градусів Цельсія, як це було наведено вище.

### 3.4 Параметризація ШНМ і гібридного алгоритму

У таблиці 2 наведено набір необхідних параметрів для конфігурації ШНМ і визначення алгоритму навчання.

Таблиця 2. Параметри ШНМ та алгоритму навчання

|   | Параметр                     | Величина              |
|---|------------------------------|-----------------------|
| 1 | Кількість нейронів у мережі  | 45                    |
| 2 | Типи функцій активації       | Гіперболічний тангенс |
| 3 | Кількість етапів навчання    | 1000                  |
| 4 | Межа навчання $\epsilon$     | 0,001                 |
| 5 | Коефіцієнт навчання $\alpha$ | 0,9                   |
| 6 | Діапазон                     | [0,001,...,0,05]      |

Функція за якою визначається сумарна квадратична похибка (СКП) для оптимізації процесу навчання ШНМ обчислювалась за формулою (2),

$$\text{СКП} = \sum_{i=1}^y (z_i(k+1) - \hat{y}_j(k+1))^2 + \sum_{j=1}^v (v_j(k+1) - \hat{v}_j(k+1))^2, \quad (2)$$

де  $z$  та  $\hat{y}$  – реальні і прогнозовані значення виходу ШНМ;  $y$  – кількість елементів навчального набору;  $v$  та  $\hat{v}$  – реальні і передбачені значення стану, де  $v$  – кількість елементів навчального набору.

З метою поліпшення переваг ШНМ, кожен вихідний стан з набору тренувальних вихідних станів, дорівнював енергонавантаженню для моменту  $k+1$  таким чином, що зворотний зв'язок для кожного стану має найбільшу точність під час навчання.

### 3.5 Результати застосування предиктора на ШНМ із ЗРП для реальних даних

Для того, щоб оцінити результати прогнозування за допомогою ШНМ, використовувалась середня похибка відхилення (СПВ) .

$$\text{СПВ} = \{ [\sum_{i=1}^n (y_{\text{прогн},i} - y_{\text{данн},i}) / (n - p)] / \tilde{y} \} 100 \quad (3)$$

де:  $y_{\text{прогн},i}$ ,  $y_{\text{данн},i}$  – прогнозовані та реальні дані по енергоспоживанню за певний термін;  $\tilde{y}$  - середня величина реальних даних;  $n$  – загальна кількість даних на певному інтервалі;  $p$  – загальна кількість даних у всій виборці.

### 3.6. Використання ШНМ для КПЕ

Результати застосування ШНМ для КПЕ можна оцінити по графіках реального та спрогнозованого значення. Суцільною лінією позначено реальне енергоспоживання. На рисунку 4 зображено результати короткострокового прогнозування на тиждень виходячи з даних за попередній місяць. Тривалість періоду, який увійшов до бази даних починався з понеділка і закінчився перед вихідними.

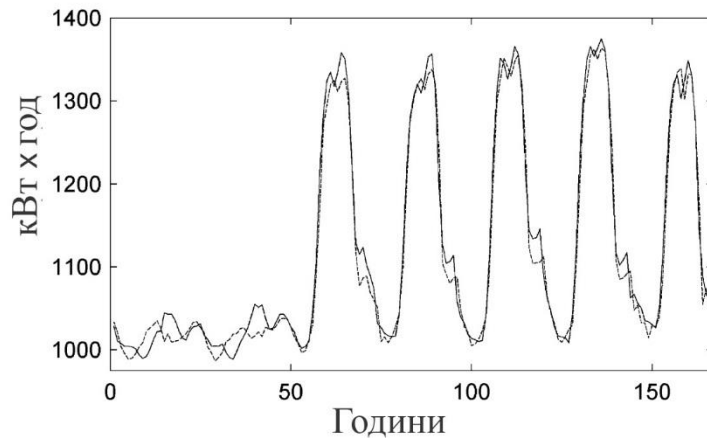


Рисунок 4. Графік прогнозування енергоспоживання за тиждень.

Виходячи з графіку, можна зробити висновок, що найбільше відхилення було при зменшенні енергоспоживання, коли напрямки збільшення та зменшення не мали тенденцію до сталої зміни. З результатів прогнозування, для робочого тижня без вихідних, які представлені на рисунку 4 у вівторок спостерігається деяке зменшення споживання, яке компенсується збільшенням наприкінці тижня. Можна стверджувати що для поліпшення точності прогнозування наявність індексування типу дня тижня та електричного навантаження по годинах для входу ШНН  $e^d_h$  не завжди допомагає підвищити точність прогнозування.

На рисунку 5 представлений графік зміни енергоспоживання з врахуванням святкового дня у середині тижня. В цьому випадку точність прогнозу зменшується внаслідок спонтанної зміни кількості робочих днів.

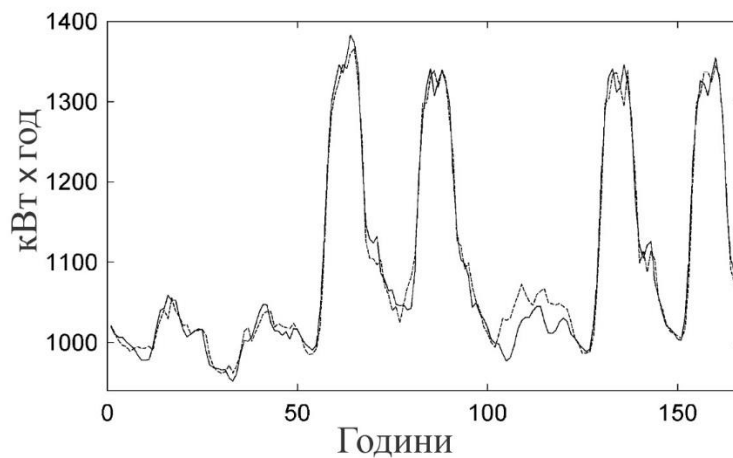


Рисунок 5. Графік прогнозування енергоспоживання за тиждень з врахуванням святкових днів.

На рисунку 6 показано прогнозування для двох послідовних тижнів. Як видно похибка між дійсним та прогнозованим споживанням залишається у мінімальних межах, хоча для прогнозування використовувався той самий набір даних, що і для прогнозування на тиждень.

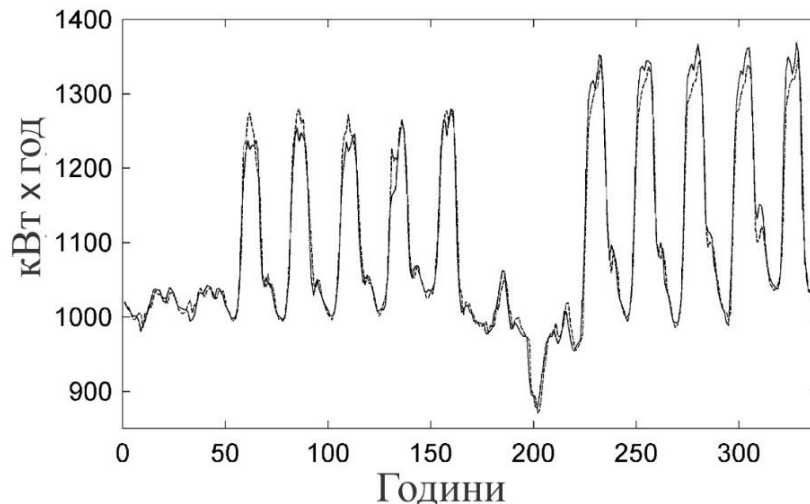


Рисунок 6. Графік прогнозування енергоспоживання за два послідовних тижня.

### 3.7 Достовірність прогнозування

З метою визначення впливу похибки прогнозу зміни температури для тієї ж самої ШНМ було у базу даних додано випадкову величину зміни при  $k + 1$  ( $T_{k+1}$  прогнозована температура) у межах  $\pm 0,5$  °C. В результаті було виявлено, що подібна температурна похибка прогнозування не здійснює значущий вплив на кінцевий результат, і може вважатися шумовою складовою яка пов'язана з вимірюванням  $T_k$ .

## 4 ВИСНОВКИ

У цій роботі було показано результати методу прогнозування електричного навантаження на базі ШНМ із зворотнім розповсюдженням похибки. Нова інтелектуальна система з багатофакторним аналізом впливів на енергоспоживання демонструє високу точність, порівнянно з кращими результатами, які представлені в літературі. Основною перевагою цієї системи є її простота, яка заснована на тому, що розроблений інструмент дуже простий і ресурси для його застосування доступні на сучасних комп'ютерних системах. Зокрема, для швидкого КПЕ, можна використовувати лише визначення температури повітря та вимірювання електричної потужності обладнання у споживачів.

До недоліків подібної інтелектуальної системи на ШНМ можна віднести відсутність формального підґрунтя при визначенні кількості нейронів, які складають ШНМ, оптимальний розмір об'ємів вхідних даних і параметри алгоритму навчання.

## Література

1. B.M. Flax, Intelligent Buildings, IEEE Communications Magazine (1991), April.
2. A. Khotanzad, R. Hwang, A. Abaye, D. Maratukulam, An adaptive modular artificial neural network hourly load forecaster and its implementation at electric utilities, IEEE Transactions on Power System 10 (3) (1995) 1716–1722, August.
3. A. Khotanzad, R. Afshkhami-Rohani, T.L. Lu, A. Abaye, M. Davis, D. Maratukulam, ANNSTLF a neural network-based electric load forecasting system, IEEE Transactions on Neural Networks 8 (4) (1997) 835–845, July.
4. A. Khotanzad, R. Afshkhami-Rohani, D. Maratukulam, ANNSTLF– artificial neural network short-term load forecaster–generation three, IEEE Transactions on Neural Networks 13 (4) (1998)

1413–1422, November.

5. M.H. Choueiki, C. Mount-Campbell, S. Ahalt, Building a quasi optimal neural network to solve the short-term load forecasting problem, IEEE Transactions on Power Systems 11 (4) (1997) 1432–1439, November.

6. G. Schenker, Prediction and Control Using Feedback Neural Networks and Partial Models. Ph.D. dissertation, Swiss Federal Institute of Technology, Zurich, 1996.

7. S. Haykin, Neural Networks, a Comprehensive Foundation, Maxwell Macmillan, 1994, pp. 160–161.

8. N. Baba, Y. Mogami, M. Kohzaki, Y. Shiraishi, Y. Yoshida, A hybrid algorithm for finding the global minimum of error function of neural networks and its applications, Neural Networks 17 (8) (1994) 1253–1265.

9. F. Solis, R. Wets, Minimization by random search techniques, Mathematics of Operation Research 6 (1981) 19–30.

10. J.M. Zamarren˜o, P. Gonza˜lez, A hybrid method for training a feedback neural network, in: Proceedings of The First International NAISO Congress on NEURO FUZZY TECHNOLOGIES, January 2002, Havana, Cuba, ICSC-NAISO Academy Press, 2002.

11. A. Khotanzad, M. Davis, A. Abaye, D. Maratukulam, An artificial neural network hourly temperature forecaster with applications in load forecasting, IEEE Transactions on Power System 11 (No. 2) (1996) 870–876.

12. P. Gonza˜lez, J.M. Zamarren˜o, A short-term temperature forecaster based on a novel radial basis functions neural network, International Journal of Neural Systems 11 (1) (2001) 71–77.

13. P. Gonza˜lez, J.M. Zamarren˜o, A short-term temperature forecaster based on a state space neural network, Engineering Applications of Artificial Intelligence 15 (2002) 459–464.

14. M. Ohlsson, C. Peterson, H. Pi, T. Rognvaldsson, B. Soderberg, Predicting System Loads with Artificial Neural Networks-Methods and Results from the Great Energy Predictor Shootout. Technical Report LU T 93-24, September 1993.

15. R. Dodier, G. Henze. Statistical Analysis of Neural Network as applied to Building Energy Prediction. Energy Systems Laboratory. Technical Report ESL-PA-96/07.

16. D. Srinivasan, C.S. Chang, A.C. Liew, Demand forecasting using fuzzy neural computation, with special on weekend and public holiday forecasting, IEEE Transaction on Power Systems 7 (4) (1996) 1897–1903, November.

**УДК 681.52**

**Дубовик В.Г.,**

**Лебедєв Л.М.,**

**Барсукова К.І., студ.**

**Боднарук О.Ю., студ.**

кафедра автоматизації управління

електротехнічними комплексами

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

### **ЗАХИСТ АСИНХРОННОГО ЕЛЕКТРОДВИГУНА З ЖИВЛЕННЯМ ВІД ПЕРЕТВОРЮВАЧА ЧАСТОТИ**

*У статті показано, що запропонований пристрій забезпечує контроль теплового*

режиму та втрат потужності електродвигуна з урахуванням дії вищих гармонік напруги та струму при різних значеннях частоти обертання вала, а також дозволяє підвищити ефективність і надійність його функціонування.

**Ключові слова:** перетворювач частоти, асинхронний електродвигун, технічний стан, аварійні режими.

Dubovyk Volodymyr, Lebedev Lev

Barsukova Kateryna, stud, Bodnaruk Oleksiy, stud.

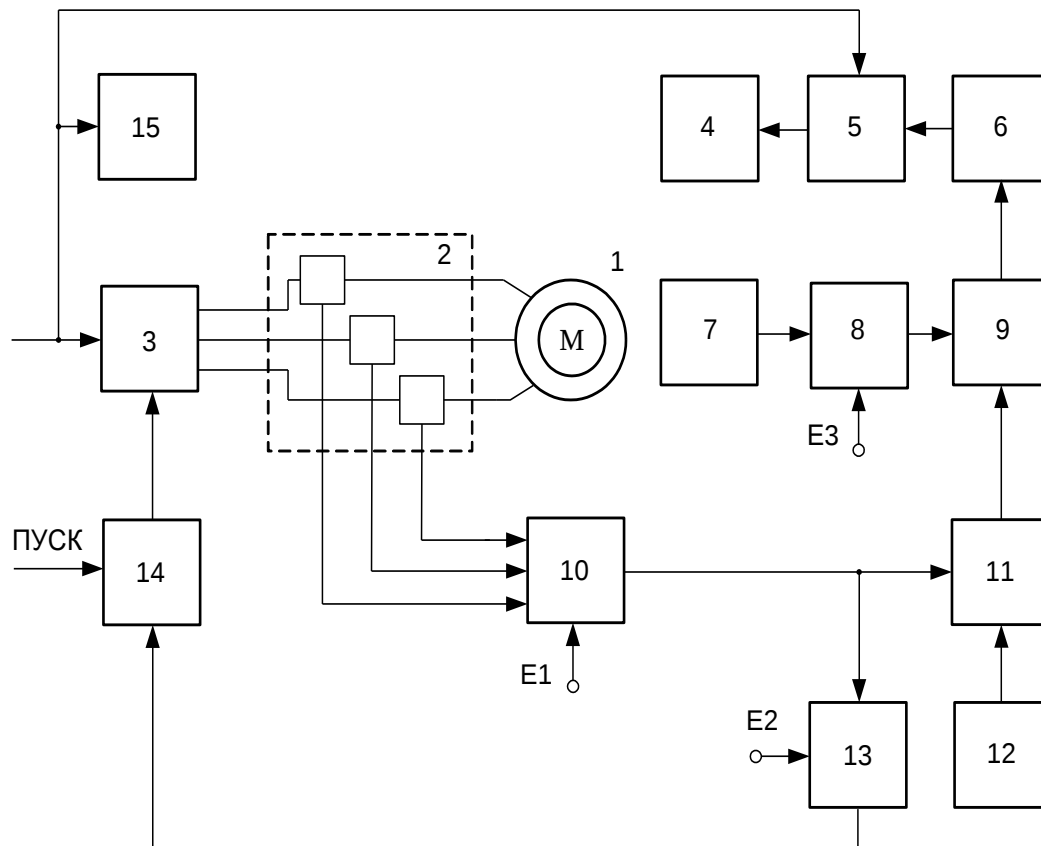
### PROTECTION OF ASYNCHRONAL ELECTRIC MOTOR VEHICLES WITH POWER FROM FREQUENCY CONVERTER

*The article shows that the proposed device provides control of the thermal mode and power losses of the electric motor taking into account the effect of higher harmonics of voltage and current at different values of the rotational speed of the shaft, and also allows to increase the efficiency and reliability of its operation.* Keywords: transformer of frequency, technical state, malfunctions.

**Keywords:** frequency converter, asynchronous electric motor, technical condition, emergency modes.

Вихідні струми і напруга перетворювача частоти на відміну від стандартної мережі мають несинусоїдальну форму. Це приводить до збільшення напруги ізоляції двигуна, збільшуються його втрати. Оскільки технічними умовами заводу-виготовника не передбачаються випробування стандартного асинхронного двигуна при живленні його від перетворювача частоти, з'являється необхідність в проведенні додаткових перевірок двигуна. Міжнародним електротехнічним комітетом, прийнято стандарт МЭК 34-17 «Асинхронні двигуни з короткозамкнутим ротором при живленні від перетворювачів частоти», де рекомендується для збільшення ефекту охолодження при низькій частоті обертання використовувати окремий вентилятор з постійною максимальною частотою обертання [1].

Вищі гармоніки зумовлюють збільшення втрат в статорі та роторі електродвигуна. Додаткові втрати потужності підвищують температуру, з'являються локальні місця перегрівання, з'являються додаткові моменти на частотах вищих гармонік, які можуть призвести до відчутних вібрацій електродвигуна. В результаті підвищеного нагріву відбувається прискорене старіння ізоляції, а також необоротні фізико-хімічні процеси, що протікають під впливом полів вищих гармонік. В відомих пристроях не враховуються втрати потужності в електродвигуні від дії вищих гармонік напруги та струму при різних значеннях частоти обертання вала. Запропоновано пристрій, який забезпечує захист асинхронного електродвигуна при підвищенні його температури при зниженій частоті обертання вала, а також при зростанні повних втрат потужності в електродвигуні вище номінального значення [2].



**Рисунок 1 - Структурна схема пристрою захисту асинхронного електродвигуна з живленням від перетворювача частоти.**

Пристрій захисту асинхронного електродвигуна 1 з живленням від перетворювача частоти (рис.1) складається із блоку 2 датчиків струму, три входи якого сполучені з трьома виходами перетворювача частоти 3, а три перші виходи з фазними ланцюгами електродвигуна 1, блок 4 вентилятора сполучено через ключовий елемент 5 з виходом блока 6 незалежної витримки часу, датчик 7 швидкості, який має зв'язок з електродвигуном 1, сполучено через блок 8 визначення продуктивності обдування з другим входом другого порогового елемента 9, три входи блока 10 визначення втрат потужності сполучені з трьома другими виходами блока 2 датчиків струму, а його вихід сполучено з другим входом блоку 11 визначення тепловідводу, перший вхід якого підключено до виходу датчика 12 температури, вихід блока 10 визначення втрат потужності сполучено також через перший пороговий елемент 13 з елементом І 14, другий вхід якого сполучено з ланцюгом сигналу ПУСК, а вихід сполучено з входом перетворювача частоти 3, другий вхід якого сполучено з ланцюгом мережі живлення, блоком 15 живлення та з входом ключового елемента 5, вихід порогового елемента 9 сполучено з входом блока 6 незалежної витримки часу, а вхід з виходом блоку 11 визначення тепловідводу, три джерела Е1, Е2, Е3 постійної вхідної дії сполучені, відповідно, з четвертим входом блока 10 визначення втрат потужності, з другим входом першого порогового елемента

13, з другим входом блока 8 визначення продуктивності обдування [3].

Блок 2 датчиків струму може бути виконаний з трьох датчиків струму, наприклад, з використанням датчиків струму на ефекті Хола і забезпечує формування вихідного сигналу пропорційного миттєвому значенню струму в ланцюгах живлення електродвигуна без його викривлень. Такі датчики виготовляє фірма LEM. Ланцюги живлення датчиків струму на ефекті Хола не показані.

При скалярному управлінні вихідна частота і амплітуда напруги перетворювача частоти 3 може змінюватися згідно із законом  $(U/f)^n = \text{const}$ , де  $n \geq 1$ , забезпечується постійність перевантажувальної здатності електроприводу незалежно від частоти напруги, проте має місце зниження моменту, що розвивається двигуном, при низьких ( $f < 0,1 f_{\text{ном}}$ ) частотах, а діапазон зміни швидкості обертання ротора при незмінному моменті опору досягає 1:10.

При методі векторного управління в систему управління закладається математична модель електродвигуна, яка дозволяє розраховувати момент на валу і швидкість обертання валу з використанням тільки датчиків струму фаз статора, забезпечується незалежне і практично безінерційне регулювання двох основних параметрів - моменту на валу і швидкості обертання. Це також дозволяє плавне, без ривків, обертання двигуна в області малих частот; можливість забезпечення номінального моменту на валу при нульовій швидкості за наявності датчика швидкості, швидко реакція на зміну навантаження без стрибків швидкості, забезпечується режим роботи при мінімальних втратах на нагрів і намагнічення електродвигуна.

В перетворювачах частоти може забезпечуватися максимально-струмовий захист, захист від перегріву двигуна і перетворювача, захист від перевантаження, надмірних відхилень напруги живлення, обриву фази, міжфазного короткого замикання, замикання фази на землю і помилок зв'язку. В них також передбачаються входи для підключення датчика швидкості, а також можуть бути виходи з сигналом напруги, пропорційним вихідній частоті перетворювача частоти. Захист від перегріву електродвигуна являється аварійним і він не може забезпечити контроль режимів його охолодження при різних значеннях навантаження, та при зміні частоти обертання вала ротора. Живлення перетворювача частоти 3 може здійснюватися від однофазної чи трифазної мережі. Ланцюги для задавання вихідної частоти та інших налаштувань перетворювача частоти не приведені.

Блок 5 вентилятора може бути виконаний з використанням вентилятора з приводом від окремого електродвигуна і забезпечує подачу повітря для додаткового охолодження електродвигуна 1. Продуктивність блока 5 вентилятора близька до продуктивності робочого колеса вентилятора електродвигуна 1.

Блок 6 незалежної витримки часу може бути виконаний з використанням елементів затримки і забезпечує затримку на заданий інтервал часу формування вихідного сигналу для запобігання випадкових переключень в пристрої.

Датчик 7 швидкості може бути виконаний з використанням електричної машини або перетворювача імпульсної послідовності частоти обертання, які контактено чи безконтактно зв'язані з валом електродвигуна і забезпечує формування вихідного сигналу, пропорційного частоті обертання валу електродвигуна 1. Якщо пристрій захисту живиться від перетворювача частоти 3 з векторним керуванням, то використання датчика швидкості не обов'язкове, так як, при цьому замість вихідного сигналу датчика 7 швидкості може бути використаний сигнал, який пропорційний частоті обертання вала електродвигуна 1, з окремого виходу перетворювача частоти.

Блок 8 визначення продуктивності обдуву може бути виконаний з використанням функціонального перетворювача, який реалізує залежність  $U_8 = E_3 \cdot U_7 / U_7 n$  та забезпечує

формування вихідного сигналу при зміні сигналу датчика швидкості  $U_7$  від номінального значення  $U_{7н}$ .

Блок 10 визначення втрат потужності в електродвигуні 1 може бути виконаний з використанням функціональних вузлів, перетворювачів сигналів, які забезпечують визначення втрат потужності з урахуванням значення  $E_1$ , а також, що  $U_{10} = \Delta P_d$ ,

$$\Delta P_d = \Delta P_{ем} + \Delta P_{мех},$$

де  $\Delta P_d$  - втрати потужності в електродвигуні 1,

$\Delta P_{ем}$  - електромагнітні втрати потужності,

$\Delta P_{мех}$  - механічні втрати потужності.

Механічні втрати  $\Delta P_{мех}$  потужності складають приблизно 5-10% від номінальних втрат потужності і мають квадратичну залежності тільки від частоти обертання вала електродвигуна.

Електромагнітні втрати  $\Delta P_{ем}$  потужності містять додаткові втрати  $\Delta P_{доб}$ , а також основну  $\Delta P_{ем1}$  і модуляційну  $\Delta P_{ем.п}$  складові електромагнітних втрат потужності  $\Delta P_{ем} = \Delta P_{доб} + \Delta P_{ем1} + \Delta P_{ем.п}$ , з яких два перших доданки залежать від амплітуди основної гармоніки фазного струму статора, а останній доданок - від дії всіх вищих гармонійних складових фазного струму статора.

Основні електромагнітні втрати  $\Delta P_{ем1}$  потужності складаються із електричних втрат  $\Delta P_{е1}$  і магнітних втрат у сталі  $\Delta P_{м1}$  за виразом  $\Delta P_{ем1} = \Delta P_{е1} + \Delta P_{м1}$ .

Модуляційні електромагнітні втрати  $\Delta P_{ем.п}$  потужності складаються з електричних втрат  $\Delta P_{е.п}$  та магнітних втрат у сталі  $\Delta P_{м.п}$  за виразом

$$\Delta P_{ем.п} = \Delta P_{е.п} + \Delta P_{м.п},$$

які розраховуються згідно наступних залежностей

$$\Delta P_{е1} = 3/2(R_s + k_2 R_r \sin^2 \varphi) I_{12}^2;$$

$$\Delta P_{м1} = \Delta P_{мн} (L_m^2 \cos^2 \varphi + k_2^2 L_{\sigma R}^2 \sin^2 \varphi) \cdot \alpha_{11,3} I_{12}^2 / \Psi_{мн}^2;$$

$$\Delta P_{е.п} = 1/2 (R_s + k_2 R_r) \cdot \alpha_{п1} \Delta I_{п2}^2;$$

$$\Delta P_{м.п} = \Delta P_{мн} k_2^2 L_{\sigma R}^2 \alpha_{п1,3} \Delta I_{п2}^2 / \Psi_{мн}^2,$$

де  $P_n$ ,  $I_n$  и  $\eta_n$  - номінальні значення, відповідно, потужності, струму статора і ККД електродвигуна 1;

$\Delta P_{мн}$  і  $\Psi_{мн}$  - номінальні значення втрат в сталі і амплітуда магнітного потоку в повітряному зазорі електродвигуна 1;

$R_s$  і  $R_r$  - номінальні значення активного опору статора і ротора електродвигуна 1, відповідно;

$L_m$  і  $L_{\sigma R}$  - номінальні значення індуктивності намагнічування та індуктивності розсіяння ротора електродвигуна 1, відповідно;

$\varphi$  - кут навантаження - кут між узагальненими векторами струму статора і поточечепленням ротора;

$k$  - коефіцієнт зв'язку ротора електродвигуна 1;

$\alpha_1$  - відносна частота основної гармоніки

$\alpha_1 = f_1 / 50$ ,  $f_1$  – вихідна частота перетворювача 3;

$I_1$  – поточне значення амплітуди основної гармоніки фазного струму статора електродвигуна 1;

$\Delta I_p$  - середньоквадратичне відхилення модуля узагальненого вектора струму  $I_s$  статора від свого середнього значення, рівного  $I_1$ .

Номінальні значення величин для визначення  $U_{10} = \Delta P_d$  вводяться в блок 10, і ланцюги для їх вводу не приведені, крім номінального значення потужності, яка пропорційна амплітуді джерела постійної вхідної дії  $E_1$ .

Блок 11 визначення тепловідведення може бути виконаний з використанням

функціонального перетворювача і забезпечує визначення значення подачі повітря  $G_p$  для тепловідведення з врахуванням  $G_p = \Delta P_d / C_p \cdot (T_n - T)$ , м<sup>3</sup>/год., де

$\Delta P_d$  - втрати потужності в електродвигуні 1, Вт;

$C_p$  - питома теплоємність повітря, 0,35 Вт • год./ м<sup>3</sup> • град;

$T_n$  - значення температури електродвигуна 1 при номінальному режимі роботи, град;

$T$  – поточне значення температури повітря для охолодження,

за виразом  $U_{11} = U_{10} / k \cdot (U \cdot T_n - U_{12})$ ,  $k$  – коефіцієнт, який пропорційний  $C_p$ .

Номінальне значення величин  $k$  та  $U \cdot T_n$  пропорційні  $T_n$  та вводяться в блок 11 і ланцюги для їх вводу не приведені.

Датчик 12 температури може бути виконаний з використанням елементів з додатнім температурним коефіцієнтом і забезпечує вимірювання температури повітря для охолодження електродвигуна 1.

Прийняті позначення  $U_{ni}$  - амплітуда сигналу на  $i$ -му виході  $n$ -го блоку.

Працює пристрій таким чином. Після подачі напруги в силові ланцюги подається напруга на блок живлення 15 та на другий вхід перетворювача частоти 3. Натискається кнопка ПУСК (не показана) і сигнал логічної одиниці подається на другий вхід елемента І 14, на його виході також встановлюється рівень логічної одиниці, що забезпечує розгін електродвигуна за допомогою перетворювача частоти 3. При його роботі сигнали з блоку 2 датчиків струму подаються на блок 10 визначення втрат потужності, а на його виході появляється сигнал, пропорційний значенню втрат потужності в електродвигуні 1, який подається на блок 11 визначення тепловідведення та на пороговий елемент 13 з характеристикою

1, при  $U_{10} < E_2$

$U_{13} =$

0, при  $U_{10} \geq E_2$ .

$E_2$  – напруга, пропорційна значенню допустимих втрат потужності в електродвигуні.

На вхід блока 11 подається також сигнал, пропорційний температурі повітря охолодження електродвигуна 1, від датчика 12 температури, а на його виході появляється сигнал  $U_{11}$ , пропорційний значенню подачі повітря для тепловідведення, який подається на пороговий елемент 9 з характеристикою

1, при  $U_{11} \geq U_8$

$U_9 =$

0, при  $U_{11} < U_8$ .

При  $U_9 = 0$  вихідний сигнал блока 6 незалежної витримки часу також дорівнює нулю і він подається на ключовий елемент 5, який при цьому залишається розімкнутим і на блок 4 вентилятора напруга живлення не подається. Ключовий елемент 5 замикається тільки при умові подачі на його вхід від блоку 6 сигналу логічної одиниці. Для зупинки електродвигуна 1 сигнал ланцюга ПУСК на вході елемента 14 переводиться в нуль і на його виході також встановлюється нуль, що приводить до відключення напруги з виходу перетворювача частоти 3.

При перевантаженні електродвигуна 1 або зниженні частоти обертання вала нижче номінальної, його втрати потужності зростають, а продуктивність колеса обдування знижується. При цьому вихідний сигнал блоку 10 зростає, що приводить до зростання сигналу на виході блоку 11, крім того, сигнал на виході блоку 8 зменшується і це призводить до переключення порогового елемента 9, на виході якого встановлюється рівень логічної одиниці. З затримкою, встановленою для блоку 6, на його виході встановлюється рівень логічної одиниці, що призводить до замикання ключового елемента 5, який забезпечує подачу живлення на блок 4 вентилятора, який запускається і складає додаткове обдування електродвигуна 1 завчасно, що не допускає його перегрівання. При зменшенні втрат

потужності або підвищенні частоти обертання вала електродвигуна пороговий елемент 9 переключається до зворотнього стану, що приводить до розмикання ключового елемента 5 і відключенню блока 4 вентилятора від мережі. Такий режим додаткового обдування електродвигуна 1 попереджує його перегрів, а робота блока 4 вентилятора забезпечує енергоефективний режим його використання.

В випадку значного зростання втрат потужності електродвигуна 1, вихідний сигнал U10 блоку 10 перевищує рівень амплітуди E2 на другому вході порогового елемента 13 і його вихідний сигнал переходить в нульовий рівень, що приводить через елемент І 14 до відключення перетворювача частоти 3 і зупинки електродвигуна 1.

Старіння електричної ізоляції приводить до зміни електричних властивостей і є сукупністю великого числа різноманітних явищ як хімічних (окислення, деполімеризація, гідроліз), так і фізичних (плавлення, розм'якшення, випаровування, наростання твердості, розтріскування, зміна міцності на розтягування). Швидкість хімічних реакцій, випаровування, дифузії і т.д. залежать від температури по експоненціальному закону і з цим узгоджується положення про зменшення терміну служби ізоляції удвічі при кожному підвищенні її температури на  $(8-10)^{\circ}\text{C}$ .

Як відомо, режими захисту електродвигуна від перевантаження ґрунтуються на його тепловій моделі, контролюючій зміну параметра добутку квадрата струму навантаження за якийсь час ( $I^2 \cdot t$ ), закладеного в програмному забезпеченні перетворювача частоти для стандартного електродвигуна і додатково на використанні термісторного датчика перегріву електродвигуна зовнішнього або вбудованого в обмотку статора. Тепловий захист електродвигуна, заснований тільки на тепловій моделі, не забезпечує високу точність, тому, що температура двигуна тільки розраховується, при цьому не враховується зміна температури навколишнього середовища. Можливе помилкове спрацювання термісторного датчика в результаті дії вищих гармонік напруги на виході перетворювача частоти, в загальному випадку при такому захисті є збільшення уставки спрацювання реле захисту приблизно на 10%.

Використання пристрою дозволяє підвищити надійність підтримання необхідного теплового режиму електродвигуна, уникнути порушень електромеханічного і температурного режиму при збільшенні втрат потужності електродвигуна 1 і дозволяє запобігти старінню ізоляції. Для використання пристрою в широкому діапазоні потужностей електродвигуна використовуються джерела постійної вхідної дії, які дозволяють просто робити налаштування на конкретну номінальну потужність електродвигуна 1 за допомогою джерела E1, за значеннях допустимих втрат в електродвигуні 1 за допомогою джерела E2, номінального значення продуктивності обдування вентилятора електродвигуна 1 за допомогою джерела E3.

#### **Використані джерела:**

1. Патент України №7650. Дубовик В.Г., Агліулін В.Ф., Калінчик В.П. Пристрій захисту асинхронного електродвигуна від перевантаження та обриву фази. Н02Н 7/09. Бюл. №4. 26.12.95.
2. Патент України на корисну модель №46121. Дубовик В.Г., Лебедев Л.М., Перевозник Є.П. Пристрій захисту асинхронного електродвигуна. Н02Н07/085. Бюл. № 23. 10.12.2009.
3. Патент України на корисну модель №62510. Дубовик В.Г., Лебедев Л.М., Скуратовський Є.В. Пристрій захисту асинхронного електродвигуна з живленням від перетворювача частоти. Н02Н07/085. Бюл. № 16, 2011 р.

УДК 681.52

Дубовик В.Г.,  
Лебедєв Л.М.,  
Грибан Д.О., студ.  
Харкевич Р.В., студ.  
кафедра автоматизації управління  
електротехнічними комплексами  
Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

## ОЦІНКА ТЕХНІЧНОГО СТАНУ МАШИН МЕТОДОМ КОНТРОЛЮ ВІБРАЦІЇ

*У статті показано, що запропонований пристрій дозволяє підвищити точність діагностики технічного стану, встановити відповідність амплітуд складових несучої частоти вібрації та її гармонік з технологічним навантаженням машин, забезпечити можливість ідентифікувати причини вібраційних змін та порушень.*

*Ключові слова: машини, технічний стан, контроль вібрації.*

Dubovyk Volodymyr, Lebedev Lev,  
Gryban Daryna, stud, Charkevich Roman, stud.

## EVALUATION OF TECHNICAL STATE OF MACHINES BY METHOD OF VIBRANC CONTROL

*The article shows that the proposed device allows to improve the accuracy of the diagnostics of the technical condition, to establish the conformity of the amplitudes of components of the carrier frequency of vibration and its harmonics with technological load of machines, to provide an opportunity to identify the causes of vibrational changes and violations.*

*Keywords: machinery, technical condition, vibration control.*

Контроль вібрації машин скорочує витрати при ремонті машин і устаткування при виході їх з ладу, скорочує накладні витрати і час непередбачених простоїв, дозволяє своєчасно проводити спеціалізоване технічне обслуговування, при якому:

а) своєчасно розпізнаються пошкодження компонентів машин вже в початковій стадії виникнення;

б) роботи виконуються тільки за потребою і можуть бути своєчасно заплановані;

в) економія витрат на ремонт машин може досягати більше 15%;

г) знижуються витрати при простоях обладнання виробництва;

д) знижуються витрати на запасні частини.

Мета вимірювань - своєчасно розпізнати відхилення стану машини від нормального, щоб виконати коригувальні дії до того, як дефекти в різних частинах машини приведуть до погіршення якості її роботи, скорочення терміну служби або відмови [1].

Запропоновано пристрій, який дозволяє контролювати рівні вібрації в електричних машинах змінного струму, де треба враховувати сили електромагнітної природи, що мають свої власні частоти:

– перша пов'язана з частотою живлячої мережі і має пік на частоті 50 Гц.

– друга генерує коливання з частотою прояву електромагнітних процесів в міді і сталі, має пік на частоті 100 герц, проявляється у вібрації сердечника і обмоток всіх машин змінного струму;

– третя пов'язана з частотою обертання електромагнітного поля в зазорі електричної

машини і є частка від ділення частоти живлячої мережі на число пар полюсів;

- четверта сила пов'язана з ковзанням в асинхронних машинах;

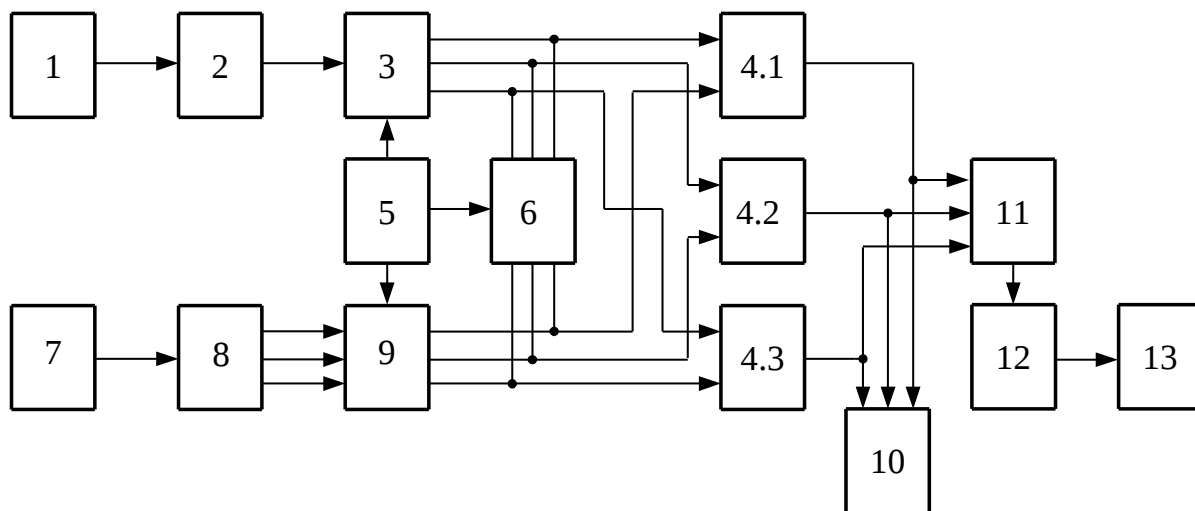
- п'ята викликається наявністю зубцово - пазової структури в зазорі електричної машини, що завжди приводить, при частоті обертання ротора з частотою 50 Гц, до збільшених вібрацій у вертикальному напрямі з частотою в 100 Гц.

Основна ознака того, що контрольований дефект має електромагнітну причину, то це миттєве зникнення його ознак в спектрі вібрації після відключення електричної машини від мережі. Діагностика причин підвищеної вібрації в електричних машин повинна проводитися при можливо більшому навантаженні двигуна.

В відомих пристроях є недостатня точність контролю вібрації, пов'язана з відсутністю зв'язку між амплітудою складових несучої частоти вібрації, її гармонік та технологічним навантаженням машин і, крім того, недостатня можливість ідентифікувати причини вібраційних змін та порушень [2].

Для оцінки технічного стану, підвищення точності діагностики, встановлення зв'язку амплітуд складових несучої частоти вібрації та її гармонік з технологічним навантаженням машин запропоновано пристрій, який дозволяє підвищити надійність та строк служби обладнання, ідентифікувати причини вібраційних змін та порушень та оперативно впливати на технологічний процес

На рис. 1 представлена структурна схема пристрою для контролю вібрації машин.



**Рисунок 1 - Структурна схема пристрою для контролю вібрації машин**

Пристрій для контролю вібрації машин (рис. 1) складається з послідовно сполучених віброперетворювача 1, аналізатора спектру 2, блоку 3 реєстрації рівнів вібросигналів, три виходи якого сполучені з другими входами трьох порогових елементів 4.1, 4.2, 4.3, а другий вхід сполучено з третім виходом схеми керування 5, другий вихід якої сполучено з четвертим входом ключового елемента 6 триканального, датчика технологічного 7, вихід якого сполучено з блоком 8 визначення навантаження, три виходи якого сполучені з трьома входами блоку 9 пам'яті, четвертий вхід якого сполучено з виходом схеми керування 5, а три виходи сполучені з трьома виходами ключового елемента 6 триканального та входами трьох порогових елементів 4.1, 4.2, 4.3, другі входи яких сполучені з трьома виходами блоку 3 реєстрації рівнів вібросигналів та трьома входами ключового елемента 6 триканального, виходи трьох порогових елементів 4.1, 4.2, 4.3 сполучені з трьома входами дисплею 10 та

трьома входами елемента 11 АБО, вихід якого сполучено з блоком 12 затримки, вихід якого сполучено з блоком 13 захисту.

Віброперетворювач 1 призначений для вимірювання вібраційної швидкості, вібраційного і ударного прискорень в встановленому частотному діапазоні, має електричну ізоляцію п'єзоелемента і вбудованого підсилювача від корпусу, поєднані високі значення осьової чутливості з низьким рівнем власного шуму, частоти, володіє низькою чутливістю до електромагнітних полів.

Аналізатор спектру 2 забезпечує аналіз вимірних спектрів методом розкладання загального рівня вібрації на частотні складові за допомогою швидкого перетворення Фур'є (ШПФ). По осі X такого графіка відкладається частота в Гц, по осі Y – амплітуда, яка вимірюється в одиницях вібропереміщення (мм), віброшвидкості (мм/сек), віброприскорення (g),  $g=9,807 \text{ м} \cdot \text{с}^{-2}$ . Значення величини амплітуди вібрації відповідає певній частоті на спектрі і визначає ступінь розвитку дефекту. Перетворення Фур'є дозволяє зіставити сигналу, заданому в часовій області, його еквівалентному уявленню в частотній області. Навпаки, якщо відома частотна характеристика сигналу, то зворотне перетворення Фур'є дозволяє визначити відповідний сигнал в часовій області. Швидке перетворення Фур'є – простий алгоритм обчислення для дискретного перетворення Фур'є (ДПФ), при якому представляється сигнал у вигляді суми синусоїд. Як набір вхідних даних для ДПФ доступно кінцеве число відліків N. Основне рівняння для отримання N-точкового ДПФ виглядає таким чином:

$$X(k) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x(n) e^{-j2\pi nk/N} = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x(n) [\cos(2\pi nk/N) - j \sin(2\pi nk/N)]$$

$X(k)$  - частотний вихід ДПФ в k-й точці спектру, що знаходиться в діапазоні від 0 до N - 1. N - число відліків при обчисленні ДПФ,  $x(n)$  - n-ий відлік в часовій області, де n знаходиться в діапазоні від 0 до N-1.

У загальному вигляді рівняння  $x(n)$  може бути дійсним або комплексним, а його косинусоїдальні, синусоїдальні компоненти можуть бути виражені в полярних або прямокутних координатах, зв'язок між якими визначається формулою Ейлера  $e^{j\theta} = \cos\theta + j\sin\theta$ .

В аналізаторі спектру 2 для апаратної реалізації алгоритмів ШПФ для цифрового процесора-обробника сигналів (DSP- digital signal processor) можуть бути використані наступні процесори DSP, наприклад фірми Analog Devices типу ADSP-2189M на 16 розрядів, ADSP-21160 SHARC™ на 32 розряди.

Блок 3 реєстрації рівнів вібросигналів забезпечує вимірювання амплітуд сигналів вібрації в трьох піддіапазонах з використанням фільтрів для стандартного діапазону 10 Гц – 1кГц згідно ГОСТ ИСО 10816-1-97, яким визначаються загальні рівні вібрації у вигляді зон рівнів вібрації залежно від класу машин і є базовим документом по вимірюванню і оцінці вібрації машин. Рівні зон виражені в середньоквадратичних значеннях віброшвидкості  $V_r.m.s$ , (мм/с) для машин чотирьох класів, а для оцінки амплітуди вібрацій їх значення розділені на чотири зони. Вибір ширини кожного з трьох піддіапазонів визначається за результатами проведення діагностичних вимірювань показників вібрації, з використанням портативних аналізаторів даних вібрації, наприклад, типу SKF Microlog CMXA50 і програмного забезпечення Machine Analyst.

Схема керування 5 забезпечує режими запису в блок 9 пам'яті при підготовці пристрою до роботи.

Ключовий елемент 6 триканальний забезпечує замикання трьох виходів блоку 3 реєстрації рівнів вібросигналів з трьома виходами блоку 9 пам'яті при подачі логічного високого рівня з другого виходу схеми керування 5.

Датчик технологічний 7 забезпечує вимірювання значень величини технологічного

параметру, який найбільш точно відзеркалює стан навантаження машини при її експлуатації. Технологічним параметром може бути струм електродвигуна, напір насосної установки, частота обертання вала, та інші, а для їх вимірювання використовуються, відповідно, датчики струму, датчики тиску, тахометри.

Блок 8 визначення навантаження забезпечує виділення з загального можливого значення величини  $U_T$  технологічного параметру окремих діапазонів значень  $U_i$  і присвоєння їм цифрового коду з трьох розрядів, див. приклад в табл.

| № поз. | Значення відносно параметру $U_T$ | Цифровий код |
|--------|-----------------------------------|--------------|
| 1      | $U_1=0,1 \div 0,5 U_T$            | 001          |
| 2      | $U_2=0,5 \div 0,75 U_T$           | 010          |
| 3      | $U_3=0,75 \div 0,85 U_T$          | 011          |
| 4      | $U_4=0,85 \div 0,95 U_T$          | 100          |
| 5      | $U_5=0,95 \div 1,05 U_T$          | 101          |
| 6      | $U_6=1,05 \div 1,15 U_T$          | 110          |
| 7      | $U_7=1,15 \div 1,50 U_T$          | 111          |

Блок 8 може бути реалізований з використанням порогових елементів для значень  $U^i$ , а також логічних елементів для одержання цифрового коду з трьох розрядів.

Блок 9 пам'яті забезпечує встановлення на трьох вихідних ланцюгах значень сигналів, записаних раніше в режимі запису по сигналах схеми керування 5, в відповідності з цифровим кодом на вході. Пам'ять виконується на запам'ятовувальних конденсаторах.

Дисплей 10 забезпечує відображення значень параметрів вібрації в аварійних режимах, на його вхід подаються сигнали через блок сполучення, який не показаний.

Блок 12 затримки забезпечує затримку передачі вхідного сигналу на переключення вихідного сигналу блоку.

Блок 13 захисту забезпечує переключення блоків схеми управління машиною, при необхідності її відключення в аварійному режимі, і може бути виконаний на ключових елементах, які забезпечують гальванічну розв'язку.

Блок живлення пристрою контролю вібрації машин не показаний.

Прийняті позначення  $U_n^i$  - напруга на  $i$ -му виході  $n$ -го блоку.

Працює пристрій наступним чином. Перед проведенням експлуатації пристрою проводиться калібрування з урахуванням передаточних характеристик всіх блоків і далі при робочих режимах машини записують значення з трьох виходів блоку 3 реєстрації рівнів вібросигналів в блок 9 пам'яті через ключовий елемент 6 триканальний, який замикається за допомогою схеми керування 5, яка забезпечує з другого виходу подачу логічного високого рівня на ключовий елемент 6 триканальний, а також з першого виходу - на четвертий вхід блоку 9 пам'яті для забезпечення режиму запису. Інтерфейси вводу-виводу в блоку 9 пам'яті не показані.

В робочому режимі після подачі напруги в ланцюги живлення пристрою сигнал з віброперетворювача 1, пропорційний амплітудному значенні вібрації, при роботі машини подається на аналізатор спектру 2, який забезпечує аналіз вимірюваних спектрів методом розкладання загального рівня вібрації на частотні складові за допомогою швидкого перетворення Фур'є, а з його виходу сигнали подаються на блок 3 реєстрації рівнів

вібросигналів, який виконує вимірювання амплітуд сигналів вібрації в трьох піддіапазонах з використанням фільтрів. Три вихідні сигнали блоку 3 подаються на другі входи порогових елементів 4.1, 4.2, 4.3, де порівнюються з сигналами на перших входах цих елементів, що поступають від блоку 9 пам'яті. Порогові елементи 4.1, 4.2, 4.3 мають характеристику

$$U_4^i = 0, \text{ якщо } U_3^i \leq U_7^i, \quad U_4^i = 1, \text{ якщо } U_3^i > U_7^i.$$

Сигнали з датчика 7 технологічного подаються на блок 8 визначення навантаження, на виході якого, залежно від значення навантаження встановлюється цифровий код, в відповідності з табл., який подається на блок 9 пам'яті, з виходів якого, значення рівнів сигналів механічної вібрації машини при режимах, встановлених при наладці, та які були записані при підготовці пристрою до роботи, подаються на входи трьох порогових елементів 4.1, 4.2, 4.3.

При появі сигналу рівня логічної одиниці  $U_4^i = 1$  на одному або кількох виходах він передається через елемента 11 АБО на блок 12 затримки, який забезпечує переключення вихідного сигналу блоку з логічного нуля в одиницю з затримкою, а також на дисплей 10 для візуалізації і ідентифікації перевищення значення вібрації. З виходу блоку 12 затримки сигнал подається на блок захисту, який забезпечує відключення машини.

Сигнал на виході четвертого порогового елементу з'являється у разі зносу підшипників і вібрації валу, порушенні центрування осей валу, порушенні балансування приводного механізму, в відповідності до ГОСТ ІСО 10816-1-97 і залежить від потужності машин та області використання.

Вимірювальна система пристрою передбачає можливість калібрування всього вимірювального тракту і має незалежні виходи для під'єднування додаткових аналізаторів. Кріплення віброперетворювача має бути таким, що воно не змінює вібраційні характеристики машини. Вимоги до апаратури, призначеної для вимірювання середнього квадратичного значення вібрації в діапазоні 10...1000 Гц визначаються по ГОСТ ІСО 2954.

Застосування пристрою дозволяє підвищити ефективність і надійність функціонування машин, а також забезпечує відключення їх при аварійних ситуаціях при виникненні підвищеного рівня вібрації. Це дозволяє уникнути технологічних перевантажень, підвищити продуктивність робочих механізмів.

Пристрій дозволяє контролювати технологічний небаланс в машинах, який може виникати в робочому режимі, при частково відкритих заслінках, наприклад для вентиляторів, що підвищує рівень вібрації із-за порушень балансування, а також гістерезис небалансу на робочому колесі, обумовлений наявністю пружного елемента, який під дією відцентрових сил при номінальній частоті обертання зміщується. Пристрій забезпечує підвищення точності контролю вібрації, за рахунок зв'язку між амплітудою складових несучої частоти вібрації, її гармонік з технологічним навантаженням машин.

Для оцінки технічного стану і діагностики дефектів машин можна використовувати метод контролю спектру вібросигналу і дозволяє виявляти, разом з діагностикою підшипників, велику кількість інших дефектів устаткування. Для кожного нового типу устаткування, рівень порогу сильного дефекту, багато в чому, залежить від віддаленості елемента з дефектом від віброперетворювача.

Місця для установки віброперетворювачів слід вибирати так, щоб він знаходився якомога ближче до зони зубозацеплення редуктора. На шляху проходження реєстрованих вібросигналів від зони зубозацеплення до віброперетворювача бажано не мати розділу різних середовищ і особливо зазорів.

#### **Використані джерела:**

1. Патент України на изобретение № 32472. Клявлин В.В., Немчин О.Ф. Устройство

для измерения и контроля параметров вибрации машин. G01 M7/00. Бюл. № 7, 2000 г.

2. Патент України на корисну модель №63073. Дубовик В.Г., Лебедєв Л.М., Алексєєнко М.С. Пристрій для контролю вібрації машин. МПК G01 M7/00. Бюл. №18, 2011 р.

3. Патент України на корисну модель №65747. Лебедєв Л.М., Дубовик В.Г., Лебедєв М.М. Спосіб вібраційної діагностики електромеханічного об'єкта. МПК G01M7/00. Бюл. №23, 2011 р.

4. Мартынов А. А., Долгополов Г. А. Основы теории надежности и диагностики. – Новосибирск, 1999. – 107 с.

5. Патент України на корисну модель №65747. Дубовик В.Г., Лебедєв Л.М., Сівцова Т.О. Пристрій для контролю вібрації машин. МПК G01 M7/00. Бюл. №17, 2011 р.

**УДК 621.316.9**

**Дубовик В.Г.,  
Лебедєв Л.М.,  
Козир А.І., студ.  
Сторожук М.П., студ.**  
кафедра автоматизації управління  
електротехнічними комплексами  
Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

### **КЕРУВАННЯ ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНОЮ УСТАНОВКОЮ ПО ЛАНЦЮГАХ ЖИВЛЕННЯ**

*У статті показано, що запропонований пристрій забезпечує контроль технологічних параметрів: потужності, температури, амплітуди вібрації, а також керування та індикацію при робочих та аварійних режимах вітроенергетичної установки на значних відстанях без використання додаткових ліній зв'язку.*

*Ключові слова: вітроенергетична установка, технічний стан, аварійні режими.*

Dubovyk Volodymyr, Lebedev Lev, Kozyr Anna, stud, Storochuk Maxim, stud.

### **MANAGEMENT OF THE WINDENERGETICAL INSTALLATION ON POWER ROLLERS**

*The article shows that the proposed device provides control of technological parameters: power, temperature, amplitudes of vibration, as well as control and indication at working and emergency modes of a wind power installation at considerable distances without the use of additional communication lines.*

*Key words: wind power installation, technical condition, emergency modes.*

Для виключення аварійних режимів може застосовуватися система діагностики і аварійної зупинки з контролем вібрації основних елементів, температури, тиску і рівня масла, частоти обертання вітроколеса, кута повороту лопатей, струму, потужності, напруги, тощо. При перевищенні контрольованими параметрами порогових значень проводиться відключення вітроенергетичної установки і її зупинка.

Запропонований пристрій керування вітроенергетичною установкою по мережі живлення забезпечує контроль технологічних параметрів – потужності, температури, амплітуди вібрації, керування та індикація при робочих та аварійних режимах



Пристрій керування вітроенергетичною установкою по мережі живлення (рис.1) складається з вітродвигуна 1, пов'язаного кінематично з генератором, датчика 2 потужності генератора, перетворювача вібрації 3, вхід якого сполучено з третім виходом вітродвигуна 1, четвертий вихід якого сполучено з перетворювачем температури 4, вхід сполучено з виходом привода 5 регулюючого, а другий вихід – з входом датчиком 6 похідної крутильного моменту, вихід датчика 2 потужності генератора через усереднювач 7 сполучено з підсилювачем 8 з вузькою зоною нечутливості, а також через підсилювач 9 з широкою зоною нечутливості сполучено з першим входом суматора 10, третій вхід якого сполучено з виходом задатчика 11 положення, другий вхід сполучено через смуговий фільтр 12 з виходом датчика 6 похідної крутильного моменту, п'ятий вхід сполучено з виходом другого блоку 13 контролера мережі живлення, другий, третій, четвертий входи якого сполучені, відповідно, з другим виходом датчика 2 потужності генератора, виходом перетворювача вібрації 3, виходом перетворювача температури 4, а перший вхід через другий модем 14, другий блок 15 підключення сполучено з ланцюгом мережі живлення, до якої підключено другий блок 16 живлення, блок 17 живлення, а також послідовно сполучені блок 18 підключення, модем 19, блок 20 контролера мережі живлення, блок 21 корекції та блок 22 індикації, блок 21 корекції двома входами сполучений, відповідно, з джерелом Е1 постійної вхідної дії та джерелом Е2 постійної вхідної дії [3].

Вітродвигун 1 має головку з установленим в ній генератором, кінематично зв'язаним з вітроколесом і закріпленим на вертикальній опорі з можливістю обертання в горизонтальній площині, механізми виводу вітроколеса від вітру та орієнтування на вітер і систему контролю за роботою генератора. Вітроколесо повертається в своє початкове положення за допомогою пружини, зусилля якої розраховується на обумовлену швидкість вітру. Його площа орієнтується перпендикулярно напрямку вітрового потоку віндрозним приводним механізмом. Обертальний момент від вітроколеса передається торсіонним валом на мультиплікатор і через обгінну муфту - на генератор. Підтримка заданої швидкості обертання вітроколеса забезпечується приводом, що змінює кут установки лопатей. Вітроколесо є робочим органом і включає закріплені на валу лопаті, що мають спеціальний аеродинамічний профіль і здатні повертатися на кут від 0 до 90° навколо власних подовжніх осей.

Перетворювач вібрації 3 може бути виконаний з послідовно сполучених датчика вібрації, перетворювача сигналів, фільтра і забезпечує формування вихідного сигналу пропорційного амплітуді вібрації на його вході.

Привод 5 регулюючий змінює положення площини лопатей вітродвигуна 1 при зміні сили вітрового потоку, що дозволяє скидати зайву потужність вітродвигуна, стабілізуючи середню частоту напруги мережі.

Датчик 6 похідної крутильного моменту може бути встановлений на валу вітродвигуна або генератора і може являти собою датчик похідної скручування кінематичної передачі або датчик похідної струму статора генератора, або датчик похідної швидкості вітру. В загальному випадку важлива наявність в сигналі датчика прямої або непрямої інформації про швидкість зміни обертального моменту в ланцюзі вітродвигун – генератор.

Суматор 10 забезпечує формування сигналів розузгодження між заданим і фактичним значенням регульованого параметра, виконує роль гальванічного роздільника між входними і вихідними ланцюгами, так і входами між собою.

Смуговий фільтр 12 служить для забезпечення якісних процесів демпфування, управління і достатніх запасів стійкості в системі регулювання пристрою, для реалізації плавних, незначних демпфуючих переміщень приводу 5 регулюючого вітродвигуном 1. Електричні параметри смугового фільтра 12, а також нижня і верхня частоти його зрізу пов'язані з електромеханічними параметрами вітроенергетичної установки, власними

частотами крутильних коливань ротора вітродвигуна і збудженого генератора.

Блоки підключення 15 та 18 можуть бути виконані по схемі фаза-земля з послідовно сполучених конденсатора зв'язку, погоджувального трансформатора, фільтра. Конденсатор зв'язку являє собою високочастотний високовольтний конденсатор. У загальному випадку блок підключення здійснює дві функції: ізолює апаратуру комунікаційного вузла від напруги живлення і виділяє інформаційний сигнал, що проходить по електромережі.

Блоки контролерів мережі живлення 13 та 20 можуть бути виконані з використанням інтегральних мікросхем, наприклад, фірми Intellon Corporation типу INT5200, INT5500, або фірми Xeline типу XPLC21, що забезпечує можливість для кожного блоку контролера зв'язуватися і взаємодіяти з іншим, можливість адресації пакетів одному, групі, всім підключеним блокам контролерів мережі живлення, а також простоту підключення до іншого телекомунікаційного устаткування, інтерфейсів між абонентами через мережу живлення. Вони працюють під управлінням спеціальних мікропрограм. Така технологія підключення відома, як PLC - Power Line Communications. Інформація передається в смузі частот 50-530 кГц. Принцип роботи PLC-систем заснований на розділенні за допомогою фільтрів низькочастотних електричних сигналів і високошвидкісного трафіку даних, що передається на вищих частотах. При використанні технології PLC не потрібна прокладка кабелю та використання для його коробів, а також свердлення стін і опорних конструкцій, забезпечується простота використання, короткий час для монтажу, стабільний зв'язок, висока безпека інформації, на якість зв'язку не впливає матеріал і товщина стін в будинку.

Відома технологія передачі даних по силових лініях (PLC) X10 - стандарт передачі даних між передавачем і приймачем по силових лініях. Інформаційні сигнали включають короткі радіочастотні спалахи, що передають цифрову інформацію. Передача спалахів синхронізована з нулем силової напруги. Це пов'язано з тим, що біля нульової напруги рівень перешкод в мережі мінімальний. Час прийому даних - близько 200 мікросекунд. Тривалість спалаху частотою 120 кГц близько 1 мс. Бінарна одиниця - спалах тривалістю 1 мс біля нуля, бінарний нуль - відсутність спалаху. Блоки контролерів ланцюгів живлення 13, 20 є важливими функціональними блоками пристрою, які здійснюють також обробку вхідних параметрів, формують спектрні сигнали управління, які надходять на блок індикації, що надає візуальну інформацію про струм, амплітуду вібрації, температуру статорної обмотки електродвигуна, який знаходиться в аварійному стані, електричний сигнал надходить на блок управління для виключення електродвигуна. В пристрої передбачений роз'єм для підключення програматора, який дозволяє записувати програми в контролери, а також забезпечує спраження пристрою з комп'ютером.

Модеми 14, 19 являються передавачами-приймачами, забезпечують гальванічну розв'язку між вхідними і вихідними сигналами і можуть бути реалізовані з використання мікросхем, наприклад, AMIS-30585.

Блок 21 корекції забезпечує порівняння вхідних значень контрольованих параметрів вібрації та температури з пороговими, які задаються джерелами E1, E2 постійної вхідної дії, і передачу аварійних сигналів на блок 22 індикації. Він також дозволяє формувати сигнали корекції керування вітроенергетичною установкою. Сигнали можуть прийматися та передаватися по послідовній лінії.

Блок 22 індикації забезпечує запам'ятовування аварійних режимів з їх індикацією в вигляді сигналів для кожного каналу при таких аварійних ситуаціях:

- а) перевищення допустимого значення температури;
- б) перевищення допустимого значення амплітуди вібрації;
- в) відсутність сигналу від датчика 2 потужності генератора.

Число ліній зв'язку між блоком 21 корекції і блоком 22 індикації встановлюється в

залежності від кількості сигналів, а на рис. 1 умовно показана одна лінія.

Блоки живлення 16 та 17 підводять напругу, відповідно, до блоків, елементів 1...15, які забезпечують приймання та перетворення аварійних сигналів та блоків, елементів 18...22, які забезпечують формування і перетворення інформаційних сигналів.

Прийняті позначення  $U_n^i$  - амплітуда сигналу на  $i$ -му виході  $n$ -го блоку.

Працює пристрій наступним чином. У початковому стані за відсутності обурень і змін обертового моменту, вихідний сигнал датчика 6 похідної крутильного моменту рівний нулю. При появі зміни моменту на виході датчика 6 формується відповідний сигнал, що поступає через смуговий фільтр 12 в потрібній фазі на другий вхід суматора 10, вихід якого діє на роботу привода 5 регулюючого і відбувається поворот площин лопатей вітродвигуна 1 у бік компенсації виниклої зміни обертового моменту. Таким чином, шляхом додаткових переміщень в потрібній фазі площин лопатей вітродвигуна 1 здійснюється активне демпфування крутильних коливань в ланцюзі вітродвигуна - генератор практично без розсіяння енергії вітрового потоку. Для виключення резонансних явищ і забезпечення амортизації ударних обертових навантажень на валу генератора власна частота крутильних коливань ротора вітродвигуна вибрана менше власної частоти крутильних коливань ротора збудженого генератора.

При силі вітру, що перевищує номінальну, починає працювати контур обмеження потужності через датчик 2 потужності генератора та підсилювача 9 з широкою зоною нечутливості і при цьому змінюється значення сигналу на першому вході суматора 10, вихід якого діє на роботу привода 5 регулюючого, аналогічно, розглянутому раніше.

Сигнали датчика 2 потужності генератора, перетворювача вібрації 3, перетворювача температури 4 подаються постійно при роботі пристрою на блок 13 контролера мережі живлення, з виходу якого через другий модем 14, другий блок 15 підключення подаються в ланцюг живлення, який сполучає вихід генератора вітродвигуна 1 з приймачами електроенергії, а також через блок 18 підключення, модем 19 на блок 20 контролера мережі живлення і далі на блок 21 корекції. Він забезпечує порівняння вхідних значень контрольованих параметрів вібрації та температури з пороговими, які задаються джерелами E1, E2 постійної вхідної дії та передачу аварійних сигналів на блок 22 індикації.

Сигнал з перетворювача вібрації 3, що забезпечує вимірювання значення амплітуди вібрації вітродвигуна 1, подається на пороговий елемент в блоці 21 корекції, на другий вхід якого подається сигнал джерела E1 постійної вхідної дії. На виході порогового елемента з'являється сигнал у випадку зношування підшипників і підвищенні вібрації вала генератора, порушенні центрування або балансування вісі вітродвигуна 1. Уставка постійного вхідної дії E1 залежить від потужності установки, відповідно до ГОСТ ИСО 10816-1-97.

Перетворювач температури 12, забезпечує вимірювання значення температури обмоток генератора, його підшипників і формує пропорційний сигнал, який подається на другий пороговий елемент в блоці 21 корекції, на другий вхід якого подається сигнал джерела E2 постійної вхідної дії. На рис. 1 порогові елементи в блоці 21 корекції не показані. На виході порогового елемента з'являється сигнал при тривалому перевантаженні генератора, зміні умов його охолодження. Уставка постійного вхідної дії E2 залежить від класу ізоляції генератора й умов його використання.

Формування аварійного сигналу  $U_{21}^1$  від перетворювача 3 вібрації виконується за умови

$$U_{21}^1 = 1 \text{ при } U_{21}^1 > E1$$

$$U_{21}^1 = 0 \text{ при } U_{20}^1 < E1$$

та  $U_{21}^2$  від перетворювача 4 температури виконується за умови

$$U_{21}^2 = 1 \text{ при } U_{20}^2 > E2$$

$$U_{21}^2 = 0 \text{ при } U_{20}^2 < E_2,$$

які подаються на блок 22 індикації. При  $U_{21}^1 = 1$  або  $U_{21}^2 = 1$  і в блоці індикації 22 появляється інформація, відповідно, про завищений рівень вібрації вітроподвигуна, про перегрів обмотки генератора.

Блок 21 корекції також формує аварійний сигнал, якщо сигнал від датчика 2 потужності генератора дорівнює нулю. Він дозволяє формувати сигнали корекції в ручному або автоматичному режимах для керування вітроенергетичною установкою. Сигнали можуть прийматися та передаватися по послідовній лінії. Функціонування блока 20 синхронізується з блоком 13 контролера мережі живлення. Приймальний комплект обладнання – блоки 17...22 можуть встановлюватися на відстані в декілька кілометрів від вітроенергетичної установки. Приймачі електроенергії на рис. 1 не показані. Будь-яка зміна енергетичної ситуації в локальній мережі відбивається на режимах генератора, а це ніяк не впливає на режими передачі, обміну інформації між блоками контролерів пристрою.

Пристрій може бути оснащений синхронним або асинхронним генератором. Так як, перехід швидкості вітру від повного затишшя, робочих значень до штормових здійснюється не миттєво, а на протязі декількох хвилин, то превентивне виведення вітроподвигуна із-під сильної дії вітру дозволяє уникнути його силовими елементами, трансмісією значних динамічних перевантажень і зникає необхідність закладати в конструкцію установки запаси міцності, які спрацьовують дуже рідко. Це дозволяє значно зменшити капітальні затрати на матеріали та монтажні роботи.

При роботі синхронного генератора паралельно з електромережею виникають крутильні коливання, оскільки обертальний момент визначається кутовим положенням інерційного ротора, що синхронно обертається щодо електромагнітного поля. Жорсткість вузлів кріплення і передач обертального моменту обмежена допустимими габаритами і вагою висотної конструкції, момент інерції ротора вітроподвигуна вельми великий, а із-за різких поривів вітру момент на валу генератора має швидкозмінний характер. Використання пристрою забезпечує по сигналах датчика потужності автоматичне обмеження потужності, що підводиться до валу генератора від вітроподвигуна, шляхом формування команд на відповідне переміщення приводу 5 регулюючого. При цьому команда на переміщення формується тільки при тривалих перевищеннях сигналами датчика 2 потужності вузької зони нечутливості підсилювача 8 із-за наявності в ланцюзі управління усереднювача 7 або при значних короточасних перевищеннях широкої зони нечутливості підсилювача 9. Значення зон нечутливості підсилювачів 8, 9 визначаються допустимими статичними і динамічними перевантаженнями генератора по потужності і задаються, виходячи з реальних характеристик вітроподвигуна і генератора.

Пристрій також забезпечує при підвищених швидкостях вітру мінімізацію інтегрального переміщення приводу 5 регулюючого і сумарних витрат енергії на управління.

При включенні синхронного генератора на паралельну роботу добиваються виконання умов точної синхронізації:

- значення, що діють у фазних електрорушійних силах (ЕРС) генератора повинні бути рівні значенням фазної напруги мережі;
- частота ЕРС генератора повинна бути рівна частоті мережі;
- ЕРС, що включається генератором, з напругою мережі повинні мати зрушення по фазі  $180^\circ$ ;
- генератор і мережа повинні мати однаковий порядок чергування фаз.

При дотриманні цих умов генератори включаються в мережу практично без кидків струму.

Необхідно враховувати синхронізуючу потужність, яка визначає силу, що утримує

машину в синхронізмі з мережею, як пружний електромагнітний зв'язок ротора з магнітним полем, що обертається. Прямими показниками якості процесу управління, які визначаються по перехідній характеристиці можуть бути: сталі значення вихідної величини, ступінь загасання, час досягнення першого максимуму, час регулювання, помилка регулювання, перерегулювання, динамічний коефіцієнт регулювання.

Пристрій забезпечує процеси якісного управління і активного демпфування крутильних коливань при плавних переміщеннях приводу регулюючого вітроподвигуна в діапазоні робочих швидкостей вітру від 4,5 до 30 м/с.

Для використання пристрою для вітроенергетичних установок в необхідному діапазоні потужностей генераторів та температурних умов використовуються джерела постійної вхідної дії, що дозволяє просто робити його налаштування за значеннями допустимої амплітуди вібрації за допомогою джерела Е1, за значеннями максимальної температури - джерела Е2.

#### **Перелік літератури:**

1. Патент деклараційний на винахід України № 54948. Харченко М.М. Вітроподвигун. МПК F03D1/00, F03D7/04. Бюл. № 3, 2003 р.

2. Патент України на винахід №22963. Голубенко М.С., Кириченко А.С., Козак Л. Р., Кочерга Г. Ф., Латайко О.П., Тютріна Т.П. Система автоматизованого керування вітроподвигом вітроенергетичної установки. МПК F03D7/04. Бюл. № 3, 2002 р.

3. Патент України на корисну модель № 64482. Дубовик В.Г., Лебедев Л.М., Осипова К.С. Пристрій керування вітроенергетичною установкою по мережі живлення. МПК F03D 7/04. Бюл. № 21, 2011 р.

**УДК 621.31**

**О.О. Захарчук**

Кафедра автоматизації управління електротехнічними комплексами

### **ВИБІР НАКОПИЧУВАЧА КІНЕТИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ МЕТОДОМ АНАЛІЗУ ІЄРАРХІЙ**

*В статті розглянуто метод аналізу ієрархій як інструмент системного підходу до складних проблем прийняття рішень, а саме, вибір накопичувачів кінетичної енергії за визначеними критеріями.*

**Ключові слова:** накопичувач кінетичної енергії, метод аналізу ієрархій.

*In the article the method of hierarchy analysis is considered as a tool of a systematic approach to complex decision-making problems, namely, the choice of kinetic energy storage devices according to certain criteria.*

**Keywords:** kinetic energy storage, hierarchy analysis method.

#### **Вступ**

У сучасній енергомережі нерідко виникають несправності, причиною яких можуть бути аварії в енергосистемі, несправна робота допоміжного обладнання, перевантаження і т. д. Матеріальний збиток через перерви в енергопостачанні для різних споживачів залежить від роду їх діяльності та розмірів виробництва і може досягати великих збитків, а для деяких підприємств безперервного циклу, наприклад, атомної енергетики або хімічної промисловості, перерва в енергоживленні протягом декількох хвилин може привести до катастрофічних наслідків [1].

У зв'язку з цим актуальними залишаються питання забезпечення безперебійного живлення відповідальних споживачів електроенергії, вирівнювання графіків навантаження в мережі шляхом компенсації піків енергетичних навантажень в великих енергосистемах, згладжування коливань потужності, стабілізації малоінерційних систем розподіленої генерації, а також ряд інших, пов'язаних з необхідністю подальшого підвищення енергоефективності [2].

### **Мета та завдання**

Метою роботи є підвищення рівня обґрунтування вибору накопичувачів кінетичної енергії з подальшим порівнянням їх за допомогою методу аналізу ієрархій.

### **Матеріал та результат досліджень**

Метод Аналізу Ієрархій (MAI) - математичний інструмент системного підходу до складних проблем прийняття рішень. MAI не наказує особі, що приймає рішення, будь-якого «правильного» рішення, а дозволяє йому в інтерактивному режимі знайти такий варіант (альтернативу), який найкращим чином узгоджується з його розумінням суті проблеми і вимогами до її вирішення. Цей метод розроблений Р. Беллманом, Б.Н. Бруком і В.Н. Бурковим, але отримав широку популярність по роботах Т. Сааті, який і назвав процедуру методом аналізу ієрархій.

Публікації Сааті більш повно розкрили можливості процедури, і з тих пір MAI активно розвивається і широко використовується на практиці. В його основі поряд з математикою закладені і психологічні аспекти. Метод аналізу ієрархії дозволяє зрозумілим і раціональним чином структурувати складну проблему прийняття рішень у вигляді ієрархії, порівняти і виконати кількісну оцінку альтернативних варіантів рішення. MAI використовується у всьому світі для прийняття рішень в різноманітних ситуаціях: від управління на міждержавному рівні до вирішення галузевих і приватних проблем в бізнесі, промисловості, охороні здоров'я та освіті. Для комп'ютерної підтримки методу аналізу ієрархій існують програмні продукти, розроблені різними компаніями. Аналіз проблеми прийняття рішень в MAI починається з побудови ієрархічної структури, яка включає мету, критерії, альтернативи і інші розглянуті фактори, що впливають на вибір. Ця структура відображає розуміння проблеми особою, яка приймає рішення. Кожен елемент ієрархії може представляти різні аспекти розв'язуваної задачі, причому до уваги можуть бути прийняті як матеріальні, так і нематеріальні фактори, вимірювані кількісні параметри і якісні характеристики, об'єктивні дані і суб'єктивні експертні оцінки.

Іншими словами, аналіз ситуації вибору рішення в методі аналізу ієрархії нагадує процедури і методи аргументації, які використовуються на інтуїтивному рівні. Наступним етапом аналізу є визначення пріоритетів, які представляють відносну важливість або перевагу елементів побудованої ієрархічної структури, за допомогою процедури парних порівнянь. Безрозмірні пріоритети дозволяють обґрунтовано порівнювати різноманітні фактори, що є відмінною рисою MAI. На заключному етапі аналізу виконується синтез (лінійна згортка) пріоритетів на ієрархії, в результаті якої обчислюються пріоритети альтернативних рішень щодо головної мети. Кращою вважається альтернатива з максимальним значенням пріоритету. [3]

### **Алгоритм методу обробки матриць парних порівнянь для знаходження локальних і глобальних пріоритетів.**

При точному процесі визначення вектора локальних пріоритетів задача зводиться до знаходження власного вектора матриці парних порівнянь:

$$A \cdot X = \lambda \cdot X,$$

де  $A$  - матриця парних порівнянь (МПП),  $X$  -  $n$ -мірний вектор, складений з шуканих пріоритетів,  $\lambda$  - власне значення МПП; і подальшого нормування цього вектора:

$$\sum x_i = 1.$$

У розглянутій задачі шуканим є вектор, який відповідає максимальному власному значенню.

Вектор локальних пріоритетів може бути наближено обчислений спрощеним способом:

1. Для кожного рядка матриці парних порівнянь знаходимо середнє геометричне її елементів:

$$a_{ij} = (a_{ij}^1 \cdot a_{ij}^2 \cdot \dots \cdot a_{ij}^s)^{\frac{1}{s}}.$$

2. Знаходимо суму всіх цих середніх геометричних.

3. Ділимо кожне середнє геометричне на їх суму. Результат - вектор локальних пріоритетів даної матриці.

Розрахунки проводилися за допомогою програмного забезпечення NooTrop. В даній програмі визначення вектора локальних пріоритетів виконується шляхом знаходження власного вектора матриці парних порівнянь. Це трудомістке завдання (якщо «вручну»), але до складу практично всіх математичних пакетів включені засоби знаходження власних значень і векторів матриць - Eigenvalues, Eigenvectors. При розробці МАІ для СППР була використана бібліотека Efficient Java Matrix Library (EJML), що дозволяє швидко і ефективно проводити матричні розрахунки.

У МАІ є можливість перевірки узгодженості експертних оцінок, тобто чисел в кожній матриці парних порівнянь. Для контролю узгодженості цих оцінок вводяться дві пов'язані характеристики - індекс узгодженості (CI) і відношення узгодженості (CR):

$$C.I. = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1},$$

$$C.R. = \frac{C.I.}{P_n},$$

де  $P_n$  - це індекс узгодженості для позитивної назад симетричною матриці випадкових оцінок розміру; елементи цієї матриці отримані випадковим вибором з безлічі допустимих оцінок, тобто з чисел ряду  $\{1/9, 1/8, 1/7, 1/6, 1/5, 1/4, 1/3, 1/2, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9\}$ .

В результаті обробки матриць отримуємо один вектор локальних пріоритетів критеріїв розмірності  $m$  ( $m$  - число критеріїв) і  $m$  векторів локальних пріоритетів альтернатив розмірності  $n$  ( $n$  - число альтернатив). Вектор локальних пріоритетів критеріїв показує їх відносну значимість в завданні.

Вектор глобальних пріоритетів альтернатив по відношенню до цілі обчислюється так: кожен компонент цього  $m$ -вектора - це скалярний добуток вектора локальних пріоритетів критеріїв на  $m$ -вектор, складений з локальних пріоритетів альтернативи за цими критеріями («профіль альтернативи»).

Профілі надають у відносному вигляді переваги і недоліки кожної з альтернатив і можуть використовуватися для визначення шляхів поліпшення альтернативи, наприклад, для підвищення конкурентоспроможності.

Вектор глобальних пріоритетів - це і є рішення задачі багатокритеріального ранжування. На його підставі можна, наприклад, вирішити задачу вибору: альтернатива з

максимальним значенням глобального пріоритету є найкращою за сукупністю критеріїв з урахуванням відносної важливості останніх.

Наведемо показники цієї таблиці:

- DIM - розмір МПП;
- Lam - максимальне власне значення МПП;
- CI - індекс узгодженості МПП;
- CR - відношення узгодженості МПП.

Проаналізувавши ринок накопичувачів кінетичної енергії, було обрано п'ять варіантів альтернатив (Табл. 1)

Таблиця 1. Обрані альтернативи

|                                    | Piller | Active Power | Urenco | Beacon power | KHE    |
|------------------------------------|--------|--------------|--------|--------------|--------|
| Накопичувана енергія, МДж/кВт*год  | 15/4,2 | 3/0,83       | 6/1,67 | 21,6/6       | 10/2,7 |
| Час розрядки, с                    | 25     | 12           | 30     | 900          | 180    |
| Потужність, кВт                    | 600    | 250          | 200    | 15           | 50     |
| Швидкість обертання маховика об/хв | 3,600  | 7,700        | 37,800 | 22,500       | 6,000  |
| Ціна, тис \$                       | 48000  | 16000        | 32000  | 30000        | 35000  |
| Вага, кг                           | 5000   | 1700         | 1400   | 900          | 2500   |

Таблиця 2. Порівняння критеріїв

|     | Название             | Kp1 | Kp2 | Kp3 | Kp4 | Kp5 | Kp6 | ЛПр.  |
|-----|----------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|
| Kp1 | Накопичувана енергія | 1   | 1/3 | 1/2 | 3   | 1/3 | 3   | 0.120 |
| Kp2 | Час розрядки         | 3   | 1   | 2   | 3   | 2   | 5   | 0.316 |
| Kp3 | Потужність           | 2   | 1/2 | 1   | 2   | 2   | 6   | 0.235 |
| Kp4 | Швидкість обертання  | 1/3 | 1/3 | 1/2 | 1   | 1/3 | 1/2 | 0.066 |
| Kp5 | Ціна                 | 3   | 1/2 | 1/2 | 3   | 1   | 5   | 0.205 |
| Kp6 | Вага                 | 1/3 | 1/5 | 1/6 | 2   | 1/5 | 1   | 0.058 |

| Dim   | Lam   | CI    | CR    |
|-------|-------|-------|-------|
| 6.000 | 6.474 | 0.095 | 0.076 |

Після порівняння критеріїв до програми вносяться дані по кожній з альтернатив по відношенню до кожного з критеріїв.

### Результати оброблених даних:

Таблиця 3. Матриця пріоритетів Критеріїв відносно цілі та Альтернатив відносно кожного з критеріїв:

|                      | Пр.Кр. | Piller | Active Power | Urenco | Beacon power | KHE   |
|----------------------|--------|--------|--------------|--------|--------------|-------|
| Накопичувана енергія | 0.120  | 0.269  | 0.065        | 0.116  | 0.368        | 0.182 |
| Час розрядки         | 0.316  | 0.076  | 0.051        | 0.085  | 0.529        | 0.259 |
| Потужність           | 0.235  | 0.511  | 0.197        | 0.189  | 0.042        | 0.061 |
| Швидкість обертання  | 0.066  | 0.062  | 0.100        | 0.471  | 0.267        | 0.100 |
| Ціна                 | 0.205  | 0.096  | 0.376        | 0.180  | 0.180        | 0.168 |
| Вага                 | 0.058  | 0.074  | 0.215        | 0.215  | 0.375        | 0.121 |

Таблиця 4. Глобальні пріоритети Альтернатив:

| №   | Альтернативи | Гл. Пр. |
|-----|--------------|---------|
| I   | Beacon power | 0.297   |
| II  | Piller       | 0.204   |
| III | Urenco       | 0.166   |
| IV  | Active Power | 0.166   |
| V   | KHE          | 0.166   |

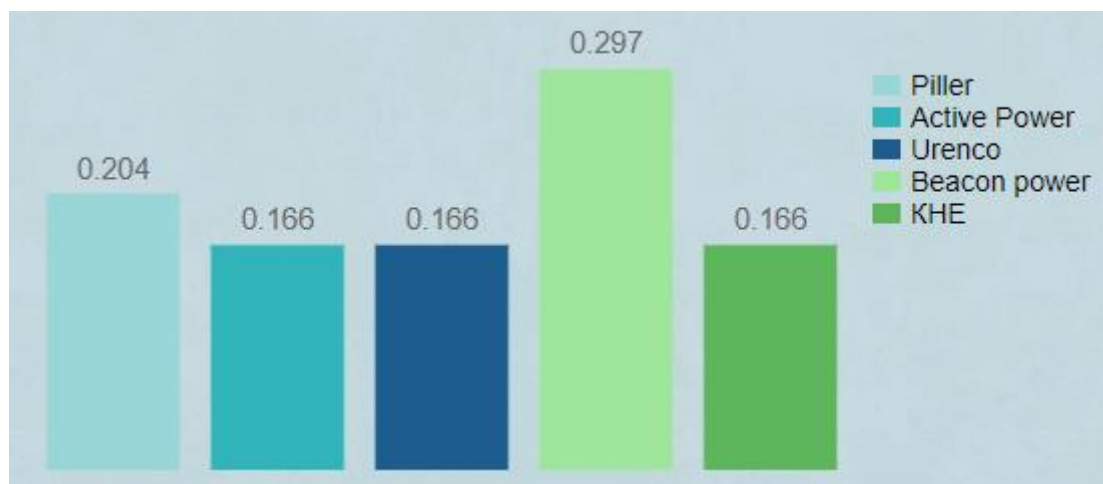


Рисунок. 1 Діаграма глобальних пріоритетів альтернатив:

**Висновки**

Проаналізувавши технічні та економічні характеристики накопичувачів кінетичної енергії було обрано п'ять альтернатив з подальшим визначенням основних критеріїв.

За результатами методу аналізу ієрархій, проведеному в програмному забезпеченні NooTron, оптимальнішим варіантом за вибраними критеріями виявився накопичувач фірми Beacon Power (США), також слід виділити накопичувач Piller (Німеччина).

Однак остаточний вибір слід робити опираючись на конкретні цілі та вимоги які поставлені перед накопичувачами кінетичної енергії.

**Список використаних джерел:**

1. Казанцев С. Г., Меньшенин А. Л., Пирог А. В. Перспективные разработки кинетических накопителей энергии АО «НИИЭМ» // Тез. докл. науч.-техн. конф. «Иосифьяновские чтения – 2016», Истра, 10 ноября 2016 г., НИИЭМ. – С. 80 – 83.
2. Новиков Н. Л. Повышение режимной надёжности и управляемости объединённых энергосистем с помощью новых средств и систем управления: дисс. докт. техн. наук. – Новосибирск, 2001. – 503 с.
3. Ковалёв Л. К., Ковалёв К. Л., Колчанова И. П. Анализ состояния зарубежных и отечественных разработок по созданию сверхпроводниковых электрических машин // Электричество. – 2013. – № 1. – С. 2 – 13.

УДК 533.6.071

Литвиненко С.О.

### ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІЧНИХ РЕЖИМІВ РОБОТИ ЕС-ДВИГУНІВ ЗІ СТАБІЛІЗОВАНОЮ ПРОДУКТИВНІСТЮ ПРИ РОБОТІ В АЕРОДИНАМІЧНИЙ ТРУБІ.

*Використання керуючого електроприводу широко застосовується в промислових проектах з енергоефективності. Розглянемо використання вентилятора з електронною комутацією (ЕС-вентилятора) для аеродинамічної труби з функцією формування турбулентних потоків. Метод використання ЕС-технології полягає у можливості плавної зміни швидкості електроприводу, що дозволяє значно оптимізувати швидкість потоку повітря. У даній роботі проведено аналіз роботи вентилятора з ЕС-двигуном змінного струму та можливості його використання у аеродинамічних трубах. Робота виконана за допомогою Matlab/Simulink, а також практичного дослідження ЕС-вентилятора.*

**Ключові слова:** аеродинамічна труба, двигун з електронною комутацією, турбулентний потік.

*Usage of solid state devices for speed control is a widely used method in industrial energy efficiency projects. Consider the use of a fan with electronic switching (EC-fan) for an aerodynamic tube with the function of forming turbulent flows. The method of using EU technology is the ability to smoothly change the speed of the electric drive, which can significantly optimize the flow rate of air. In this paper an analysis of the work of the fan with the EC motor and the possibility of its use in aerodynamic tubes has been carried out. The work is done using Matlab / Simulink, as well as a practical study of the EC-fans.*

**Keywords:** aerodynamic tube, EC/BLDC motor, turbulent flow

#### Вступ

Розвиток силової електроніки, електронних методів комутації та поліпшеної аеродинамічної конструкції робочого колеса робить електродвигун вентилятора з електронним комутатором (ЕС-вентилятора) більш придатним для широкого діапазону регулювання швидкості без втрати ефективності, що є основною вимогою для обладнання, де передбачено використання вентиляторів технологічним процесом. Одним з популярних використань вентиляторів з широким діапазоном регулювання є аеродинамічні труби для

дослідження аеродинамічних властивостей автомобілів. Модернізація існуючого обладнання з використанням ЕС-вентиляторів має наступні переваги: можливість легкого інтегрування вентиляторів в існуючу систему, плавна зміна аеродинамічної характеристики вентилятора, що дозволяє плавно змінювати швидкість потоку повітря в трубі, а також досягти значного енергозбереження. Оскільки більшість автомобілів мають складну геометричну форму, яку нелегко змодельовати, тому для моделювання потоку повітря, що обтікає автомобіль найчастіше вибирають, так зване, тіло Ахмеда [1]. Тіло Ахмеда - це стандартна модель, яка широко застосовується в автомобільній промисловості для валідації засобів моделювання. Форма тіла Ахмеда досить проста для моделювання, при цьому геометрично досить близька до корпусу автомобіля.

**Мета та завдання:** Дослідження переваг використання ЕС-двигунів зі стабілізованою продуктивністю у аеродинамічній трубі з використанням тіла Ахмеда.

**Матеріал та результати досліджень.** Основне призначення аеродинамічної труби - створення рівномірного поступального повітряного потоку в робочій частині труби. У хороших аеродинамічних трубах нерівномірність поля швидкостей в робочій частині, тобто відхилення величини швидкості від середнього значення, коливається в межах - 0,5...0,7 %, а відхилення напрямку швидкості від осевого в горизонтальній і вертикальній площинах (скіс потоку) не перевищує  $\pm 0,25^\circ$ .

У той же час при заданих параметрах потоку труба має бути максимально економічною. Ці основні умови і визначають як будову труби в цілому, так і конструкцію її основних елементів. За принциповою схемою аеродинамічні труби є каналами, в яких за допомогою вентилятора створюється штучний повітряний потік.

Сучасні аеродинамічні труби малих швидкостей, що працюють в умовах практично нестискуваного повітря при швидкостях до 50-60 м/с конструктивно виконані у двох варіантах: труби з незамкнутим потоком (рис. 1) і труби із замкнутим потоком. В роботі розглядається можливість використання вентиляторів для труби ми з незамкнутим потоком.

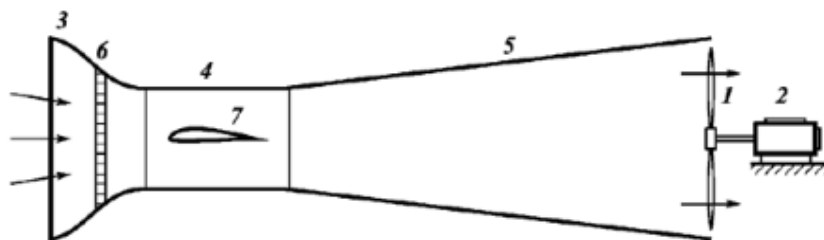


Рисунок 1. Аеродинамічна труба з незамкнутим потоком

У існуючих аеродинамічній трубах з незамкнутим потоком повітря засмоктується в трубу одним вентилятором 1, який приводиться в обертання електродвигуном змінного струму 2, що живиться від перетворювача частоти. Використання перетворювача дозволяє плавно регулювати оберти, а отже, і швидкість потоку. Передня входна частина труби 3 називається колектором. З колектора повітря поступає в робочу частину труби 4, а потім в частину труби, яка плавно розширюється, 5, і називається дифузором. Біля входу в робочу частину встановлюються випрямляюча решітка 6, яка призначена для створення в робочій частині рівномірного потоку. Випробовувана модель 7 встановлюється в робочій частині аеродинамічної труби.

Виконаємо дослідження аеродинаміки автомобіля за допомогою тіла Ахмеда. Тіло Ахмеда було вперше створено С. Р. Ахмедом в 1984 році. З тих пір воно стало стандартом для засобів аеродинамічного моделювання. Проста геометрична форма має довжину 1,044 м, висоту 0,288 м і ширину 0,389 м. До днища тіла прикріплені циліндричні ніжки довжиною 0,5

м, а його задня поверхня скошена під кутом 40 градусів.

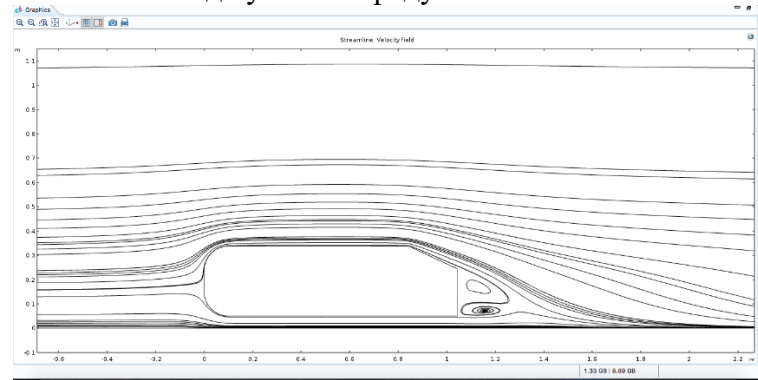


Рисунок 2. Моделювання поля швидкості тіла Ахмеда

При встановленні тіла Ахмеда в аеродинамічну трубу з'являється додатковий опір потоку повітря, що створює вентилятор. Це впливає на швидкість потоку повітря (м/с), вентилятору необхідно плавно змінити швидкість обертів для підтримання заданої швидкості. Для плавної зміни швидкості потоку повітря розглянемо застосування ЕС-вентиляторів у аеродинамічній трубі.

Якістю аеродинамічної труби  $K$  називають відношення кінетичної енергії повітряного потоку, що проходить в одиницю часу через поперечний переріз робочої частини, до потужності електроприводу  $N$  [2].

$$K = \frac{A_w \rho V^3}{N} \quad (1)$$

Чим менші втрати потужності, тим вища якість електрообладнання в цілому. Для прикладу, розглянемо аеродинамічну установку в якій  $K = 1,7$ . Застосування закритої робочої частини може зменшити втрати потужності, внаслідок чого підвищити якість роботи установки.

При постійній якості  $K$ , потужність пропорційна:

$$N \sim A_w \rho V^3 \quad (2)$$

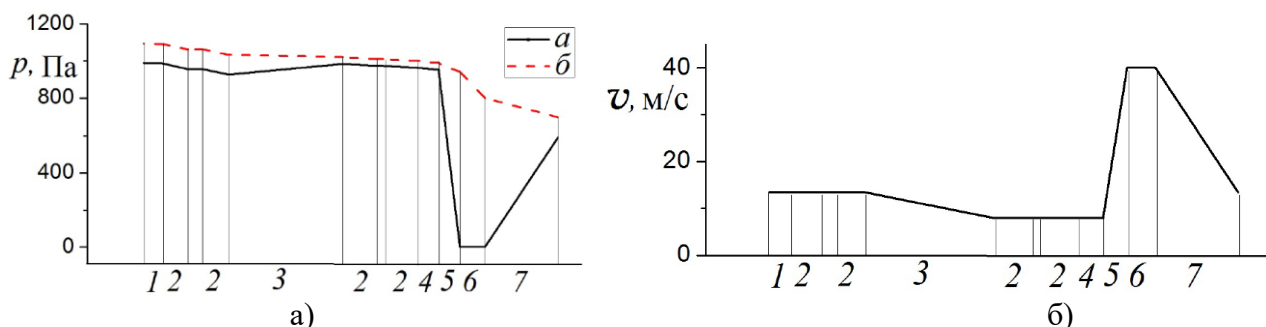


Рисунок 3. Тиск (а) та швидкість повітря (б) в контурі аеродинамічної труби.

На рис.3 введено наступні позначення: а – статичний тиск, б – повний тиск, 1 – перехідна частина, 2 – поворотне коліно, 3 – зворотній канал, 4 – фотокамера з хонейкобом, 5 – соло, 6 – робоча частина, 7 – дифузор.

Управління вентиляторам в аеродинамічній трубі розрахована на плавну зміну швидкості потоку повітря. Оскільки, такі змінні як: швидкість повітря в трубі, площа та аеродинаміка тіла, що досліджується впливають на технологічний процес, зміна аеродинамічних характеристик вентиляторів є доцільною. Без системи управління продуктивністю технологічний процес стає нестабільним, відбувається перевантаження

обладнання, а також похибка при дослідженні аеродинамічних характеристик об'єкта.

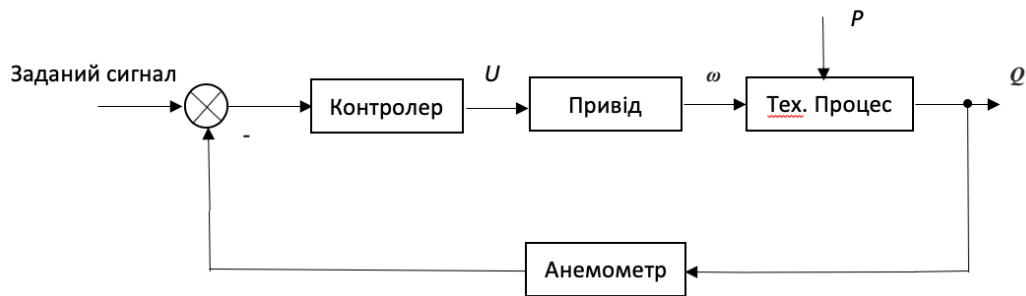


Рисунок 4. Схема управління контуром системи

Для моделювання динамічних процесів при роботі ЕС-вентилятора створена математична модель двигуна у програмному середовищі Matlab/Simulink з врахуванням зміни аеродинамічних характеристик. Під час моделювання роботи системи отримані графіки перехідних процесів за швидкістю електродвигуна, а також продуктивності вентилятора в цілому. [3]

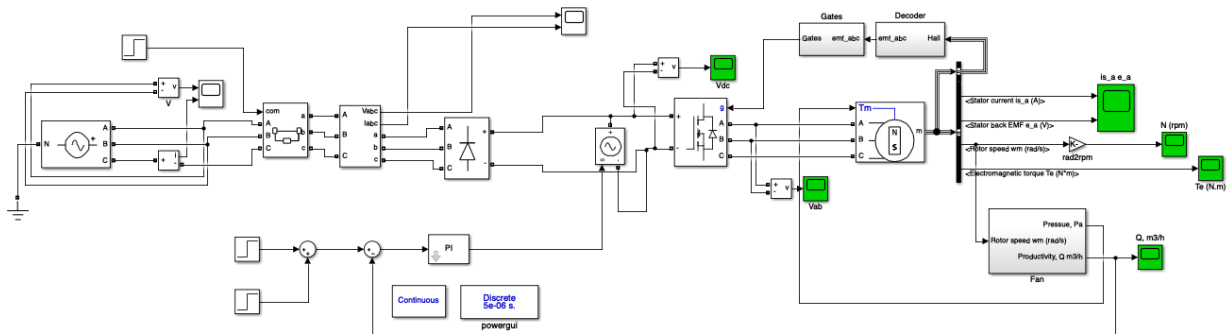


Рисунок 5. Модель системи у програмному середовищі Matlab/Simulink.

Під час роботи системи вентилятор отримує задане значення необхідної витрати повітря у (м³/год), що дозволяє отримати необхідну швидкість потоку повітря в аеродинамічній трубі. При дослідженні аеродинамічних властивостей будь-якого тіла змінюється структура потоку повітря, з'являються турбулентні потоки. ЕС-вентилятор отримує актуальне значення швидкості потоку повітря, а також аеродинамічного опору тіла, що дозволяє змінити швидкість потоку повітря, або підтримувати його на заданому рівні.

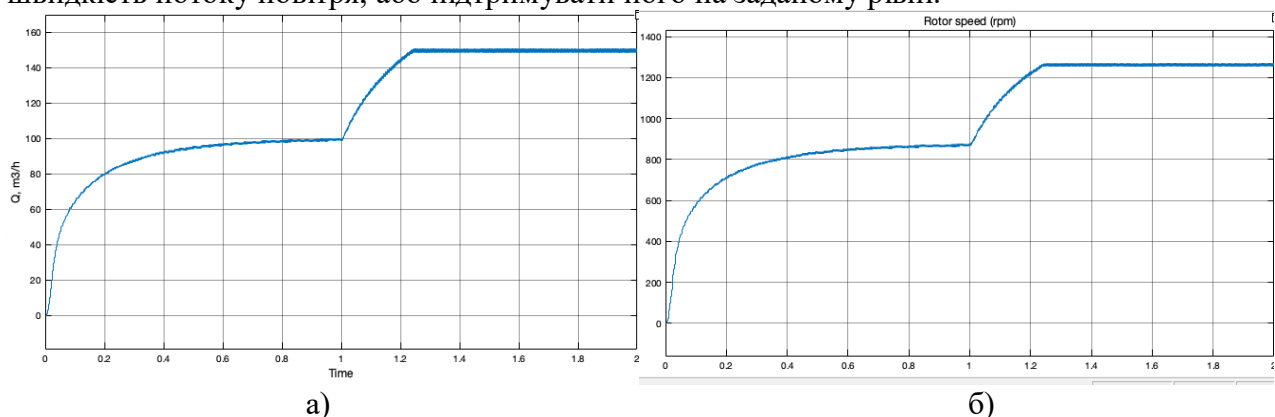


Рисунок 6. Графік зміни витрати повітря (а) швидкості вентилятора (б) при ступінчастому завданні.

Виходячи з отриманих графіків, представлених на рис.6, можна відзначити, що вентилятор забезпечує зростання витрати повітря ( $\text{м}^3/\text{год}$ ), а також частоти обертів електродвигуна. Вентилятор підтримує необхідну частоту обертів двигуна і задану продуктивність повітря за допомогою замкненої системи керування із датчиком продуктивності.

**Висновок:** Формування стабільної продуктивності вентилятора за рахунок встановлення анемометру та побудови замкненої системи керування дозволяє зменшити похибку обчислення аеродинамічних властивостей в аеродинамічних трубах. Також, використання декількох вентиляторів з рівномірною та швидко змінюваною продуктивністю дозволяє моделювати поведінку досліджуваного об'єкта при різких поривах вітру.

### Список літератури.

1. А.Ю. Хлопков, ктн, доцент, Московский физико-технический институт (государственный университет) // Расчет аэродинамики летательного аппарата сложной формы в гиперзвуковом режиме обтекания – с.69
2. Рябинин А.Н. ктн, доцент, Санкт-Петербургский Государственный университет // Аэродинамические трубы малых скоростей: Учеб. Пособие // <https://dspace.spbu.ru/bitstream/11701/6216/1/Riabinin2017.pdf>
3. Киселёва Н.Н., Платонов А.А. Современные информационные технологии для выполнения численных экспериментов по моделированию аэродинамики автомобиля // Фундаментальные исследования. 2015. №3. С. 1925-1932.

УДК 621.3.078.3

Левкович А.О. , Прядко С.Л.

### АВТОМАТИЗОВАННИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ КОНТРОЛЮ РОБОТИ СТАЦІОНАРНИХ УСТАНОВОК ГІРНИЧИХ ПІДПРИЄМСТВ

*Проведено аналіз та запропоновано створити автоматизований комплекс на базі системи УТАС для діагностування роботи електромеханічних систем шахтних стаціонарних установок, з контролем їх стану у реальному часі засобами багатofакторного функціонального діагностування (електричними та віброакустичними) та оцінюванні енергетичного і технічного стану для виявлення аварійних та неефективних режимів роботи.*

Ключові слова: діагностика, електромеханічна система, енергозбереження, регулювання

### АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ КОНТРОЛЯ РАБОТЫ СТАЦИОНАРНЫХ УСТАНОВОК ГОРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

*Проведен анализ и предложено создать автоматизированный комплекс на базе системы УТАС для диагностики работы электромеханических систем шахтных стационарных установок, с контролем их состояния в реальном времени средствами многофакторного функционального диагностирования (электрическими и вибро-акустическими) с оценкой энергетического и технического состояния для выявления аварийных и неэффективных*

режимов работы .

**Ключевые слова:** диагностика, электромеханическая система. энергосбережение, регулирование

## AUTOMATED COMPLEX FOR MONITORING OF WORK OF STATIONARY INSTALLATIONS OF MINING COMPANIES

*The analysis and proposed to create an automated complex based on the UTAS system for diagnosing the work of the electromechanical systems of mine stationary installations, with the control of their state in real time by means of multi-factor functional diagnostics (electric and vibration acoustic), and the assessment of the energy and technical state for the detection of emergency and ineffective robot modes*

**Key words:** diagnostics, electromechanical system. energy saving, regulation

Об'єкт дослідження – електромеханічні системи шахтних стаціонарних установок (ШСУ ЕМС).

Мета дослідження – підвищення надійності, енергетичної ефективності електромеханічних систем стаціонарних установок протягом життєвого циклу за рахунок контролювання поточних параметрів його режиму в реальному часі

### ВСТУП

Простої гірничих машин, комплексів і агрегатів внаслідок відмов пов'язані зі значними виробничими втратами, тому роботи щодо вдосконалення систем технічної діагностики є пріоритетним завданням. Найбільша частина відмов електрообладнання відбувається через пошкодження електричних машин – 39,84 %. Тому доцільними є розробка і впровадження автоматизованої системи діагностування технічного стану електромеханічних систем. Ефективність функціонування шахтних стаціонарних установок (ШСУ) залежить від їх технічного стану. В процесі експлуатації, якщо не застосовувати спеціальних заходів, технічний стан ЕМС погіршується. В зв'язку з цим виникає проблема керування технічним станом ЕМС ШСУ, яка включає наступні аспекти: раціональна організація контролю технічного стану, ефективні методи діагностування і прогнозування, визначення моментів проведення технічного обслуговування і профілактичного ремонту (відновлення), надійні методи випробування. Практичне вирішення проблеми досягається шляхом розроблення автоматизованої системи контролю і діагностики (СКД), що включає відповідні засоби методичного, апаратного, метрологічного і програмно-математичного забезпечення (ПМЗ), котрі враховують особливості об'єкта досліджень.

Особливістю стаціонарних установок є їх функціонування в динамічному режимі при наявності зовнішніх і внутрішніх збуджуючих випадкових впливів [1,2].

Основною характеристикою системи є оператор, за допомогою якого вхідні сигнали  $U(t)$  претворюються в вихідну реакцію системи  $Y(t)$ :

$$Y(t) = A(t, V) U(t).$$

Тут і далі вхідні і вихідні сигнали ЕМС розглядаються як вектори, що мають відповідні розмірності:

де індекс  $T$  – знак транспонування.

$$U(t) = [U_1(t), U_2(t), \dots, U_n(t)]^T, Y(t) = [Y_1(t), Y_2(t), \dots, Y_m(t)]^T,$$

Вхідні сигнали  $U(t)$  включають корисну складову  $g(t)$  і перешкоду  $h(t)$ . Зв'язок

корисного сигналу і перешкод може бути адитивною, мультиплікативною, адитивно-мультиплікативною, або мати складнішу залежність. Оператор  $A(t, V)$  залежить від часу  $t$  і вектора параметрів  $V = (V_1, V_2, \dots, V_n)^T$  які характеризують технічний стан (ТС) системи.

Під ТС розуміють сукупність підтверджених змін в процесі виробництва і експлуатації властивостей ЕМС, що характеризуються окремими признаками, що установлені технічною документацією. Ці признаки можуть мати кількісне і якісне вираження. Кількісно виражені признаки прийнято називати параметрами технічного стану системи. Ці параметри мають бути контрольованими в процесі виробництва і експлуатації та забезпечити об'єктивну оцінку ТС системи (ЕМС СУ) [3,4,5]. Для визначення виду ТС ЕМС на його параметри установлюють визначенні технічні норми. До них відносять: номінальні значення параметру  $V_0$ , нижнє  $V_n$  і верхнє  $V_v$ , його гранично допустимі значення, нижній  $\square_n = V_0 - V_n$  і верхній  $\square_v = V_v - V_0$  допуски на параметр. В залежності від ступеня відповідності параметрів ТС встановленим нормам розрізняють наступні види ТС об'єктів: справне, несправне, працездатне, непрацездатне і граничне. Справне ( $S_0$ ) – це стан виробу, при якому всі його визначальні параметри відповідають потребам технічної документації. Вихід хоча б одного з вказаних параметрів за границі допусків переводить ЕМС в несправний стан ( $S_0$ ). Працездатний ( $S_p$ ) стан – всі основні параметри станка знаходяться в межах допусків. Вихід хоча б одного з основних параметрів за межі допусків переводить об'єкт в непрацездатний стан ( $S_p$ ). Граничний ( $S_{gr}$ ) – це такий стан СУ, при якому його подальше застосування за призначенням, або відновлення справного (працездатного) стану неможливо або недоцільно. Додатком для граничного стану є стан ( $S_{np}$ ), в якому можлива експлуатація СУ. Між розглядаємих станами справедливе наступне логічне відношення:

$$S_0 \subset S_p \subset \overline{S_{np}}.$$

На рис. 1 показана схема основних станів і можливих переходів електромеханічної системи СУ в ці стани. Відмови, несправності і пошкодження ЕМС в процесі експлуатації виникають як випадкові події і викликані випадковими змінами параметрів технічного стану.

Таким чином, з точки зору глибини діагностування розрізняють завдання контролю (виявлення несправності) і діагностування (локалізації дефекту); перше завдання виконується також і при різних випробуваннях. Сукупність завдань, що вирішуються при визначенні ТЗ СУ на понятійному рівні, сформульовані в якості ряду послідовних етапів організації та проведення контролю, діагностування та випробувань (рис. 1). Вимірність параметра означає, що він повинен допускати можливість безпосереднього вимірювання за допомогою відповідного датчика (вібрації, температури, переміщення, швидкості і т.ін.). Інформативність параметра означає, що він повинен нести істотну інформацію про відмови (дефекти) і допускати можливість кількісного визначення їх характеристик. Інваріантність параметра означає, що він повинен мати малу (в ідеалі - нульову) чутливість до шумів та інших впливів. На рис. 2 зображено діаграму, на якій виділені множини вимірюваних, інформативних та інваріантних параметрів. Якщо перетин цих трьох множин означений, то їх загальна частина містить параметри, які відповідають всім вимогам контролю. В іншому випадку доводиться задовольняти в першу чергу вимогу вимірності, а щодо двох інших вимог досягати компромісу. Такі параметри для досліджуваного класу об'єктів можна коректно представити як узагальнені діагностичні параметри.

Характерним прикладом функціонального діагностування є методи оцінювання стану та методи аналітичної надмірності. Суть діагностування на основі аналітичної надмірності полягає в перевірці виконання деякого аналітичного співвідношення, що зв'язує змінні системи.

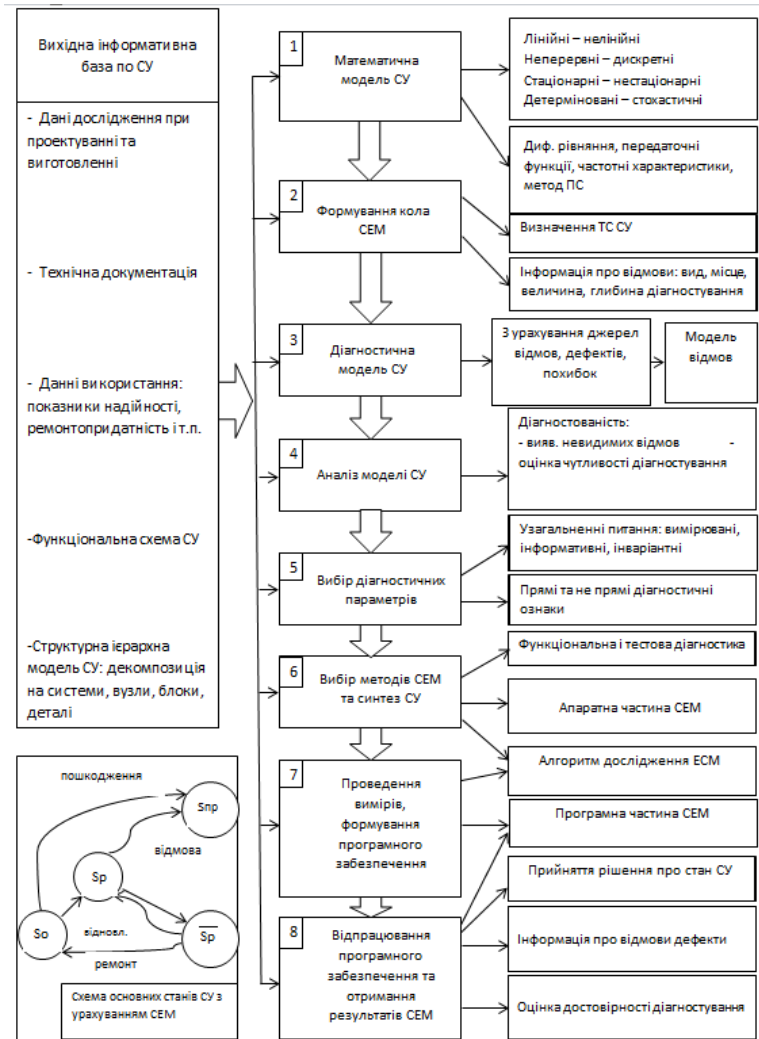


Рисунок 1 – Етапи організації та проведення контролю, діагностування та випробувань

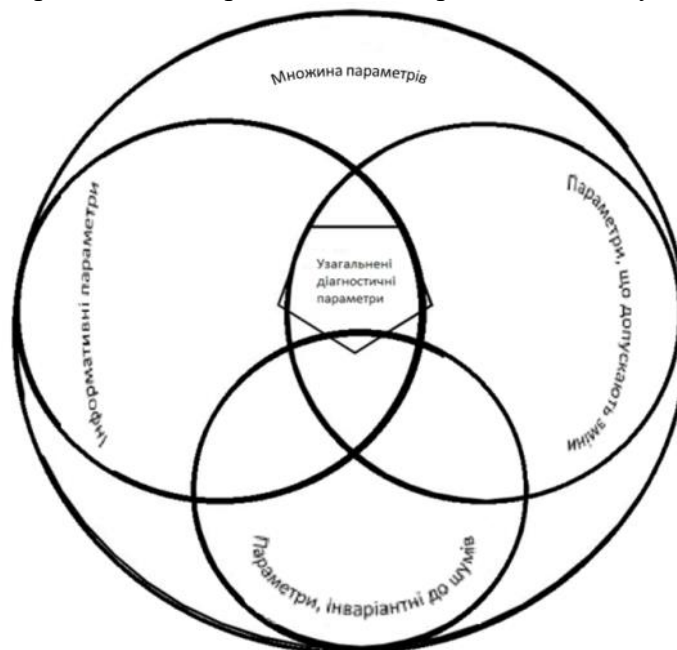


Рисунок 2 – Взаємозв'язок результатів діагностування ЕМС СУ .

У якості змінних систем пропонується використати дві системи: систему що використовує як діагностичні – поточні експлуатаційні параметри (струми і напруги), математичний апарат діагностування якої поєднує методи аналізування миттєвих значень струмів, напруг двигуна; систему контролю віброакустичного сигналу з давачів вібрації і математичного аналізу його параметрів(спектральні і тимчасові характеристики вібросигналів). Запропонована автоматизована система діагностування технічного стану ЕМС ШСУ , яка виконує наступні завдання: діагностування – визначення технічного стану в даний момент часу; - моделювання – визначення причинно-наслідкових зв'язків, які призводять до виникнення граничних станів, руйнувань та аварій; прогнозування – визначення технічного стану в деякий майбутній момент часу. Така система дозволяє замінити існуючу технологію діагностування й обслуговування устаткування – обслуговування «за регламентом» більш досконалою технологією обслуговування «за фактичним станом». Запропоновано створити автоматизований комплекс для діагностування роботи електродвигунів установок безперервної дії гірничих підприємств на базі системи УТАС, яка показана на рис.3 [6]. Область застосування системи - вугільні й гірничовидобувні підприємства, у тому числі - небезпечні по газу й пилу, з устаткуванням на поверхні й під землею, а також інші підприємства, де потрібно контролювати й передавати на відстань параметри роботи устаткування. Апаратна база системи УТАС може бути ефективно використана для керування енергетичними потоками на гірничовидобувному підприємстві. Сигнали про стан гірничих машин, механізмів, устаткування й навколишнього середовища надходять у систему від відповідних датчиків, встановлених як у шахті, так і на поверхні. Ці сигнали надходять на програмовані контролери, які їх реєструють, аналізують і подають команди на сигналізацію або відключення при перевищенні параметрами встановлених значень, а також передають цю інформацію із цифрового каналу зв'язку в диспетчерську шахти. Залежно від ситуації диспетчер формує керуючі команди, які передаються на контролери технологічних комплексів, розміщених як в гірничих виробках, так і на поверхні для ввімкнення-вимкнення обладнання.



Рисунок 3 Типова структура ситеми УТАС

ПВК –поверхневий обчислювальний комплекс; АСКУ-автоматизовані системи підконтролю та керування

Основними запроектованими завданнями системи для її використанні на вугільних шахтах є: контроль параметрів шахтної атмосфери й мікроклімату; контроль стану основного й допоміжного технологічного устаткування; автоматизоване керування гірничими машинами й комплексами; керування технологічними процесами; контроль стану систем електропостачання, гідро- та пневмозабезпечення й керування ними.

Система УТАС є відкритою системою, тобто в процесі експлуатації може бути розширений склад підсистем нижнього і верхнього рівня. Склад підсистем розширюється за рахунок введення датчиків і пристроїв як системи УТАС, так і датчиків і пристроїв інших типів, які узгоджуються за технічними параметрами з пристроями системи. До складу системи УТАС може входити різне число автоматизованих підсистем управління нижнього рівня. Пропонується використовувати систему УТАС, доповнивши її складовою для контролю та аналізування вібросигналів, які надходять з датчиків що встановлюються на ЕМС ШСУ. Для розв'язання задачі підвищення рівня енергоефективності СУ запропоновано комплексне рішення, яке полягає в контролюванні у реальному часі енергоефективності та робочого стану СУ засобами функціонального діагностування, визначаючи енергетичний і технічний стан СУ та прогнозувати залишковий ресурс роботи.

### Список літератури

1. Закладний О.О., Закладний О.М., Чермалих В.М. Методы и средства диагностики энергоэффективности электромеханических систем для создания системы энергоменеджмента. Електротехнічні та комп'ютерні системи, № 15 (91), 2014, С. 66-68.
2. Закладний О.О., Закладний О.М. Функціональне діагностування енергоефективності електромеханічних систем шахтних стаціонарних установок: Монографія / О.О. Закладний, О.М. Закладний – К.: Видавництво «Лібра», 2013. – 187 с.
3. Уварова В.А. Системы мониторинга технологических и производственных процессов промышленных предприятий / В.А. Уварова, Хлыст С.В., Роженко Р.М. и др. // «Измерительная техника» №5, 2007. С. 59-61.
4. Виброакустическая диагностика зарождающихся дефектов / Ф.Я. Балицкий, М.А. Иванова, А.Г. Соколова, Е.И. Хомяков. - М.: Наука, 1984. - 120 с.
5. Герике В.Л. Мониторинг и диагностика технического состояния машинных агрегатов: в 2 ч. - Кемерово: КузГТХ 1999. - Ч. 2. - 189 с.
6. Електронний ресурс <http://itras.com.ua>

УДК 621.3.078.3

Слива В.В , Прядко С.Л.

### ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИЙ ЕЛЕКТРОПРИВОД З ВЕНТИЛЬНИМ ДВИГУНОМ ДЛЯ ШАХТНИХ БУРИЛЬНИХ МАШИН

*Проведено аналіз енерго та ресурсозберігаючих способів зниження енергоспоживання шахтних ручних бурильних машин, запропонована система регулювання швидкості обертання свердла на базі системи електропривода за схемою « вентильний двигун», запропонована схема шахтного пускового агрегату з вбудованим перетворювачем частоти.*

**Ключові слова:** Енергозбереження, регулювання частоти, система керування, пусковий шахтний агрегат.

## ENERGY EFFICIENT ELECTRIC POWER DRIVE WITH MIRROR ENGINE FOR MACHINE BARLEY MACHINES

*The analysis of energy and resource saving methods for reducing the energy consumption of mine hand drill machines is carried out, the system of regulation of the speed of rotation of the drill on the basis of the electric drive system according to the "valve engine" scheme is proposed. The proposed scheme of a shaft starting unit with a built-in frequency converter.*

*Keywords: Energy saving, frequency regulation, control system, launching shaft aggregate.*

### Вступ

Питання підвищення якості і зниження собівартості бурових робіт, які становлять від 10 до 20 % собівартості видобування корисної копалини, привертають особливу увагу розробників бурильних машин. Створення бурового інструменту нового технічного рівня можливе при вирішенні таких основних завдань:

- дослідження характеристик міцності та інших фізико-механічних властивостей гірських порід, що вибуваються та механізму їх руйнування буровим інструментом з метою оптимізації параметрів буріння і досягнення максимальної продуктивності і зносостійкості;
- створення раціональної технології буріння свердловин в конкретних гірничотехнічних умовах;

- застосування прогресивної техніки буріння і очищення свердловин, що забезпечують мінімально можливі витрати на буріння 1 м свердловини.

Маючи повну інформацію про просторове розташування гірських порід і їх фізико-механічні властивості, проводиться правильний вибір раціональних типорозмірів бурильних механізмів та технологій його використання. Однак на цей час бурильні машини досі не обладнані регульованим електроприводом і не можуть працювати в оптимальних режимах буріння, що призводить до значних матеріальних та енергетичних втрат, а також погіршення санітарно-гігієнічних умов праці шахтарів.

### Основні завдання:

- Визначення основних причин низької ефективності бурильного устаткування;
- Аналіз методів підвищення енергоефективності бурильних машин;
- Вибір способу регулювання обертання та осьового зусилля;
- Розроблення модернізованої структурної схеми шахтного пускового агрегату;

### Мета і постановка задачі

Дане дослідження присвячене питанням підвищення рівня енергоефективності буріння за рахунок впровадження раціональної системи електроприводу бурильних машин і модернізації пускових шахтних агрегатів (АППШ), від яких живляться бурильні машини. Впровадження енергоефективних технологій та енергозберігаючого обладнання дозволяє виконати той самий обсяг робіт, з меншими витратами енергії. Буріння по неміцному вугіллю і породах середньої міцності ( $f \leq 8$ ) проводиться обертальними бурильними машинами з ручною подачею (електросвердлами), які обладнані

електродвигуном з короткозамкненим ротором, потужністю від 0,9 до 1,4 кВт. У разі використання одноступінчастого редуктора швидкість обертання шпинделя свердла становить 710–960 об/хв, для двоступінчастого редуктора – від 330 до 690 об/хв. В останньому випадку більш високий обертальний момент дозволяє застосовувати електросвердло для буріння по міцних і в'язких марках вугілля.

Переваги обертального буріння: безперервність процесу, що забезпечує високу продуктивність; руйнування породи великим зрізом, яке зменшує пилоутворення та питомі енерговитрати; відсутність вібрації машин під час роботи. До недоліків слід віднести обмежену область застосування по міцності гірських порід. Вибір раціональних режимних

параметрів, таких як частота обертання штанги  $n$  і осьове зусилля  $F_{oc}$ , та підтримання їх у процесі буріння дозволить підвищити ефективність експлуатації інструменту й бурильних машин. За контрольовані параметри при обертальному бурінні шпурів свердлами приймають осьове зусилля ( $F_{oc}$ ), частоту обертання ( $n$ ), а також інтенсивність очищення шпура. При збільшенні міцності порід осьове зусилля на свердлі зростає, а частота обертання зменшується. При неякісному очищенні вибою шпура зростає зношення бурового інструменту, і швидкість буріння різко знижується. Оптимальні режимні параметри – за О. Д. Алімовим та Л. Р. Дворніковим [1] – мінімальне осьове зусилля, яке необхідне для ефективного об'ємного руйнування порід

$$F_{oc} \geq 350 \cdot f,$$

де  $f$  – коефіцієнт міцності гірської породи по Протодьяконову а частота обертання визначається залежністю:

$$n = 36 / f, \text{ c}^{-1}$$

або

$$n = 12 \cdot 0,8 f, \text{ c}^{-1},$$

Першу формулу застосовують у виборі режимів для неміцного вугілля і порід з  $f \leq 4$ , а другу – для буріння більш міцних порід. Формули справедливі для шпурів діаметром 40 – 45 мм. Величина подачі інструмента на один оберт під дією осьового зусилля:

$$h = (9 - 0,5 f) F_{oc} \cdot 10^{-7}, \text{ м}$$

де  $F_{oc}$  – осьове зусилля, Нм;  $f$  – коефіцієнт міцності порід. Механічна швидкість буріння:

$$V = hn, \text{ м/с}$$

где  $n$  – частота обертання  $\text{c}^{-1}$ ;

Потужність на різці дорівнює:

$$P = 0,7 \cdot 108 \cdot S \cdot v \cdot f \text{ Вт}$$

де  $S$  – площа перерізу шпуру,  $\text{м}^2$ ,  $v$  – швидкість буріння шпурів,  $\text{м/с}$ .

Максимальне осьове зусилля обмежується міцністю існуючого бурового інструменту і дорівнює 15 – 20 кН. Існуючі бурильні машини допускають питому подачу  $h$  від нуля до 10 – 15 мм/об. Тим часом, усереднені значення  $h = 2,5 - 4,5$  мм/об. Вони обмежені граничними величинами осьових сил та обертальних моментів, які можуть витримати різці, не руйнуючись.

### Безконтактний шахтний пусковий агрегат для живлення бурильних машин

Аналіз вищенаведених виразів показує, що потужність бурильної машини на різці свердла істотно залежить від швидкості обертання та його діаметра. На цей час живлення ручних бурильних машин різних типів (СЭР-19М, ЭР14Д-2М, ЭР18Д-2М та ін.), які відрізняються лише типами редукторів, потужністю двигунів (до 2кВт) та швидкістю обертання шпинделя здійснюється від пускових шахтних агрегатів. Шахтний пусковий агрегат (АПП) призначений для перетворення загальношахтної трифазної змінної напруги 380 В або 660 В з частотою 50 Гц у напругу 133 В для живлення світильників потужністю не більше 0,2 кВт та двох ручних гірничих електросверدل напругою 127 В трифазного змінного струму і потужністю не більше 1,6 кВт. Іскробезпечна схема управління забезпечує захист електричних кіл самого агрегату від струмів короткого замикання, а також захист персоналу, що обслуговує агрегат, і електросвердла від ураження струмами витоку. Структурну схему АПП наведено на рис.1.

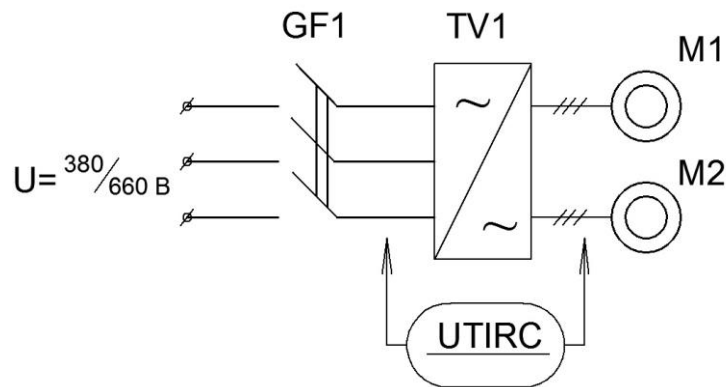


Рисунок 1 Структурна схема шахтного пускового агрегата АППШ-1

де: TV1- силовий трансформатор; QF1-автоматичний вимикач; UTIRC – система управління та контролю; M1 і M2 – електродвигуни ручних бурових машин.

Основні вимоги до силової напівпровідникової частини електропривода – мінімальні габарити в поєднанні з високими енергетичними характеристиками і абсолютною надійністю. Силкові модулі високого ступеня інтеграції отримали назву «інтелектуальних модулів», мікросхема яких включає в себе кола управління, силові ключі перетворювача, гальванічну розв'язку і захист. Найбільше поширення отримали інтелектуальні модулі фірм Mitsubishi, Fairchild, International Rectifier[2]. Такі модулі легко вбудовуються в АППШ, не змінюючи його принципової електричної схеми, а мікросхема для кращого тепловідведення закріплена на внутрішній частині корпусу АППШ. Авторами пропонується структурна схема модернізованого АППШ, представлена на рис.2

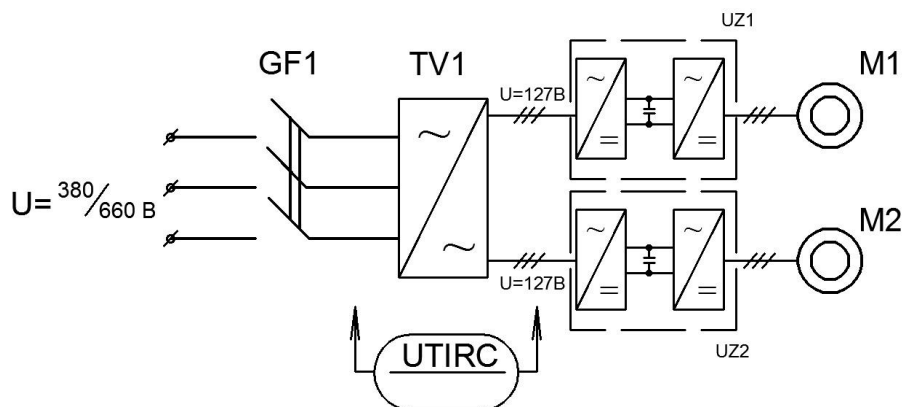


Рисунок 2 Структурна схема модернізованого шахтного пускового агрегата АППШ-1  
UZ1,UZ2- частотні перетворювачі для вентильних двигунів бурових машин

Застосування електропривода з вентильним двигуном дозволяє вирішити ряд технологічних завдань (знизити рівень вібрації, зменшити пилоутворення) і одночасно за допомогою системи автоматичного управління (САУ) швидкістю двигуна з підтримання сталого осьового зусилля істотно знизити енергоспоживання та витрати ресурсів.

#### Дослідження бурової машини за допомогою математичної моделі

Для дослідження динаміки системи в додатку Simulink розроблена модель бурової машини, що дозволяє проводити моделювання з урахуванням і без урахування обмежень регулятора осьового зусилля та з можливістю подачі на вхід системи задання різного виду [4].

При складанні моделі вентильного двигуна [ 3 ] скористаємося системою нелінійних диференціальних рівнянь Парка-Горева для ідеалізованої явнополіусної синхронної машини :

$$\left. \begin{aligned} U_d &= \frac{d\psi_d}{dt} + i_d r - \psi_q \omega_p; \\ U_q &= \frac{d\psi_q}{dt} + i_q r - \psi_d \omega_p; \\ U_f &= \frac{d\psi_f}{dt} + i_f r_f; \\ U_{kd} &= \frac{d\psi_{kd}}{dt} + i_{kd} r_{kd}; \\ U_{kq} &= \frac{d\psi_{kq}}{dt} + i_{kq} r_{kq}; \\ \frac{d\omega_p}{dt} &= \frac{1}{H} (m_s - m_c); \\ \frac{d\psi_d}{dt} &= \psi_d i_q - \psi_q i_d; \\ \frac{d\omega_p}{dt} &= \omega_p, \end{aligned} \right\}$$

де  $\psi_d, \psi_q, U_d, U_q, i_d, i_q$  – відповідно потокозчеплення, напруга і струми обмоток статора по осях d і q;

$r$  - активний опір фази статора;

$\psi_f, U_f, i_f$  - відповідно потокозчеплення, напруга і струм обмотки збудження;

$r_f$  - активний опір обмотки збудження;

$\psi_{kd}, \psi_{kq}, U_{kd}, U_{kq}, i_{kd}, i_{kq}$  - відповідно потокозчеплення, напруга і струми компенсаційних обмоток ротора СМ по осях d і q ( $U_{kd} = U_{kq} = 0$ );

$r_{kd}, r_{kq}$  - активні опори компенсаційних обмоток ротора по осях d і q;

$H$  - інерційна стала.

Потокозчеплення визначаються таким чином:

$$\left. \begin{aligned} \psi_d &= x_d i_d + x_{ad} (i_f + i_{kd}); \\ \psi_q &= x_q i_q + x_{aq} i_q; \\ \psi_f &= x_f i_f + x_{ad} (i_d + i_{kd}); \\ \psi_{kd} &= x_{kd} i_{kd} + x_{ad} (i_d + i_f); \\ \psi_{kq} &= x_{kq} i_{kq} + x_{aq} i_q, \end{aligned} \right\}$$

де  $x_d, x_q, x_{kd}, x_{kq}$  - індуктивності обмоток статора і ротора по осях d і q;

$x_f$  - індуктивність обмотки збудження;

$x_{ad}, x_{aq}$  - взаємні індуктивності по поздовжній і поперечній осях.

При записі рівнянь враховувалися допущення:

- магнітне коло машини не насичене;
- фазні обмотки симетричні;
- просторові гармоніки сил ротора и статора, що намагнічують, відсутні;
- демпферні обмотки ротора можуть бути замінені двома еквівалентними контурами;
- відсутні втрати в сталі;
- вентильми комутатора є ідеальні ключі;
- джерелом живлення служить генератор трифазної системи синусоїдальних ЕРС.

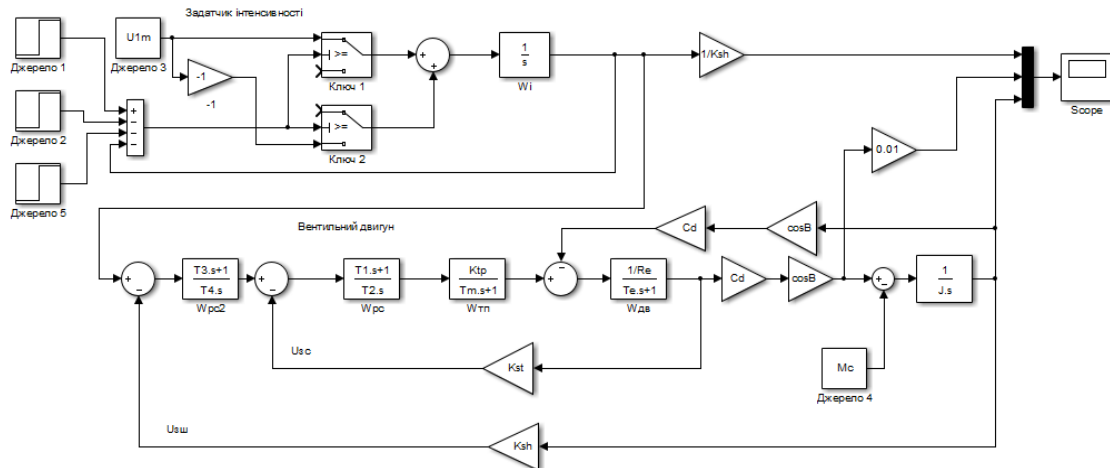


Рисунок 3 – Структурна схема електромеханічної системи.

### Аналіз динамічних режимів без урахування обмежень

Графік зміни осьового зусилля, при реакції на вхідний стрибок без урахування обмежень на виході регулятора тиску наведено на рис. 4.

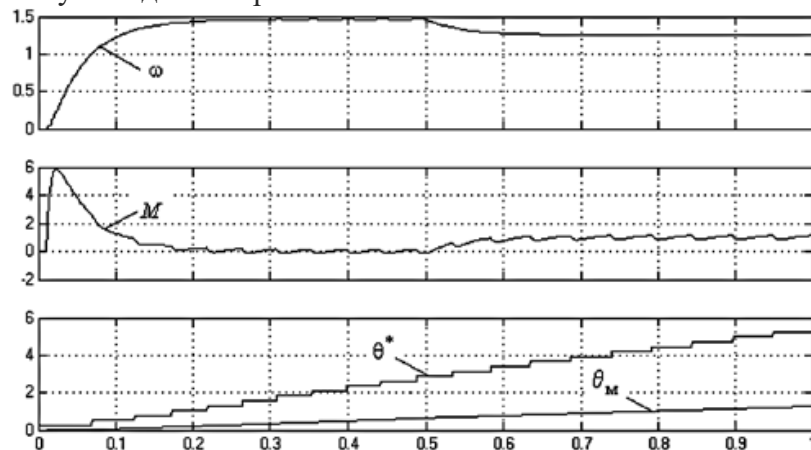


Рисунок 4 – Графік перехідного процесу зміни швидкості при реакції на вхідний стрибок

### Висновки

Виходячи з результатів аналізу методів зниження енергоспоживання, вибрано метод регулювання частоти обертання шпинделя бурильної машини. Наведена система з підпорядкованим регулюванням є достатньо ефективною та забезпечує необхідну якість регулювання. Основні показники якості перехідних процесів свідчать про достатню точність синтезованого регулятора.

Застосування регульованого електропривода за системою вентильний двигун дозволяє значно підвищити енергоефективність роботи бурильної машини, зменшити витрати бурового інструменту та поліпшити умови праці бурильників.

### Список літератури

1. Алимов, О.Д. Бурильные машины / О.Д.Алимов, Л.Т. Дворников. - М.: Машиностроение, 1976. – 295 с.
2. В. Баширов Интеллектуальные силовые модули International Rectifier Силовая электроника №2 2005.

3. Закладной А.Н Энергоэффективный электропривод с вентиляльными двигателями /Закладной А.Н., Закладной О.А. [Электронный ресурс]. Монография. – К.: «Либра», 2012. -185 с.
4. Копылов И. П. Математическое моделирование электрических машин. М., Высшая школа, 1987. 248 с.
5. Герман-Галкин С.Г. Компьютерное моделирование полупроводниковых систем в Matlab 6.0. М., Коронапринт, 2001. 320 с.

УДК 62.83:622.63:622.53

Балушок М. Ю.

кафедра автоматизації управління електротехнічними комплексами

### ВИЗНАЧЕННЯ СПОЖИВАННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ВЕНТИЛЯТОРНИМ АГРЕГАТОМ МІСЦЕВОГО ПРОВІТРЮВАННЯ З РЕГУЛЬОВАНИМ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ

**Анотація.** На основі синтезованої імітаційної моделі отримані кількісні показники стосовно споживання електроенергії вентилятором місцевого провітрювання за рік. Реалізовано основні математичні залежності, які зв'язують між собою потрібний тиск протягом доби, кутову швидкість робочого колеса, продуктивність й коефіцієнт корисної дії установки. Зроблено порівняльний аналіз енергоефективності вентиляторного агрегату з регульованим та нерегульованим електроприводом.

**Ключові слова:** вентиляторний агрегат, регульований електропривод, споживання електроенергії, імітаційна модель.

**Abstract.** On the basis of the synthesized simulation model, quantitative indices were obtained regarding the consumption of electric energy by the local ventilation fan during the year. The basic mathematical dependencies are implemented, which connect the required pressure during the day, the angular speed of the impeller, the productivity and the efficiency of the installation. A comparative analysis of energy efficiency of a fan unit with regulated and unregulated electric drive is made.

**Keywords:** fan unit, adjustable electric drive, electricity consumption, simulation model.

**Вступ.** Режим роботи вентиляторних агрегатів найбільш ефективно з точки зору енергетичних показників регулювати шляхом зміни частоти обертання робочих коліс. Тенденцією сьогодення для турбомеханізмів, зокрема й для вентиляторів, є широке застосування у вітчизняній та зарубіжній практиці частотно-регульованого електроприводу змінного струму. Застосування регульованого електроприводу в вентиляторних установках, з одного боку, зменшує споживання електроенергії, а з іншого – потребує додаткових капітальних витрат. Тому доцільність використання регульованого електроприводу в вентиляторних агрегатах визначається порівнянням наведених витрат для двох варіантів: нового з регульованим електроприводом й базового з нерегульованим приводом [1].

Для вентиляторів малої й середньої потужності застосовується система перетворювач частоти - асинхронний короткозамкнений двигун ПЧ-АД з проміжною ланкою постійного струму, а для вентиляторних установок значної потужності рекомендується система безпосередній перетворювач частоти – синхронний двигун БПЧ-СД.

Необхідність регулювання подачі повітря для вентиляторів місцевого провітрювання визначається наступними особливостями технологічного процесу [2]:

- початок проходки тупикових виробок характеризується малим значенням аеродинамічного опору, тому в цей період часу необхідна невелика подача повітря для провітрювання;

- з подовженням виробки аеродинамічний опір збільшується й потрібна подача повітря в зростаючій кількості;

- окрім збільшення аеродинамічного опору, важливим фактором являється газовиділення із навколишніх порід, для видалення котрого окремі періоди часу може знадобитися значніша кількість повітря, ніж обумовлене аеродинамічним опором;

- ведення прохідницьких робіт буропідливним способом супроводжується виділенням великої кількості продуктів вибухання й пилу, тому для їх швидкого видалення із виробки необхідна короткочасна подача підвищеної кількості повітря.

Для провітрювання тупикових виробок найбільше розповсюдження отримали вентилятори місцевого провітрювання типу ВМ.

**Мета та завдання.** Мета роботи полягає в підвищенні енергоефективності роботи вентилятора місцевого провітрювання за рахунок застосування регульованого електроприводу з урахуванням зміни частоти обертання робочого колеса відповідно до добового графіка зміни тиску.

Основні завдання наступні:

- розрахувати річне споживання електроенергії вентилятором з прив'язкою до кутової швидкості, усередненою протягом доби;

- побудувати універсальну математичну модель для отримання кількісних показників обчислюваних перемінних;

- порівняти енергетичні показники вентиляторного агрегату з регульованим та нерегульованим електроприводом.

**Матеріал і результати досліджень.** Вентилятори місцевого провітрювання забезпечують провітрювання тупикових гірничих виробок. Особливості технології ведення гірничих робіт потребують підтримання режиму роботи вентиляторної установки з циклічністю чотири години на протязі доби. Необхідний тиск на практиці визначають на основі проведення хронометражу й усереднюють для однієї доби. Для розрахунку споживання електроенергії вентиляторного агрегату використані рекомендації, наведені в [2]. Реалізація відповідних положень здійснюється за допомогою синтезованої імітаційної моделі, зображеної на рис. 1.

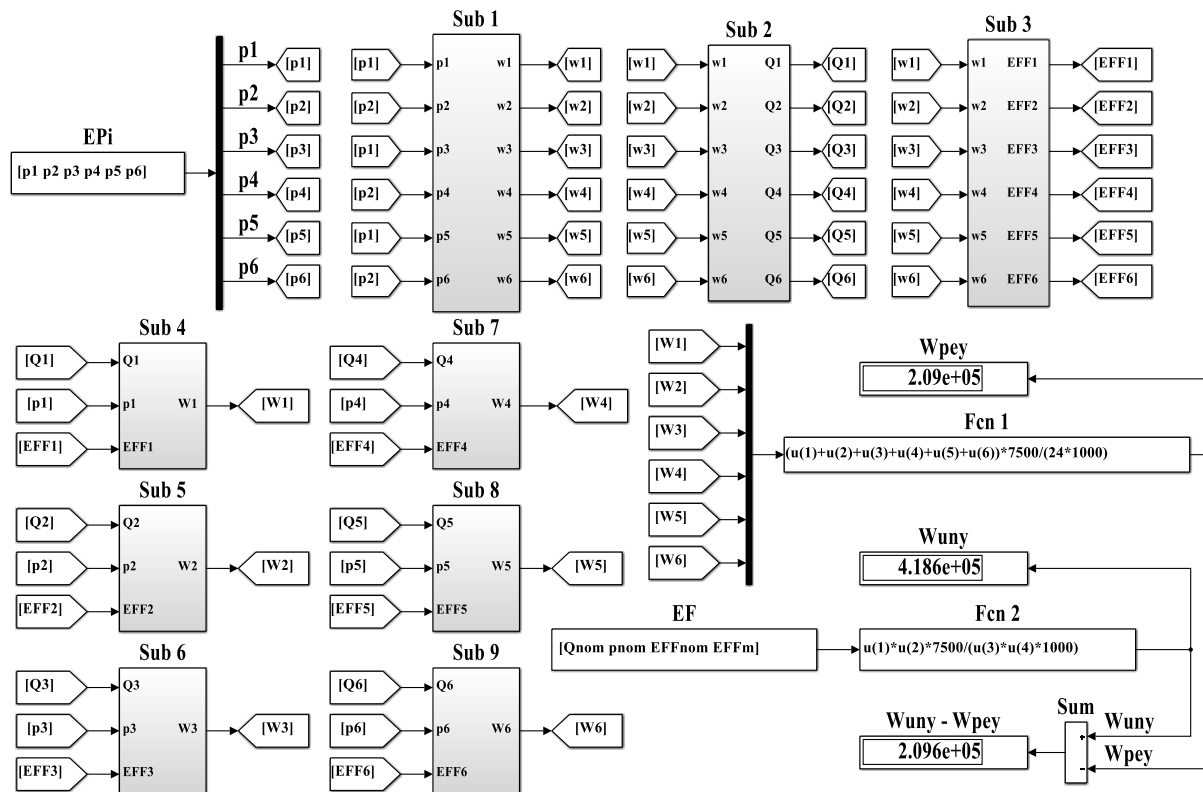


Рисунок 1 – Імітаційна модель для визначення споживання електроенергії вентиляційної установкою

Оснoву моделі складають підсистеми *Sub1* – *Sub9*. Базовим елементом кожної з них є блок *Fcn* з бібліотеки *User-Defined Functions* пакету *Simulink* системи *MATLAB*. В полі настроювання цього блоку безпосередньо вводиться відповідна формула. Необхідні зв'язки між підсистемами забезпечують блоки *Goto* – куди та *From* – звідки з позначенням відповідних перемінних в піктограмах елементів.

В якості об'єкту дослідження прийнято вентиляторний агрегат місцевого провітрювання ВМЕ-8 з регульованим електроприводом й наступними номінальними технічними характеристиками:

- продуктивність  $Q_{nom} = 10 \text{ м}^3 / \text{с}$  ;
- повний тиск  $p_{nom} = 3200 \text{ Па}$  ;
- частота обертання  $n_{nom} = 3000 \text{ об / хв}$  ;
- кутова швидкість  $\omega_{nom} = 315 \text{ 1/с}$ .
- ККД (*EFF*) вентилятора  $\eta_{nom} = 0,63$  ;
- ККД (*EFF*) приводного двигуна  $\eta_m = 0,91$  ;
- ККД (*EFF*) керованого перетворювача  $\eta_{uz} = 0,95$  .

Вихідні дані відносно потрібного тиску вентилятора наведені в 218табл. 1 при часі річної роботи вентилятора  $T_p = 7500 \text{ год / рік}$ .

Таблиця 1 – Тиск вентиляторного агрегату протягом доби

| Час доби $T_i$ , години | 0 – 4 | 4 – 8 | 8 – 12 | 12 – 16 | 16 – 20 | 20 – 24 |
|-------------------------|-------|-------|--------|---------|---------|---------|
| Повний тиск $p_i$ , Па  | 1800  | 1100  | 2600   | 2700    | 2200    | 1900    |

Кутова швидкість  $\omega_i$  (1/с) вентиляторного агрегату при необхідному тиску  $p_i$  на  $i$ -му

інтервалі доби (Sub 1)

$$\omega_i = \omega_{nom} \cdot \sqrt{\frac{p_i}{p_{nom}}}.$$

Продуктивність вентилятора  $Q_i$  (м<sup>3</sup>/с) для створення необхідного тиску на  $i$ -му інтервалі доби (Sub 2)

$$Q_i = Q_{nom} \cdot \frac{\omega_i}{\omega_{nom}}.$$

Коефіцієнт корисної дії вентилятора  $\eta_i$  при роботі з  $i$ -ою швидкістю  $\omega_i$  (Sub 3)

$$\eta_i = 1 - \frac{1 - \eta_{nom}}{\left(\frac{\omega_i}{\omega_{nom}}\right)^{0,36}}.$$

Споживана вентиляторним агрегатом потужність  $P_i$  (Вт) й електроенергія  $W_i$  (Вт·год) на  $i$ -му інтервалі доби (Sub 4...9)

$$P_i = \frac{Q_i \cdot p_i}{\eta_i \cdot \eta_m \cdot \eta_{uz}}, \quad W_i = P_i \cdot T_i.$$

Річне споживання електроенергії  $W_{pey}$  (кВт·год/рік) з регульованим електроприводом (Fcn 1)

$$W_{pey} = \frac{T_p \cdot \sum W_i}{24 \cdot 1000}.$$

Потужність  $P_{nom}$  (Вт) й річне споживання електроенергії  $W_{uny}$  (кВт·год/рік) при нерегульованому електроприводі (Fcn 2)

$$P_{nom} = \frac{Q_{nom} \cdot p_{nom}}{\eta_{nom} \cdot \eta_m}, \quad W_{uny} = P_{nom} \cdot T_p / 1000.$$

Річна економія електроенергії  $\Delta W$  (кВт·год/рік) вентиляторним агрегатом місцевого провітрювання (Sum)

$$\Delta W = W_{uny} - W_{pey}.$$

Блок *EPi* задає значення тиску вентилятора  $p_1, p_2, p_3, p_4, p_5, p_6$  протягом доби згідно табл. 1, а блок *EF* задає номінальні параметри вентиляторного агрегату  $Q_{nom}, p_{nom}, \eta_{nom}, \eta_m$ . Результати моделювання зведені в табл. 2.

Таблиця 2 – Споживання електроенергії вентиляторним агрегатом

| Річне споживання електроенергії,<br>кВт·год/рік |                                           | Економія електроенергії,<br>кВт·год/рік |
|-------------------------------------------------|-------------------------------------------|-----------------------------------------|
| Регульований<br>електропривод $W_{pey}$         | Нерегульований<br>електропривод $W_{uny}$ | $\Delta W$                              |
| 209000                                          | 418600                                    | 209600                                  |

Таким чином, треба відмітити можливість суттєвої економії споживаної електроенергії вентиляторними установками при застосуванні регульованого електроприводу замість нерегульованого.

Слід зазначити, що аналогічний підхід може бути застосовано і для визначення річного вироблення повітря вентиляційною установкою з нерегульованим та регульованим електроприводом. Це дасть можливість визначити питоме споживання електроенергії вентилятором з нерегульованим та регульованим електроприводом, як відношення річного

споживання електроенергії до річного виробітку повітря, з подальшим порівнянням отриманих результатів.

### Висновки

1. Застосування регульованого електроприводу вентиляторного агрегату замість нерегульованого дає економію споживаної електроенергії до 50%. При цьому, цей показник тим більше, чим більше час роботи вентилятора із необхідною зменшеною швидкістю протягом доби.

2. Розроблена імітаційна модель для дослідження процесів споживання електричної енергії вентиляторного агрегату місцевого провітрювання є універсальною для вентиляторних установок різного призначення. Фактично треба знати потрібний тиск вентилятора протягом доби й ввести номінальні значення параметрів стосовно продуктивності, тиску, кутової швидкості, коефіцієнтів корисної дії вентилятора, двигуна та силового перетворювача.

### Література

1. Лезнов, Б.С. Энергосбережение и регулируемый привод в насосных и воздуходушных установках [Текст] / Б.С. Лезнов. – М.: Энергоатомиздат, 2006. – 360 с.

2. Фащиленко, В.Н. Регулируемый электропривод насосных и вентиляторных установок горных предприятий: Учеб. пособие [Текст] / В.Н. Фащиленко. – М.: Издательство «Горная книга», 2011. – 260 с.

УДК 621.446

Мугенов Д. Д.

кафедра автоматизації управління  
електротехнічними комплексами

## СТВОРЕННЯ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ В СИСТЕМІ МАТЛАВ ДЛЯ ЗАДАЧ УПРАВЛІННЯ НА ПРИКЛАДІ НЕЙРОРЕГУЛЯТОРА ЕЛЕКТРОПРИВОДУ

*В роботі запропоновано детальний шаблон синтезу, навчання і застосування штучних нейронних мереж в системі управління електроприводу у пакетах Simulink та Neural network toolbox. Розроблений шлях може бути застосований для побудови нейронних мереж в системах управління і прогнозування. Розглянутий спосіб конструювання нейроконтролера можна використовувати для систем автоматичного управління електроприводами. Ретельно розглянуті інтуїтивно неочевидні проблеми при формуванні масиву даних для навчання нейронної мережі із існуючої моделі в Simulink.*

**Ключові слова:** нейронні мережі, Matlab, Simulink, Neural network toolbox, електропривод.

*The detailed synthesis, training and application template of artificial neural networks in electric motor drive control systems in Simulink and Neural network toolbox was suggested in this article. The developed path can be used to construct artificial neural networks in control and predictive systems. Considered method of neurocontroller constructing can be used for different types of electric drives control systems. Intuitively non-obvious problems in the formation of training data array from a Simulink model are considered in detail*

**Keywords:** neural networks, Matlab, Simulink, Neural network toolbox, electric drive.

**Вступ.** На сьогоднішній день інтелектуальні системи управління стрімко розвиваються та набувають широкого розповсюдження. Задачею створення інтелектуальних систем управління є розробка технологій на основі обчислювальної техніки, які здатні моделювати характеристики людської поведінки. Одним із способів вирішення цієї задачі є використання штучних нейронних мереж (ШНМ).

**Мета та завдання.** Метою роботи є підвищення рівня підготовки студентів технічних спеціальностей шляхом оволодіння початковим етапом роботи з ШНМ для задач управління на основі шаблону, який дозволяє познайомитись з процесом створення і навчання ШНМ в системі *Matlab*.

Основні задачі наступні:

- синтезувати модель об'єкту управління на основі електропривода за системою перетворювач частоти-асинхронний двигун;
- розробити покроковий шлях створення ШНМ в середовищі *Matlab*;
- виконати порівняльний аналіз системи управління з нейроконтролерами та класичним ПІ-регулятором.

**Матеріал і результати досліджень.** У вільному доступі розповсюджено наукові публікації, в яких розглядається використання ШНМ у різних сферах, таких як прогнозування, розпізнавання образів, класифікація, стиснення даних, управління [1, 2, 3, 4]. В цих роботах описуються результати досліджень, але не даються чіткі шляхи створення ШНМ, її навчання, здобуття масиву потрібних даних. Навіть в посібнику користувача панелі інструментів нейронних мереж [5] не завжди можна знайти відповіді на питання, з якими стикається початківець. В даній роботі буде розглянуто приклад створення контролера штучної нейронної мережі для управління системою електроприводу за схемою перетворювач частоти-асинхронний двигун.

Перш ніж переходити до синтезу контролера, необхідно створити модель об'єкта управління (ОУ) в пакеті *Simulink*. Модель системи перетворювач частоти-асинхронний двигун із класичним ПІ регулятором швидкості зображена на рис. 1.

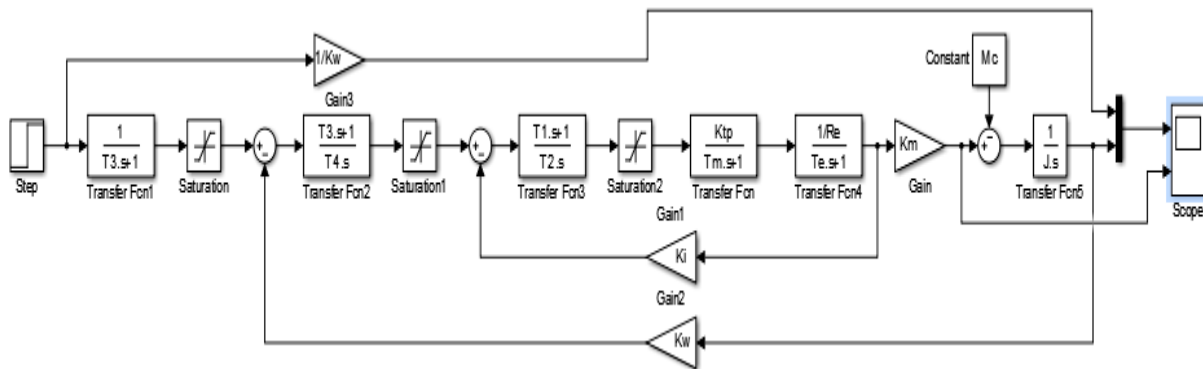


Рисунок 1 – Структурна схема системи перетворювач частоти-асинхронний двигун із класичним ПІ регулятором швидкості

Пропорційно-інтегруючий регулятор налаштовано на симетричний оптимум, перед регулятором швидкості встановлено фільтр. Прибравши регулятори швидкості і струму отримаємо в чистому вигляді об'єкт управління, який представлено на рис. 2.

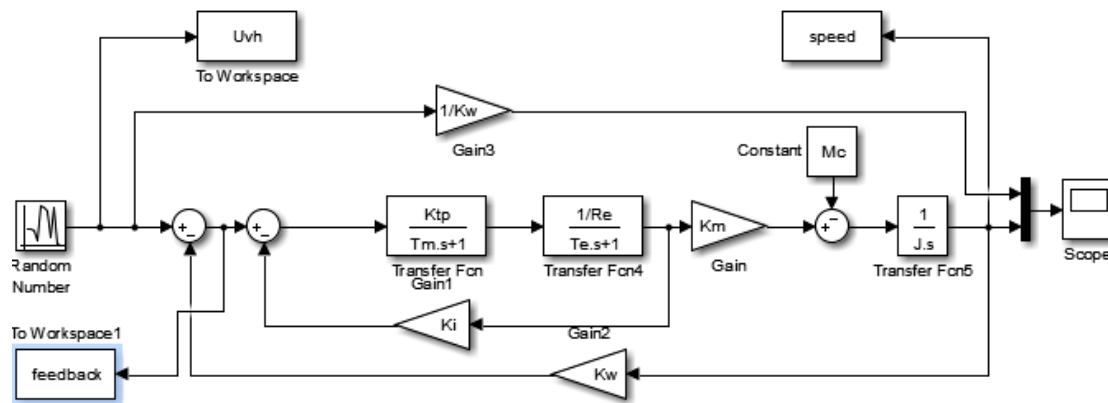


Рисунок 2 – Система перетворювач частоти-асинхронний двигун як об’єкт управління

Нейроконтролер буде реалізовувати зворотню динаміку ОУ, тобто вихідним сигналом з нейроконтролера буде сигнал управління ( $U_{vh}$ ), а входними – сигнали швидкості ( $speed$ ) і похибки швидкості ( $feedback$ ), таким чином матимуть місце два входних сигнали і один вихідний.

Для здобуття масиву навчальних даних для ШНМ доцільно скористатися блоком *To Workspace*. Викликавши вікно вводу параметрів подвійним кліком на блоці необхідно обрати формат даних *Array*, вказати час дискретизації, за яким буде створено масив *Sample time = 0.1*. В схемі, зображеній на рис. 2, в якості джерела входного сигналу встановлено блок *Random Number*, який формує випадкові ступінчасті сигнали з дискретизацією кроку *Sample time*. На рис. 3 показаний тренуючий сигнал і реакцію об’єкта управління.

В головному вікні *Matlab* треба відкрити робочу область пам’яті *Workspace*, в якій розміщені змінні. У вікні *Workspace Browser* відображаються масиви даних  $U_{vh}$ ,  $speed$ , і  $feedback$  з розмірністю  $101 \times 1$ , тому що час моделювання 10 секунд, а час дискретизації 0.1 секунда. Дані масиви слід транспонувати і отримати масиви розмірністю  $1 \times 101$ , що викликано особливістю системи створення ШНМ *nntool*, яка буде розглянута далі. Для цього необхідно подвійним кліком відкрити масив, виділити стовбець з даними, клікнути правою кнопкою миші і обрати *Transpose Variable*.

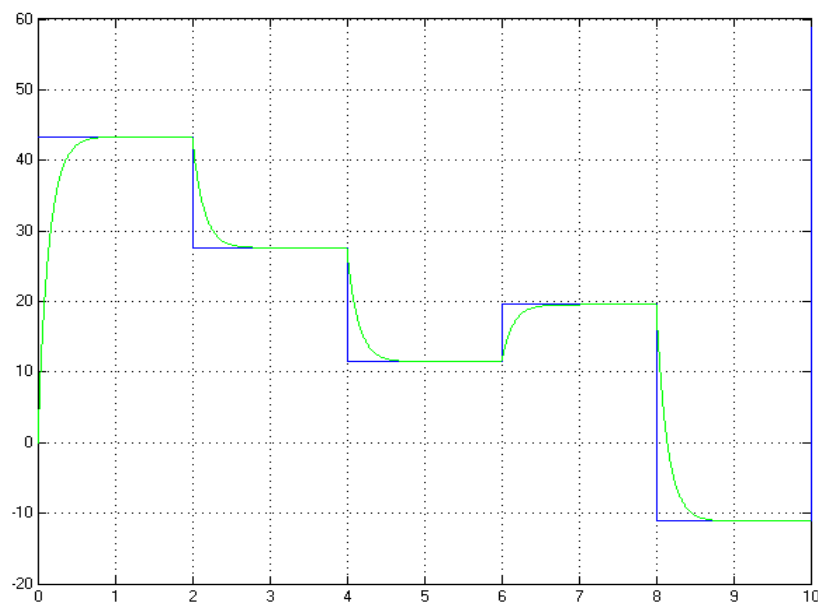


Рисунок 3 – Тренуючий сигнал і реакція об’єкта управління

Так як в нейрорегулятора буде два вхідних сигнали, то вхідний масив має мати розмірність  $2 \times 101$ , тому дані із масиву *feedback* необхідно скопіювати в масив *speed*. Дані в масиви можна завантажувати із програми для роботи з таблицями *Microsoft Excel*, або заповнювати вручну. Далі в командному вікні треба ввести команду *nntool*, щоб відкрити інструмент створення ШНМ.

Для створення нейроконтролера необхідно ввести вхідні (*Input Data*) і бажані вихідні (*Target Data*) дані для його навчання. Оскільки в робочій області *Workspace* зберігаються масиви даних для навчання, імпортуємо їх за допомогою кнопки *Import*, далі *Import from MATLAB workspace*. Обравши змінну вибираємо тип, наприклад *Input Data* для вводу вхідного масиву, і тиснемо *Import*. Аналогічно для *Target Data*. Для створення ШНМ треба натиснути *New*, відкриється вікно вводу параметрів нейронної мережі: ім'я (*network1*), тип мережі, вхідні і вихідні дані, вибір алгоритму навчання, кількість шарів мережі, кількість нейронів у шарі і функції активації нейронів у кожному шарі. В даному випадку для створення нейроконтролера слід обрати тип мережі *Feed-forward backprop*, алгоритм навчання Левенберга – Марквардта (*TRAINLM*), кількість шарів – два, 15 нейронів у скритому шарі, функція активації у скритому шарі – логарифмічна (*LOGSIG*), у вихідному – лінійна (*PURELIN*), інші параметри лишити за замовчуванням. Натиснувши *Create* у вікні *nntool* в розділі *Networks* з'явиться створена мережа *network1*. Двічі клікнувши, або натиснувши *Open*, відкриється вікно із вкладками візуалізації структури мережі, як показано на рис. 4, навчання, симуляції, ініціалізації вагів.

Відкривши вкладку *Train* необхідно обрати вхідні (*inputs*) та вихідні (*targets*) масиви навчання. У вкладці *Training Parameters* одним із важливих параметрів є кількість епох навчання (*epochs*), за замовчуванням встановлено 1000, якщо за дану кількість епох навчання похибка навчання не набула оптимального значення, треба збільшувати кількість епох. Встановивши всі параметри для навчання мережі залишилося натиснути кнопку *Train Network*.

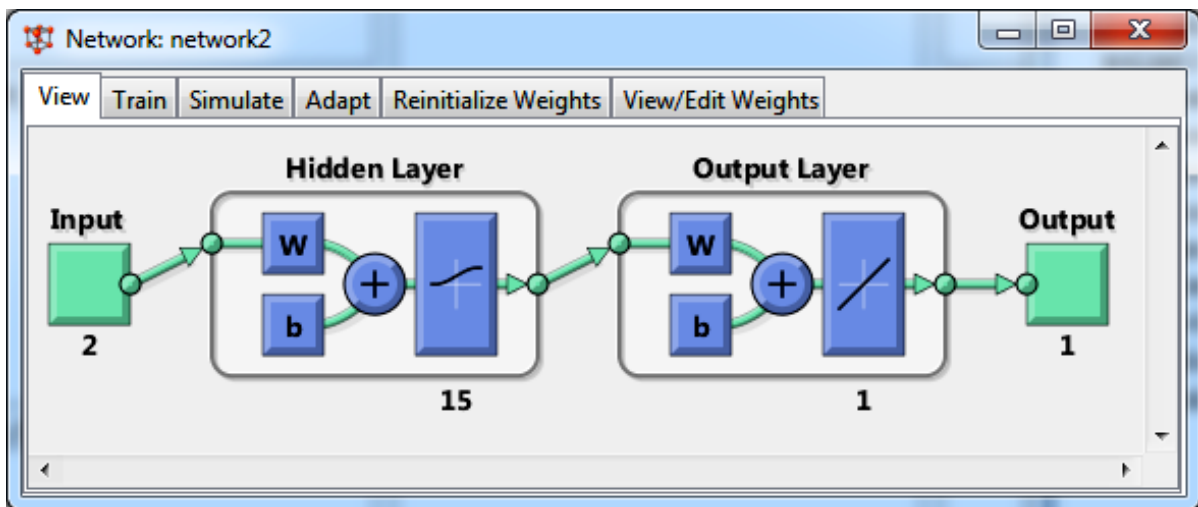


Рисунок 4 – Візуалізація створеної нейронної мережі

Мережу, що навчена, можна імпортувати в середовище *Simulink* за допомогою команди *gensim(назва мережі)* в командному вікні вставити її в файл з об'єктом управління, як показано на рисунку 5.

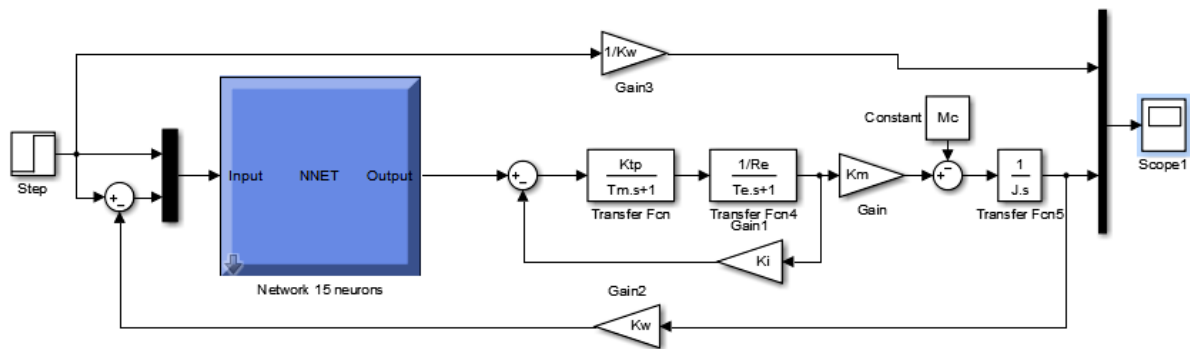


Рисунок 5 – Структурна схема системи перетворювач частоти-асинхронний двигун із нейрорегулятором

В класичній теорії автоматичного управління систему оцінюють за перехідним процесом – реакцією на одиничний вхідний вплив. Тому розглянемо перехідні процеси, отримані в результаті моделювання систем з класичним ПІ регулятором швидкості, з нейроконтролерами при 10, 15 та 20 нейронами у скритому шарі. Перехідні процеси представлені на рис. 6.

Оскільки на сьогоднішній день немає чітких правил вибору кількості нейронів у скритому шарі, функцій активації та методу навчання, було проведено навчання трьох мереж з 10, 15 і 20 нейронами у скритому шарі. З графіку перехідних процесів можна зробити висновок, що надмірно потужна мережа не є кращим вибором, бо перехідний процес нейроконтролера з 15 нейронами у скритому шарі показав таку саму статичну помилку, але менший час перехідного процесу.

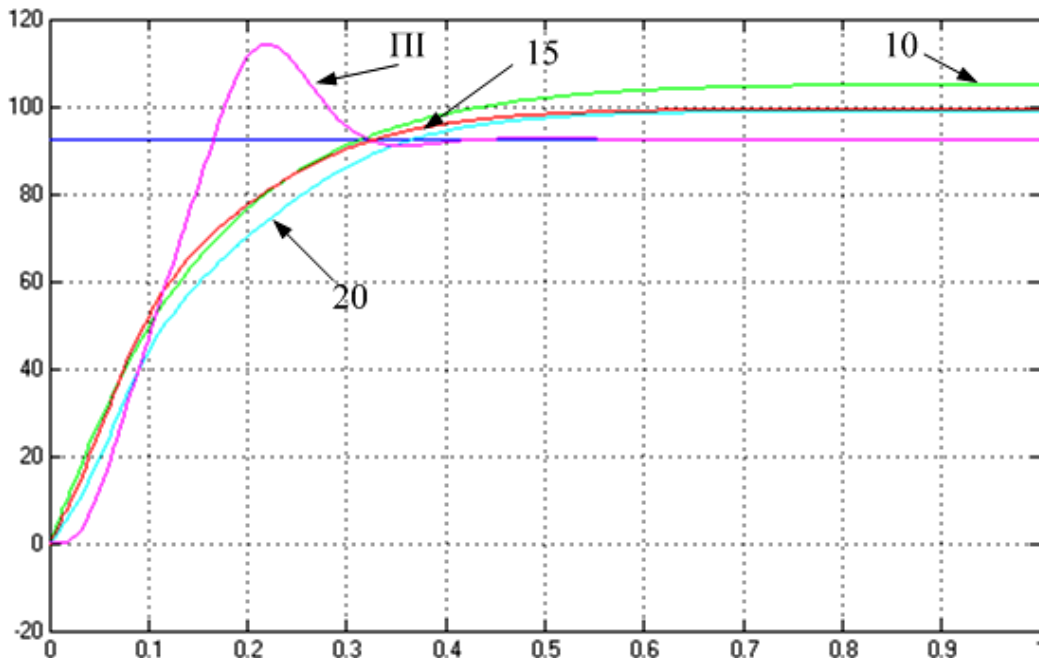


Рисунок 6 – Перехідні процеси систем з класичним ПІ регулятором швидкості, з нейроконтролерами з 10, 15 та 20 нейронами у скритому шарі

### Висновки

В роботі детально по крокам виконано синтез і навчання нейронної мережі для нейроконтролера системи управління електроприводом Перетворювач частоти-асинхронний двигун і отримано перехідні процеси для систем з класичним ПІ регулятором швидкості, з нейроконтролерами з 10, 15 та 20 нейронами у скритому шарі.

Оскільки головною метою є розробка шаблону, який дозволяє познайомитись з процесом створення і навчання ШНМ в системі *Matlab*, то математичний опис об'єкта управління не надався.

### Список літератури

1. Pranav P.S. Sensorless speed control of induction motor by artificial neural network. *International Journal of Industrial Electronics and Electrical Engineering*. 2017. №5. С. 44-48.
2. Шелудько Д., Коротков А. Применение нейросетей в системах управления электроприводами. Автоматизация технологических объектов и процессов. *Поиск молодых*. 2005. №.5. С. 220-222.
3. Кузнецов Б. И., Коломиец Т. Е., Василец В. В. Синтез нейрорегулятора на основе эталонной модели для управления нелинейным динамическим объектом. *Електротехнічні та комп'ютерні системи*. 2011. № 3. С. 451-452.
4. Бураков М., Кирпичников А. Синтез дискретного нейро-ПИД регулятора. *Вестник Казанского технологического университета*. 2014. № 3. С. 286-288.
5. Demuth H., Beale M. Neural Network Toolbox For Use with MATLAB : User's Guide. Natick, Massachusetts : The MathWorks, Inc., 2004. 846 P.

УДК 621.867.21

Поволоцький П.Б.

кафедра автоматизації управління  
електротехнічними комплексами

### ДОСЛІДЖЕННЯ РЕЖИМІВ РОБОТИ КОНВЕЄРНОЇ УСТАНОВКИ З УРАХУВАННЯМ ПРУЖНОСТІ СТРІЧКИ

На основі синтезованої імітаційної моделі отримані результати, які доводять можливість демпфірування пружних коливань в конвеєрній стрічці за рахунок відповідного визначення коефіцієнтів пристрою завдання інтенсивності другого порядку. Реалізовано основні математичні залежності, які зв'язують між собою параметри частотно-регульованого електроприводу й двомасової електромеханічної системи конвеєра з урахуванням пружних механічних зв'язків конвеєрної стрічки. Зроблено висновок щодо умови забезпечення відсутності пружних коливань в системі.

**Ключові слова:** конвеєрна установка, конвеєрна стрічка, пружні коливання, частотно-регульований електропривод, імітаційна модель.

On the basis of the synthesized simulation model, results have been obtained that prove the possibility of damping elastic oscillations in the conveyor belt due to the corresponding determination

*of the coefficients of the second-order intensity problem device. The basic mathematical dependencies are implemented, which connect the parameters of a frequency-regulated electric drive and a two-mass electromechanical system of the conveyor, taking into account the elastic mechanical connections of the conveyor belt. A conclusion is made regarding the condition for the absence of elastic oscillations in the system.*

**Keywords:** conveyor installation, conveyor belt, elastic oscillations, frequency regulating electric drive, simulation model.

### **Вступ.**

Конвеєрну стрічку можливо представити у вигляді однорідного тіла, яке складається з пружних елементів, котрі піддаються дії сухого та в'язкого тертя. Розповсюдження пружних коливань в даних елементах описується диференціальними рівняннями другого порядку в приватних похідних. В разі такого математичного опису пружних властивостей стрічки аналітичним способом аналіз електромеханічних показників й синтез системи керування електроприводом викликає значні труднощі. Тому, зручніше представити конвеєрну стрічку у вигляді зосереджених мас. При цьому, кількість зосереджених мас обирається з вимогою збігу основних власних частот коливань в системі із зосередженими масами й в системі з розподіленими масами [1].

Дослідження відносно цієї проблеми показують, що при кількості мас, рівній шести, основні власні частоти коливань відповідають системі з розподіленими масами. При такій кількості мас аналітичний аналіз є складним за рахунок високого порядку диференціальних рівнянь. Якщо за допомогою регульованого електроприводу буде забезпечено демпфірування коливань в стрічці з досягненням аперіодичного характеру перехідного процесу, то електромеханічну систему стрічкового конвеєра можливо представити у вигляді двомасової, яка зручна для аналізу й параметричного синтезу.

**Мета та завдання.** Мета роботи полягає в підвищенні ефективності роботи конвеєрної установки й зменшення кількості простоїв за рахунок демпфірування пружних коливань в стрічці, які оказують суттєвий вплив на її технічний стан.

Основні завдання наступні:

- розрахувати двомасову пружну електромеханічну систему стрічкового конвеєра;
- синтезувати імітаційну модель конвеєрної установки з урахуванням пружності стрічки;
- знайти й перевірити можливі шляхи виключення наявності пружних коливань в системі.

**Матеріал і результати досліджень.** Коливальний рух конвеєрної стрічки надає негативний вплив на її технічний стан, що призводить до прискореного зносу обкладкових гум й каркасу стрічки, а також тих елементів, котрі сприймають основні навантаження в процесі роботи [2].

Для дослідження пружних зв'язків в електромеханічній системі синтезована імітаційна модель двомасової пружної системи стрічкового конвеєра з частотно-регульованим електроприводом, котра представлена на рис. 1.

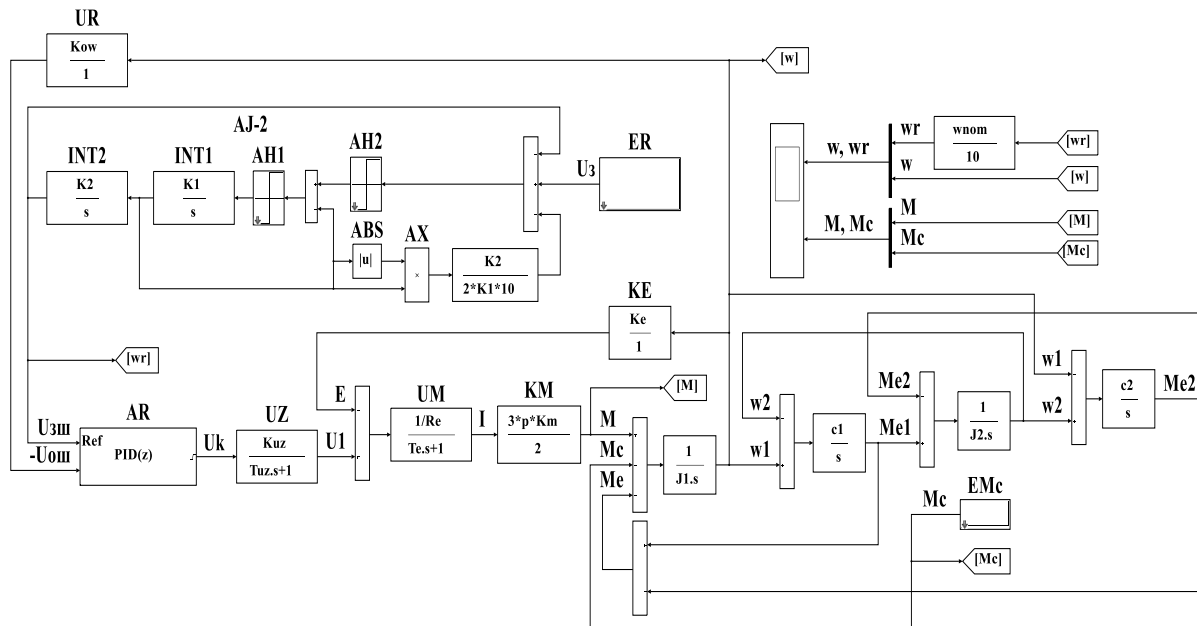


Рисунок 1 – Структурна модель пружної системи стрічкового конвеєра з частотно-регульованим електроприводом

В якості об'єкту дослідження прийнято стрічковий конвеєр КЛШ-500, параметри якого згідно технологічного розрахунку приведені в табл. 1.

Таблиця 1 – Основні параметри стрічкового конвеєра

| Позначення | Найменування                                                  | Чисельне значення  |
|------------|---------------------------------------------------------------|--------------------|
| $Q_{nom}$  | Годинна продуктивність                                        | 500 т/год          |
| $L$        | Довжина траси                                                 | 200 м              |
| $\beta$    | Кут нахилу конвеєра                                           | 16°                |
| $v_{nom}$  | Номінальна лінійна швидкість стрічки                          | 2 м/с              |
| $E_b$      | Модуль динамічної пружності стрічки                           | $2,8 \cdot 10^7$ Н |
| $q_m$      | Погона маса вантажу на стрічці                                | 70 кг/м            |
| $q_b$      | Погона маса стрічки                                           | 8,195 кг/м         |
| $q_{r1}$   | Погона маса обертових частин роликів вантажної гілки конвеєра | 26,7 кг/м          |
| $q_{r2}$   | Погона маса обертових частин роликів порожньої гілки конвеєра | 12,5 кг/м          |
| $F_t$      | Повне тягове зусилля                                          | 47390 Н            |
| $R_b$      | Радіус барабану                                               | 0,6 м              |
| $i_r$      | Передатне число редуктора                                     | 31,5               |
| $\eta_r$   | Коефіцієнт корисної дії редуктора                             | 0,92               |

Обрано приводний асинхронний короткозамкнений двигун 4АН315S6 (потужність  $P_{nom} = 132$  кВт; частота обертання  $n_{nom} = 982$  об /хв; струм статора  $I_{nom} = 241,6$  А; коефіцієнт корисної дії  $\eta_{nom} = 0,93$ ; коефіцієнт потужності  $\cos\varphi_{nom} = 0,89$ ; кратність пускового  $K_{mst} = M_{st} / M_{nom} = 1,2$  й максимального  $K_{mm} = M_{max} / M_{nom} = 1,9$  моментів; момент інерції  $J_m = 4,9$  кг·м<sup>2</sup>).

Найменування блоків й відповідні кількісні значення параметрів силової частини

системи зведені в табл. 2.

Таблиця 2 – Силовий канал частотно-регульованого електроприводу стрічкового конвеєра

| Позначення | Найменування                                           | Чисельне значення |
|------------|--------------------------------------------------------|-------------------|
| $UZ$       | Перетворювач частоти ПЧ                                |                   |
| $K_{uz}$   | Коефіцієнт передачі ПЧ                                 | 22                |
| $T_{uz}$   | Стала часу ПЧ                                          | 0,005 с           |
| $UM$       | Асинхронний короткозамкнений двигун                    |                   |
| $R_e$      | Еквівалентний активний опір                            | 0,0364 Ом         |
| $T_e$      | Еквівалентна стала часу                                | 0,02 с            |
| $KM$       | Елемент зв'язку між струмом статора й моментом двигуна |                   |
| $p$        | Кількість пар полюсів                                  | 3                 |
| $K_m$      | Коефіцієнт передачі за моментом                        | 1,18 Н·м/А        |
| $KE$       | Блок зв'язку між кутовою швидкістю валу та ЕРС двигуна |                   |
| $K_e$      | Коефіцієнт передачі за ЕРС двигуна                     | 2,11 В·с          |

При математичному опису пружної системи стрічкового конвеєра використані загальноприйняті припущення:

- не враховані зусилля в'язкого тертя;
- конвеєрна стрічка має тільки пружну деформацію;
- центр другої маси розміщується в середині суми поступально рухомих мас.

Розрахунки механічної частини пружної системи стрічкового конвеєра згідно структурної моделі (див. рис. 1) виконані відповідно до методики, викладеної в [1].

Статичний момент навантаження  $M_c$ , приведений до валу двигуна

$$M_c = \frac{F_t \cdot R_b}{i_r \cdot \eta_r} = 970 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Загальний пружний момент навантаження  $M_e$  формується згідно виразу

$$M_e = M_{e1} - M_{e2}.$$

Момент інерції першої маси  $J_1$ , до якої відносяться обертові елементи двигуна, редуктора й барабана

$$J_1 = 1,2 \cdot J_m = 5,4 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Момент інерції другої маси  $J_2$ , до котрої належить приведенне до швидкості валу двигуна значення моменту інерції механічної частини конвеєра

$$J_2 = L \cdot (q_m + 2 \cdot q_b + q_{r1} + q_{r2}) \cdot \left( \frac{v_{nom}}{0,105 \cdot n_{nom}} \right)^2 = 9,45 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Відстань від першої маси до умовного центру другої маси  $l_1$  згідно еквівалентній розрахунковій схемі конвеєра

$$l_1 = 0,5 \cdot L \cdot (q_m + 2 \cdot q_b + q_{r1} + q_{r2}) = 120 \text{ м}.$$

Роблячи обхід за контуром конвеєрної установки, знаходимо відстань  $l_2$  від умовного центру другої маси до першої маси

$$l_2 = 2 \cdot L - l_1 = 280 \text{ м}.$$

Приведені коефіцієнти жорсткості  $c_1$ ,  $c_2$  конвеєрної стрічки

$$c_1 = \frac{E_b}{l_1} \cdot \left( \frac{v_{nom}}{0,105 \cdot n_{nom}} \right)^2 = 88 \text{ Н} \cdot \text{м}, \quad c_2 = \frac{E_b}{l_2} \cdot \left( \frac{v_{nom}}{0,105 \cdot n_{nom}} \right)^2 = 37,6 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Сигнал потрібної швидкості формується блоком ER (імітує дії оператора-машиніста).

В якості пристрою завдання діаграми швидкості прийнято задавач інтенсивності другого порядку AJ-2, який містить інтегратори INT1, INT2; нелінійні елементи релейного типу AH1, AH2; блок виділення модулю ABS; елемент перемноження AX й пропорційну ланку.

Коефіцієнт передачі  $K_1$  визначає трапецієвидну форму зміни сигналу, пропорційному прискоренню (моменту) системи

$$K_1 = \frac{\rho_{max}}{\varepsilon_{max}} = 2,$$

де  $\varepsilon_{max} = (K_{mm} \cdot M_{nom} - M_c) / J_1$  - максимальне значення прискорення системи,  $1/c^2$ ;  $\rho_{max}$  - максимальне значення ривку,  $1/c^3$  (попередньо можна прийняти  $\rho_{max} = 2 \cdot \varepsilon_{max}$ ).

Коефіцієнт передачі  $K_2$  формує плавний закон зміни сигналу заданої швидкості

$$K_2 = \frac{\varepsilon_{max}}{0,105 \cdot n_{nom}} = 2,7.$$

Складові ПД-регулятора швидкості у вигляді коефіцієнтів  $K_p$ ,  $K_i$ ,  $K_d$  обчислюються при стандартній настройці  $a_\omega = 2$  за наступними формулами:

$$K_p = \frac{J_1 \cdot R_e}{a_\omega \cdot T_{uz} \cdot K_{uz} \cdot 1,5 \cdot p \cdot K_m \cdot K_{o\omega}} = 1,68, \quad K_i = \frac{K_e}{a_\omega \cdot T_{uz} \cdot K_{uz} \cdot K_{o\omega}} = 96,$$

$$K_d = \frac{T_e \cdot J_1 \cdot R_e}{a_\omega \cdot T_{uz} \cdot K_{uz} \cdot 1,5 \cdot p \cdot K_m \cdot K_{o\omega}} = 0,035.$$

Результати моделювання процесу запуску конвеєра зображені на рис. 2. Пуск конвеєра здійснюється на холостому ході при моменті  $M_{xx} = 0,1 \cdot M_c$ , а при часі  $t = 12$  с подається повне навантаження  $M_c$ .

В разі розрахунків за потрібними формулами, наведеними вище, мають місце незатухаючі коливання в кривій моменту двигуна (рис. 2, а), які негативно впливають на технічний стан конвеєрної стрічки [2]. Згідно теоретичних положень є можливість демпфірування таких коливань за рахунок формування відповідних задаючих сигналів. Зокрема це стосується темпу зміни моменту, тобто прискорення. Якщо зробити час зростання моменту  $t_m$  рівним періоду власних коливань  $T_k$ , то коливання зникають (рис. 2, б).

Діаграма прискорення (моменту) формується за допомогою коефіцієнту  $K_1$  задавача інтенсивності. Тобто треба зробити перерахунок за виразом

$$K_1 = \frac{1}{t_m} = \frac{1}{T_k} = \frac{1}{1,72} = 0,58 \text{ с}^{-1}.$$

Потім, в разі необхідності, треба скорегувати й коефіцієнт  $K_2$ .

Треба відмітити, що при цьому час перехідного процесу дещо збільшується.

Слід зазначити, що на швидкісній діаграмі коливання моменту не впливають і за рахунок застосування ПД-регулятора на вході системи графіки заданої й фактичної швидкостей практично співпадають.

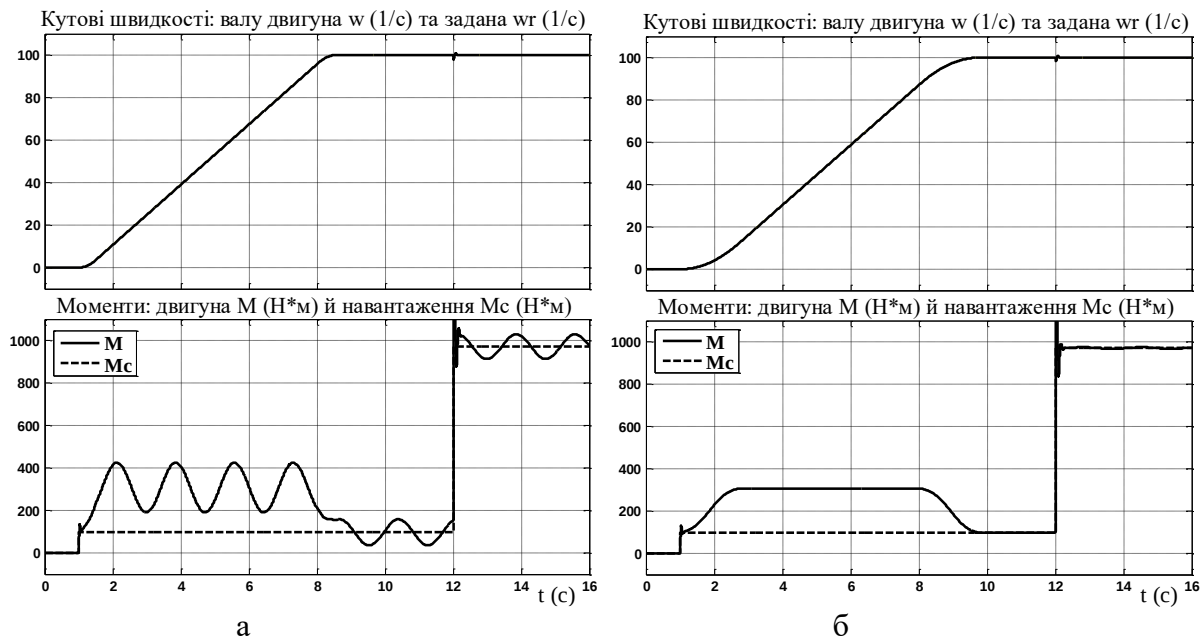


Рисунок 2 – діаграми кутових швидкостей та моментів:  
а - при традиційній настройці, б - при скорегованих коефіцієнтах задавача

### Висновки

1. Отримані результати комп'ютерного моделювання пружної двомасової електромеханічної системи стрічкового конвеєра підтвердили теоретичні положення щодо наявності стійких незгасаючих коливань моменту двигуна при застосуванні класичної методики розрахунку параметрів системи.
2. Практично повне демпфірування коливань забезпечується при виконанні умови рівності часу зростання моменту двигуна при запуску конвеєра й періоду власних автоколивань в системі, що потребує відповідного коригування коефіцієнтів задавача інтенсивності другого порядку.
3. На діаграми швидкості валу приводного двигуна конвеєра наявність пружних коливань не впливає.

### Список літератури

1. Автоматизированный электропривод ленточных конвейеров: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.bibliofond.ru/view.aspx?id=698140>.
2. Терезюк П.С. Влияние колебания ленты конвейера на ее техническое состояние [Текст] / П.С. Терезюк // Universum: Технические науки : электрон. научн. журн. – 2014. – № 8 (9) . URL: <http://7universum.com/en/tech/archive/item/1538>.

УДК 628.88

Бровко В.О.  
кафедра автоматизації управління  
електротехнічними комплексами

## СИСТЕМА РЕГУЛЮВАННЯ ПОВІТРООБМІНУ В ГРОМАДСЬКИХ ПРИМІЩЕННЯХ В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД КІЛЬКОСТІ ПРИСУТНІХ ЛЮДЕЙ

*Розглянуто підхід та методика контролю й регулювання одного з основних параметрів повітря, а саме його якості, котрий впливає на комфортні умови перебування глядачів в зоровій залі кінотеатру. Для отримання кількісних показників запропонована імітаційна модель системи регулювання повітрообміну в залі для глядачів з урахуванням фактичної кількості людей та підтримки потрібних кліматичних умов.*

**Ключові слова:** мікроклімат, повітрообмін, якість повітря, кількість повітря, імітаційна модель.

*The approach and method of control and regulation of one of the main parameters of air, namely its quality, which influences the comfortable conditions of viewers stay in the visual hall of the cinema. To obtain quantitative indicators, the simulation model of the system of regulation of air exchange in the auditorium for spectators is proposed taking into account the actual number of people and maintaining the necessary climatic conditions.*

**Keywords:** microclimate, air exchange, air quality, amount of air, simulation model.

**Вступ.** Мікроклімат приміщень визначає комфортний стан людини, впливає на технологічні й виробничі процеси, впливає на довговічність огорожувальних конструкцій будівлі. При цьому, мікроклімат характеризується станом наступних основних параметрів: температури повітря й поверхонь оточуючих конструкцій, відносної вологості, вологовмісту, рухливості, концентрації різних домішок.

Якість внутрішнього середовища приміщень в будівлях є одним з визначальних чинників збереження здоров'я, активної життєдіяльності, працездатності і комфортного самопочуття їх відвідувачів [1].

**Мета та завдання.** Мета роботи полягає в підвищенні безпеки та життєдіяльності людей за рахунок регулювання повітрообміну в громадських приміщеннях з урахуванням фактичної кількості присутніх й підтримки необхідних комфортних умов.

Основні завдання наступні:

- визначити основні показники якості повітря, які впливають на мікроклімат в громадських приміщеннях;
- розробити імітаційну модель для дослідження каналу управління якістю повітря в залежності від кількості присутніх людей;
- оцінити ефективність роботи системи зміни витрати повітря для забезпечення нормованої кількості повітря на одну людину.

**Матеріал і результати досліджень.** Однією з найзначніших витрат при експлуатації сучасних громадських будівель і, зокрема, кінотеатрів є витрати теплоти на нагрів припливного вентиляційного повітря в зимовий період і витрати холоду на його охолодження влітку. Згідно з вітчизняними нормами в приміщеннях громадського та адміністративного призначення мінімальна витрата свіжого повітря на одну людину становить 60 м<sup>3</sup>/год, за винятком приміщень, де люди перебувають не більше двох годин. В останньому випадку

мінімальна витрата свіжого повітря на одну людину повинна становити  $20 \text{ м}^3/\text{год}$  [2].

Витрата вентиляційного повітря визначається по кількості людей, що знаходяться в приміщенні. Але зазвичай протягом тижня зали кінотеатрів заповнюються нерівномірно. На відміну від прем'єрних показів і вихідних днів, в будні зал може бути заповнений всього на 30%. Згідно підвищеним вимогам з енергозбереження нерационально постійно подавати номінальну витрату свіжого повітря.

Основним джерелом тепло- і вологонадходження в залі є люди. Оскільки при зміні кількості людей в приміщенні змінюється концентрація  $\text{CO}_2$ , то регулювання витрати повітря можна здійснити за датчиком вуглекислого газу, як правило, розміщеному у витяжному повітроводі. Температура і вологість повітря в приміщенні також є найважливішими параметрами, що визначають стан комфорту людей [3].

Традиційні системи вентиляції кінотеатрів запроектовані на повну наповненість залу для глядачів, але з практичного досвіду, максимальна присутність глядачів в залі відбувається лише в 10 % випадків. При цьому, система вентиляції постійно працює з повною максимальною потужністю, що неефективно з точки зору як енергоспоживання так і ресурсозбереження.

Одним з варіантів вирішення цієї проблеми є створення системи вентиляції зі змінною витратою повітря. Передбачається можливість регулювання повітрообміну в зоровій залі кінотеатру в залежності від фактичної кількості глядачів. Така система дозволяє отримати оптимальний баланс між якістю повітря і енергетичними показниками, а також сформувати й підтримувати комфортний мікроклімат в приміщенні [4].

Найбільш простим з точки зору технічної реалізації варіантом підрахунку числа глядачів є використання практично пропорційної залежності концентрації  $\text{CO}_2$  від кількості людей в залі.

З використанням системи *MATLAB* на базі пакету *Simulink* синтезована імітаційна модель для дослідження каналу управління якістю повітря в залі кінотеатру, яка представлена на рис.1.

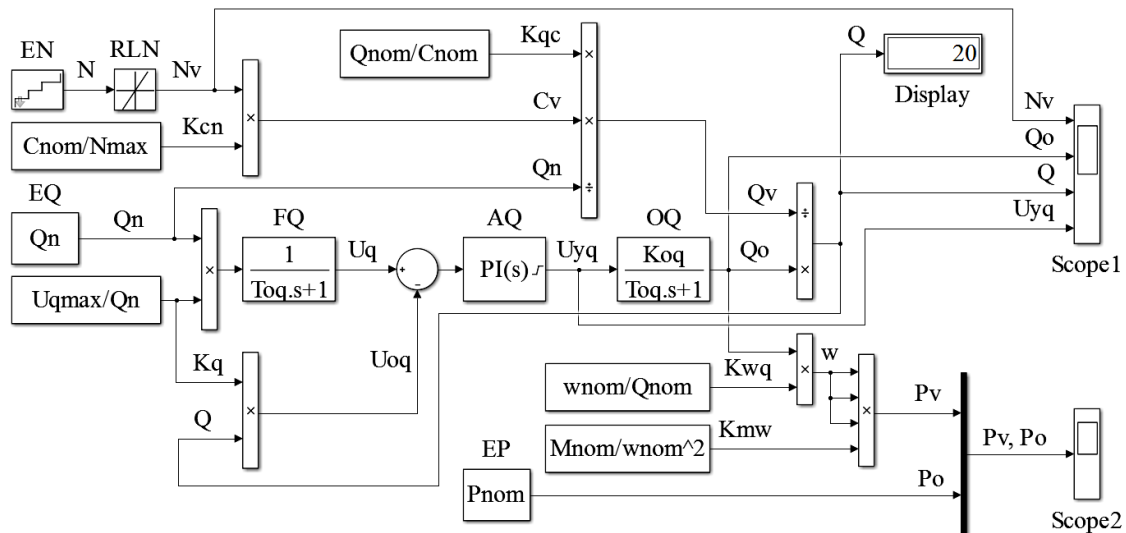


Рисунок 1 – Модель каналу регулювання витрати повітря в залі кінотеатру

Буквені позначення перемінних для каналу регулювання кількості повітря в залі для глядачів:

$N$  – кількість людей в зоровій залі, осіб;

$C$  – концентрація  $\text{CO}_2$  в повітрі, ppm;

$Q$  – витрата повітря в приміщенні,  $\text{м}^3/\text{год}$ .

Основні функціональні елементи моделі каналу управління витратою повітря:

$OQ$  – об'єкт каналу регулювання витрати повітря з загальним коефіцієнтом передачі  $K_{oq} = Q_{nom} / U_{yqmax}$  й сталою часу  $T_{oq} = 30$  с (інерційність зміни вмісту  $\text{CO}_2$ ), де  $Q_{nom} = 6000$   $\text{м}^3/\text{год}$  – номінальна величина витрати повітря при повному заповненні зали глядачами,  $U_{yqmax} = 10$  В – максимальне значення сигналу управління;

$AQ$  – пропорційно-інтегруючий регулятор витрати повітря з коефіцієнтами пропорційної частини  $K_{pq} = 16$  та інтегруючої  $K_{iq} = 0,05$ ;

$FQ$  – фільтр на вході системи управління для зменшення перерегулювання за кількістю повітря;

$EQ$  – блок завдання нормованого значення повітрообміну на одну людину в залі кінотеатру  $Q_n = 20$   $\text{м}^3/\text{год}$ ;

$EN$  – блок ступеневого завдання кількості глядачів  $N = 0, 75, 150, 225$  і  $300$  осіб (відповідно  $0, 25, 50, 75$  та  $100$  % наповненості зали);

$RLN$  – елемент формування лінійної залежності зміни глядачів за часом.

Коефіцієнти  $K_{cn}$ ,  $K_{qc}$ ,  $K_q$  забезпечують зв'язок перемінних та сигналів між собою за формулами

$$K_{cn} = \frac{C_{nom}}{N_{max}}, \quad K_{qc} = \frac{Q_{nom}}{C_{nom}}, \quad K_q = \frac{U_{qmax}}{Q_n},$$

де  $C_{nom} = 1130$  ppm – номінальне значення концентрації в залі,  $N_{max} = 300$  осіб – максимальна кількість людей в залі,  $Q_{nom} = 6000$   $\text{м}^3/\text{год}$  – номінальна витрата повітря в зоровій залі при максимальному її заповненні,  $U_{qmax} = 10$  В – максимальне значення сигналу завдання нормованої кількості повітря на одного глядача  $Q_n = 20$   $\text{м}^3/\text{год}$ .

Алгоритм функціонування моделі:

$0 \leq t < 300$  с – поступове заповнення зорової зали до  $25$  % ( $75$  глядачів);

$300 \leq t < 600$  с – збільшення наповнення зали до  $50$  % ( $150$  людей);

$600 \leq t < 1000$  с – наповнення зали глядачами на  $75$  % ( $225$  осіб);

$1000 \leq t < 1400$  с – максимальне заповнення зали на  $100$  % ( $300$  глядачів);

$t = 1400$  с – закінчення процесу моделювання.

Осцилограф *Scope1* дозволяє відстежити динаміку поведінки системи регулювання повітрообміну за зміною в часі кількості глядачів в зоровій залі  $N_v$ , фактичної витрати повітря в цілому  $Q_o$  та на одну людину  $Q$ , а також сигналу  $U_{yq}$  на виході регулятора продуктивності вентилятора. Зазначені залежності (рис. 2, а) зображені у вигляді графіків  $N_v(t)$ ,  $Q_o(t)$ ,  $Q(t)$ ,  $U_{yq}(t)$ .

Діаграми  $N_v(t)$  й  $Q_o(t)$  відображають потрібну залежність подачі повітря в зорову залу від кількості глядачів, тобто для змодельованої ситуації поступового збільшення кількості людей відповідно зростає витрата повітря в залі.

Графік  $Q(t)$  наочно ілюструє можливість налаштування системи таким чином, щоб забезпечити в кожний момент часу незалежно від кількості глядачів необхідну нормовану витрату повітря на одну людину, що становить  $20$   $\text{м}^3/\text{год}$ . Це підтверджують показання цифрового вимірювача *Display*.

Графічна залежність  $U_{yq}(t)$  показує характер зміни сигналу управління на виході регулятора, котрий фактично і відповідає за організацію процесу регулювання повітрообміну в залі кінотеатру.

Діаграми активних потужностей нерегульованого  $P_o$  та регульованого  $P_v$  електроприводу вентилятора в порівнянні між собою отримані за допомогою осцилографа *Scope2* і зображені на рис.2, б.

Графічні залежності показують суттєву економію споживання активної потужності двигуном при регулюванні кутової швидкості вентилятора в функції кількості глядачів в залі в порівнянні з нерегульованим приводом, коли весь час система працює з максимальним навантаженням. При цьому, чим менше людей в залі, тим економія стає більш значною.

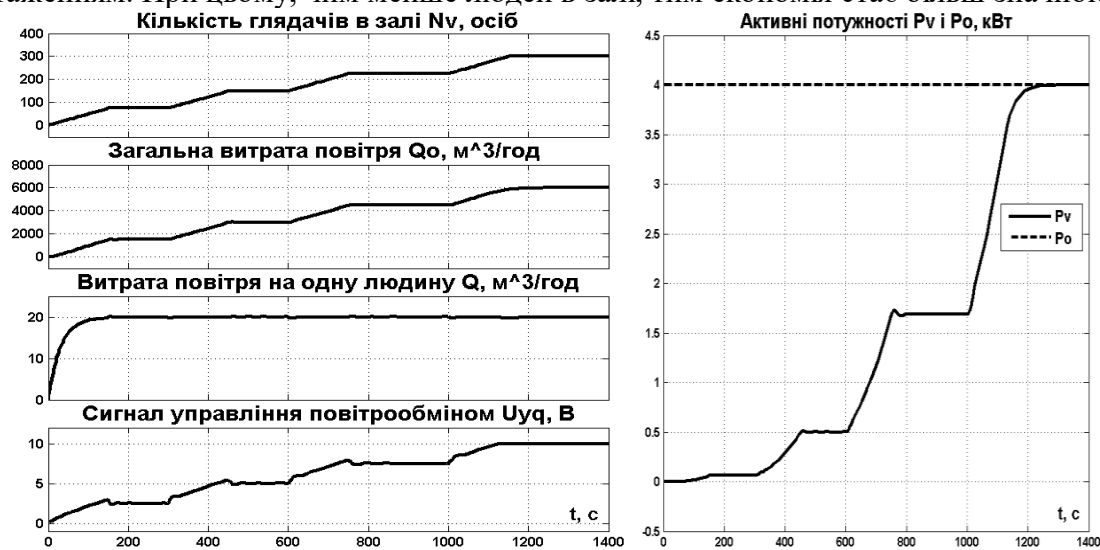


Рисунок 2 – Графіки зміни перемінних каналу регулювання повітря в часі: а – технологічних  $N_v(t)$ ,  $Q_o(t)$ ,  $Q(t)$ ,  $U_{yq}(t)$ , б – енергетичних  $P_v(t)$ ,  $P_o(t)$

Для реальної системи вентиляції вихідний сигнал ПІ-регулятора витрати повітря  $U_{yq}$  подається в каналі регулювання кількості повітря на вхід перетворювача частоти електроприводу вентилятора. Чисельні значення сигналу управління  $U_{yq}$  задають частоту й величину напруги на статорній обмотці асинхронного двигуна за рахунок ШІМ-модуляції в інверторі перетворювача частоти. Тим самим за потрібним законом змінюються оберти двигуна й відповідно вентилятора, що забезпечує необхідну витрату повітря в залі.

### Висновки

1. Системи регульованої вентиляції та кондиціонування забезпечують необхідні умови повітряного середовища в приміщеннях, підвищення надійності роботи систем, включення й відключення їх за спеціальними умовами при аварійних ситуаціях, скорочення обслуговуючого персоналу, економію тепла й електроенергії.

2. Канал управління повітрообміном в залежності від кількості глядачів в зоровій залі забезпечує зменшення енергоспоживання вентиляційною системою за рахунок регулювання швидкості вентилятора і, відповідно, кількості повітря, що подається в зорову залу, а також забезпечення потрібної нормованої витрати повітря на одну людину незалежно від кількості присутніх.

### Література

1. ДБН В.2.5-67:2013 Опалення, вентиляція та кондиціонування [Текст]. – К.: Мінрегіон України, 2013. – 141 с.
2. ДБН В.2.2-12:2005 Будинки і споруди. Культурно-видовищні та дозвільні заклади [Текст]. – Л.: Держбуд України, 2005. – 65 с.
3. Квашин І.М. К вопросу о нормировании воздухообмена по содержанию  $CO_2$  в наружном и внутреннем воздухе [Текст] / и.м. Квашин, И.И. Гурин // АВОК. – 2008. – №5. – С. 34 – 41.
4. Наумов А.Л.  $CO_2$ : критерий эффективности систем вентиляции [Текст] / А.Л. Наумов, Д.В. Капко // АВОК. – 2015. – №1. – С. 12 – 21.

УДК 620.621.31

**С.Ю. Докшина**, магістрант (НТУУ "КПІ ім. І. Сікорського", ІЕЕ, кафедра АУЕК)  
Керівник магістерської дисертації доцент каф. АУЕК **Тишевич Б.Л.**

## **ЗАСТОСУВАННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ СИСТЕМ ДЛЯ ІДЕНТИФІКАЦІЇ СТОХАСТИЧНИХ ПРОЦЕСІВ**

*У даній роботі розглядається застосування штучних нейронних мереж для побудови інтелектуальних систем ідентифікації складних технологічних процесів. Зокрема ідентифікації енергоспоживання на промислових і громадських об'єктах.*

*Були досліджені багатошарові мережі, які вміщують нейрони із різними функціями активації.*

**Ключові слова:** штучні нейронні мережі; ідентифікація; енергоспоживання; функції активації.

## **APPLICATION OF INTELLECTUAL SYSTEMS TO IDENTIFY STOCHASTIC PROCESSES**

*In this paper we consider the use of artificial neural networks for the construction of intelligent identification systems for complex technological processes. In particular, the identification of energy consumption in industrial and public facilities.*

*Layered networks that contain neurons with different activation functions were investigated.*

**Key words:** artificial neural networks; identification; power consumption; activation functions.

**ВСТУП.** Штучні нейронні мережі (НМ) в даний час широко використовуються при вирішенні самих різних завдань і активно застосовуються там, де звичайні алгоритмічні рішення виявляються неефективними або зовсім неможливими. У числі завдань, вирішення яких довіряють штучним НМ, можна назвати наступні: управління складними роботехнічними системами, розпізнавання образів, аналіз ситуації в енергетиці, на фондовому і валютному ринках, забезпечення систем безпеки і відеоспостереження — і це далеко не все. Широкий спектр застосування НМ об'єднують загальні характеристики і властивості об'єктів до яких вони застосовуються [1, 2]:

- складність або неможливість математичного опису ;
- наявність стохастичних складових у процесах;
- велика кількість незкорельованих параметрів;
- виражена нелінійність, нестаціонарність у характеристиках;
- наявність параметричних та зовнішніх збурень тощо.

Особливості застосування обумовлюються загальними та конкретними перевагами та властивостями НМ порівняно з іншими класичними підходами:

- здатність вирішувати неформалізовані завдання;
- паралелізм обробки інформації;
- єдиний і ефективний принцип навчання;
- гнучкість моделі для нелінійної апроксимації багатовимірних функцій;
- засіб прогнозування в часі для процесів, які залежать від багатьох змінних.

Штучні НМ використовують як:

- класифікатор за багатьма ознаками, що дає розбиття вхідного простору на області;

- інструмент для пошуку по асоціаціях;
- модель для пошуку закономірностей у масивах даних.

Завдяки цим перевагам і властивостям НМ набувають все більшого розповсюдження, оскільки є важливим розширенням поняття обчислення. Вони вже довели придатність до вирішення складних задач аналізу, моделювання і управління, дозволили подолати ряд непростих проблем і, в перспективі, дадуть можливість створення нових програм і пристроїв, здатних вирішувати завдання, які поки під силу тільки людині. НМ вільні від обмежень звичайних комп'ютерів завдяки паралельній обробці інформації та зв'язаності нейронів. Таким чином, інтелектуальні системи, до яких відносяться НМ, в останні роки в цілому стали важливим напрямком для реалізації у промисловості [3].

Одним із цікавих застосувань НМ є аналіз ситуації для складних, стохастичних систем. Для формулювання рекомендацій по управлінню подібними системами, на першому етапі, необхідно провести процедуру ідентифікації. Після чого, на основі аналізу за допомогою НМ можна удосконалити алгоритмічну базу управління системою, поліпшити координацію окремих підсистем і за рахунок цього підвищити якість управління та оптимізувати систему з точки зору непродуктивних витрат енергії.

Наприклад, для енергетичних систем, де ідентифікація системи та прогнозування стану є актуальними напрямками досліджень, за допомогою НМ можна вирішити наступні задачі [4,5,6,7]:

- прогнозування попиту на електричну енергію;
- прогнозування попиту на теплову енергію;
- прогнозування попиту на природний газ;
- прогнозування граничної ціни системи в енергоринку;
- прогнозування об'єму генерації електроенергії вітровими станціями;
- прогнозування температури зовнішнього повітря.

Першим етапом для подальшого прогнозування є, передусім, ідентифікація об'єкту за допомогою нейронної моделі - емулятора (НМЕ), яка здатна до „навчання”, базуючись на функціональних залежностях реальної стохастичної системи. НМЕ використовується для управління складними динамічними системами, як частина базової інтелектуальної системи, у якій поєднано нейроконтролер і НМЕ об'єкту управління. Така побудова алгоритму інтелектуальної системи із використанням НМЕ була застосована в [8].

У разі достатньо точній НМЕ можна підвищити точність прогнозування в системі. Наприклад, в даний час нейромережеві системи прогнозування електричного навантаження знайшли застосування на диспетчерських центрах енергосистем в багатьох країнах світу – США, Канаді, Греції, Великобританії, Франції, Бельгії, Тайвані [9].

**МЕТА ТА ЗАВДАННЯ.** Основне завдання роботи – дослідження структури, параметрів, функцій активації, алгоритмів навчання НМЕ для максимальної адаптації при відтворенні складного графіка зміни вихідних координат стохастичної системи. **Найбільш точні НМЕ будуть базовими при створенні системи прогнозування.** У якості вхідної функції використовувався графік зміни у часі (на добу) параметрів, які залежали від багатьох незкорельованих чинників, із різкою зміною напрямку розвитку та ступінчастими переходами. Розглядалися багатошарові мережі, побудовані за допомогою пакету прикладних програм **MATLAB**.

**МЕТОДИКИ, МАТЕРІАЛИ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ.** Загальна структура багатошарової НМЕ представлена на рис.1.

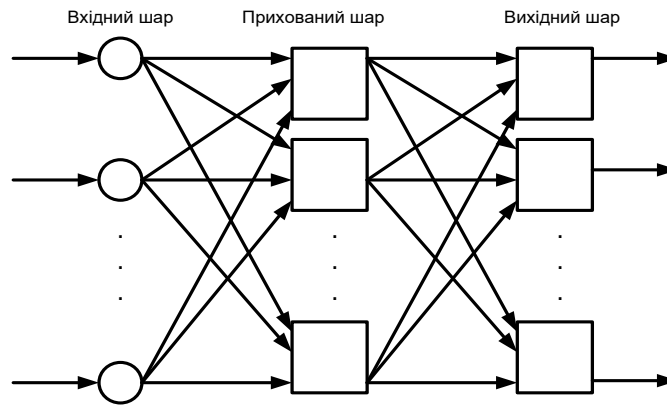
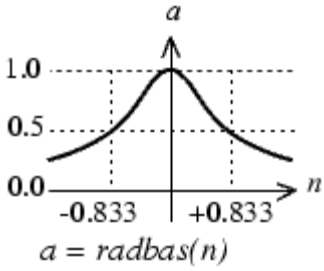
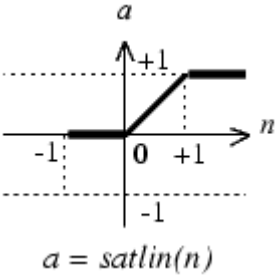
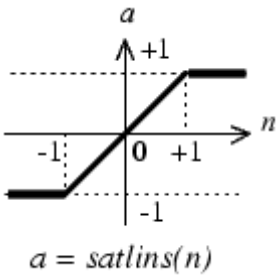
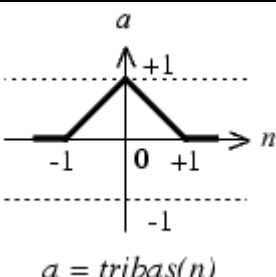
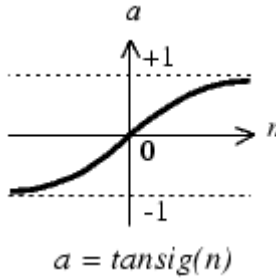


Рисунок 1. Багатошарова (двошарова) мережа прямого розповсюдження

При дослідженні змінювались функції активації, які наведені у таблиці 1.

Таблиця 1. Функції активації

| №  | Назва функції активації. | Позначення     | Математичний опис                                                                        | Графік                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|----|--------------------------|----------------|------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1  | Сигмоїдальна, логістична | <b>Logsig</b>  | $f(n) = \frac{1}{1 + e^{-n}}$                                                            | <p>The graph shows a sigmoid curve on a coordinate system where the horizontal axis is labeled <math>n</math> and the vertical axis is labeled <math>a</math>. The curve passes through the point (0, 0.5) and approaches horizontal asymptotes at <math>a = +1</math> and <math>a = -1</math>. The equation <math>a = \text{logsig}(n)</math> is written below the graph.</p> |
| 2  | Напівлінійна             | <b>Poslin</b>  | $f(n) = \begin{cases} n, & \text{якщо } n > 0 \\ 0, & \text{якщо } n \leq 0 \end{cases}$ | <p>The graph shows a half-linear function on a coordinate system where the horizontal axis is labeled <math>n</math> and the vertical axis is labeled <math>a</math>. The function is zero for <math>n \leq 0</math> and increases linearly with a slope of 1 for <math>n &gt; 0</math>. The equation <math>a = \text{poslin}(n)</math> is written below the graph.</p>        |
| 3. | Лінійна                  | <b>Purelin</b> | $f(n) = n$                                                                               | <p>The graph shows a straight line on a coordinate system where the horizontal axis is labeled <math>n</math> and the vertical axis is labeled <math>a</math>. The line passes through the origin (0,0) with a slope of 1. The equation <math>a = \text{purelin}(n)</math> is written below the graph.</p>                                                                     |

|    |                                    |                |                                                                                                                                |                                                                                       |
|----|------------------------------------|----------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 4. | Радіально-<br>базисна<br>(гаусова) | <b>Radbas</b>  | $f(n) = \exp(-n^2)$                                                                                                            |    |
| 5. | Напівлінійна<br>з насиченням       | <b>Satlin</b>  | $f(n) = \begin{cases} 0, & \text{якщо } s \leq 0, \\ s, & \text{якщо } 0 < s < 1, \\ 1, & \text{якщо } s \geq 1 \end{cases}$   |    |
| 6. | Лінійна з<br>насиченням            | <b>Satlins</b> | $f(n) = \begin{cases} -1, & \text{якщо } s \leq -1 \\ s, & \text{якщо } -1 < s < 1, \\ 1, & \text{якщо } s \geq 1 \end{cases}$ |   |
| 7. | Трикутна                           | <b>Tribas</b>  | $f(n) = \begin{cases} 1 -  n , & \text{якщо }  n  \leq 1, \\ 0, & \text{якщо }  n  > 1 \end{cases}$                            |  |
| 8. | Сигмоїдальна<br>(гіперболічна)     | <b>Tansig</b>  | $f(n) = \frac{e^n - e^{-n}}{e^n + e^{-n}}$                                                                                     |  |

Отримані графіки для заданої цільової функції (-----) та графік отриманої в результаті навчання та роботи НМЕ (----) представлені на рисунках 2,..., рисунок 12. При цьому функції активації у нейронах першого шару були обрані **tansig**, а у другому змінювались відповідно табл.1.

Критерій регулярності для цієї НМЕ розраховується за формулою

$$\Delta_{\text{per}} = \frac{\sum_{i=1}^N (a_i - t_i)^2}{\sum_{i=1}^N t_i^2} \rightarrow \min,$$

де  $a_i$  – вихід нейронної мережі для входу  $p_i$ ;

$t_i$  – цільовий вихід для входу  $p_i$ .

Максимальна відносна похибка апроксимації  $\Delta$  розраховується за формулою:

$$\Delta = \max\left(\left|\frac{a_i - t_i}{t_i}\right| 100\%\right).$$

Для поліпшення спроможності НМЕ до ідентифікації складних графіків була синтезована нейронна мережа зі збільшеною кількістю шарів. Вибір ФА здійснювався з поміченої закономірності.

### Тришарова НМЕ.

Для початку була створена НМЕ, в якому був ще один, прихований шар, що містив 5 нейронів. У першому шарі використовувалась ФА **tansig**, у другому – **poslin**, у третьому – **purelin**.

Після тренування НМЕ було отримано результати, наведені на рис.13.

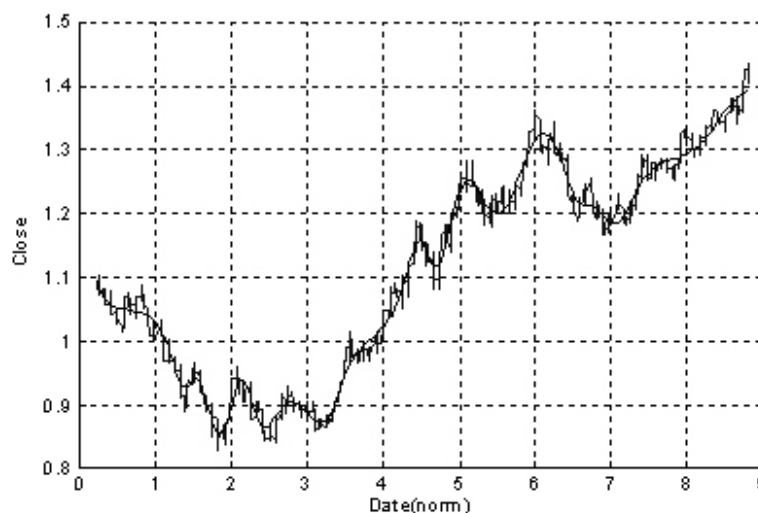


Рисунок 2. Результати ідентифікації процесу нейромережею з трьома шарами: ФА = **tansig**, **poslin**, **purelin**

Із отриманого графіка видно, що ця нейромережа поліпшила ідентифікацію процесу порівняно із попередніми. Порівняно з нейромережею з двома шарами та ФА **tansig** і **poslin** для кожного шару відповідно нова нейромережа більш точно ідентифікує процес на відрізок  $\text{Date}(\text{norm}) \in [0;4]$ , на якому є складні ділянки із різкою зміною графіку. При цьому показники якості ідентифікації складають:

- критерій регулярності  $\Delta_{\text{per}} = 0,00025156 = 251,56\text{e-}6$ ;
- максимальна відносна похибка  $\Delta = 4,9629\%$ .

У разі повторного створення цієї мережі навіть з тими ж ФА результати тренування можуть досить помітно відрізнитися, адже при цьому у новій мережі можуть бути зовсім інші початкові значення ваг та зміщень. Автори особисто в цьому переконалися, тому розглядали найліпшу НМЕ, яка найкраще ідентифікує процес. Тобто, перед тим, як аналізувати НМЕ, було

створено декілька нейромереж з однаковими ФА та проведено їх навчання. Після цього були обрані НМЕ з найкращими результатами серед отриманих.

Для ще більшого підвищення точності ідентифікації замість ФА **tansig** першого шару використовувалась **logsig**, яка математично є простішою. Після тренування було отримано результати, наведені на рисунку 3.

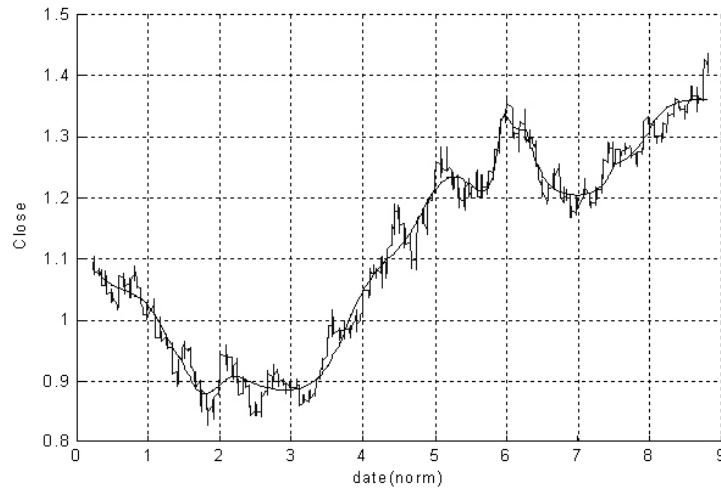


Рисунок 3. Результати ідентифікації процесу нейромережею з трьома шарами: ФА = **logsig**, **poslin**, **purelin**

Критерій регулярності  $\Delta_{\text{рег}} = 0,00045822 = 458,22\text{e-}6$ ;

Максимальна відносна похибка  $\Delta = 7,238\%$ .

Далі для першого шару використовувалась ФА **radbas**. Після тренування отримано результати, наведені на рисунку 4.

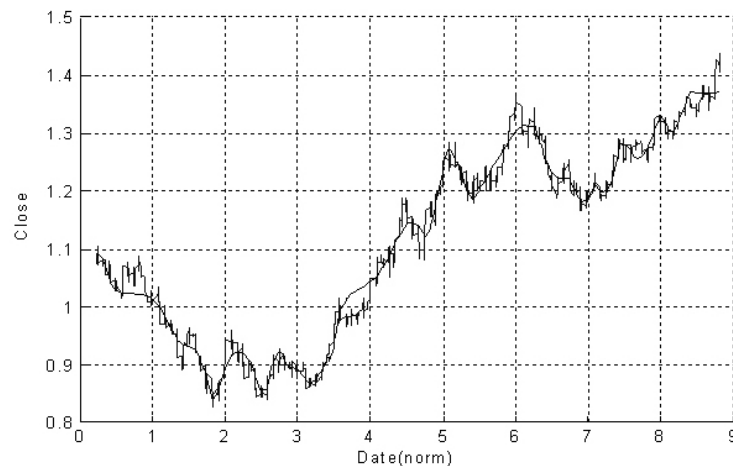


Рисунок 4. Результати ідентифікації процесу нейромережею з трьома шарами: ФА = **radbas**, **poslin**, **purelin**

Критерій регулярності  $\Delta_{\text{рег}} = 0,00033264 = 332,64\text{e-}6$ ;

Максимальна відносна похибка  $\Delta = 6,0433\%$ .

Після застосування ФА **tribas** у нейронах першого шару було отримано результати, наведені на рисунку 5.

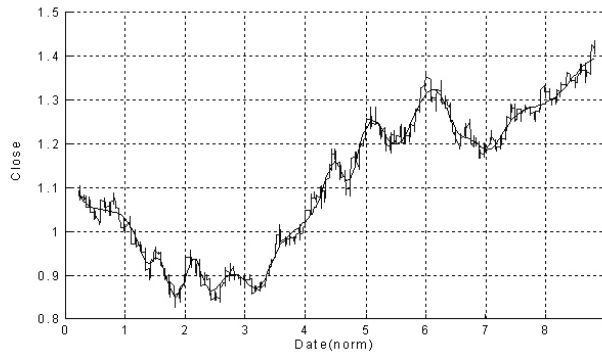


Рисунок 5. Результати ідентифікації процесу нейромережею з трьома шарами: ФА = **tribas**, **poslin**, **purelin**

Критерій регулярності  $\Delta_{\text{reg}} = 0,00024754 = 247,54\text{e-}6$ ;

Максимальна відносна похибка  $\Delta = 5,0497\%$ .

#### Чотиришарова НМЕ.

Досліджувалась НМЕ, яка вміщала чотири шари з такими ФА: для 1-го шару – **tansig**, для 2-го – **tribas**, для 3-го – **poslin**, для 4-го – **purelin**. В першому шарі було 20 нейронів, в другому – 10, в третьому – 5, в четвертому – 1.

Роботу тренованої НМЕ наведено на рисунку 6.

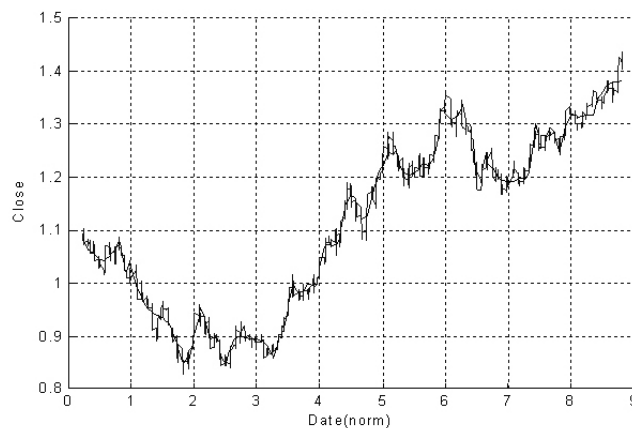


Рисунок 6. Результати ідентифікації процесу нейромережею з чотирма шарами: ФА = **tansig**, **tribas**, **poslin**, **purelin**

Критерій регулярності  $\Delta_{\text{reg}} = 0,00020831 = 208,31\text{e-}6$ ;

Максимальна відносна похибка  $\Delta = 5,5734\%$ .

Як видно із рисунку 6 у разі збільшення кількості шарів ідентифікація процесу нейромережею за критерієм регулярності покращилась, але за максимальною відносною похибкою – погіршилася.

Далі була створена НМЕ, яка відрізнялась від попередньої тим, що для першого шару ФА була обрана **tribas**, а для другого – **tansig**. Роботу цієї тренованої мережі наведено на рисунку 7.

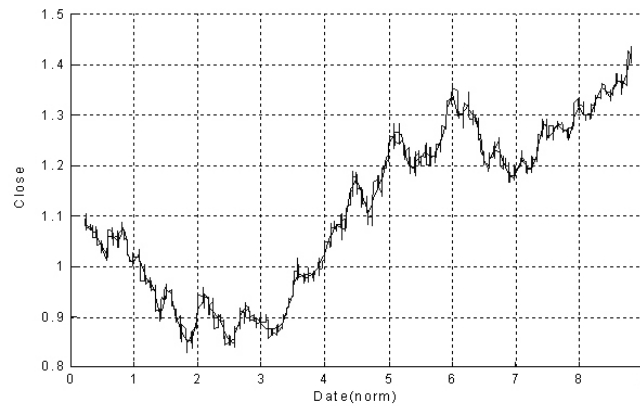


Рисунок 7. Результати ідентифікації процесу нейромережею з чотирма шарами: ФА = **tribas**, **tansig**, **poslin**, **purelin**

Критерій регулярності  $\Delta_{\text{рег}} = 9,5331\text{e-}5 = 95,331\text{e-}6$ ;

Максимальна відносна похибка  $\Delta = 3,9543\%$ .

Далі замість ФА **tribas** була використана **radbas**, яка за графіком схожа на попередню, але не має різких переходів. Отримані результати наведені на рисунку 8.

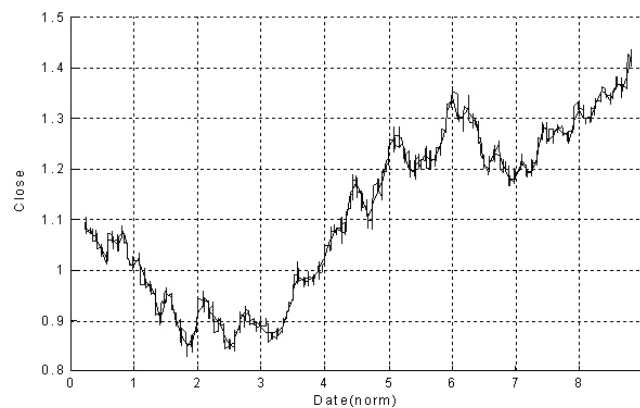


Рисунок 8. Результати ідентифікації процесу нейромережею з чотирма шарами: ФА = **radbas**, **tansig**, **poslin**, **purelin**

Критерій регулярності  $\Delta_{\text{рег}} = 0,00010438 = 104,34\text{e-}6$ ;

Максимальна відносна похибка  $\Delta = 4,0568\%$ .

Результати дослідження впливу ФА та кількості шарів на якість ідентифікації НМЕ графіку процесу зведено у таблицю 2.

Таблиця 2. Вплив типів функцій активації та кількості шарів на якість роботи НМЕ

| Перший шар            |                      | Другий шар            |                      | Третій шар            |                      | Четвертий шар         |                      | Критерії<br>якості<br>$\Delta_{\text{рег}} / \Delta$ |
|-----------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|------------------------------------------------------|
| Кількість<br>нейронів | Функція<br>активації | Кількість<br>нейронів | Функція<br>активації | Кількість<br>нейронів | Функція<br>активації | Кількість<br>нейронів | Функція<br>активації |                                                      |
| 10                    | tansig               | 1                     | poslin               |                       |                      |                       |                      | 369,74e-6                                            |
|                       |                      |                       |                      |                       |                      |                       |                      | 8,3417%                                              |
|                       | tansig               | 5                     | poslin               | 1                     | purelin              |                       |                      | 251,56e-6                                            |

|    |        |    |        |   |         |   |         |           |
|----|--------|----|--------|---|---------|---|---------|-----------|
| 10 |        |    |        |   |         |   |         | 4,929%    |
| 10 | logsig | 5  | poslin | 1 | purelin |   |         | 458,22e-6 |
|    |        |    |        |   |         |   |         | 7,238%    |
| 10 | radbas | 5  | poslin | 1 | purelin |   |         | 332,64e-6 |
|    |        |    |        |   |         |   |         | 6,0433%   |
| 10 | tribas | 5  | poslin | 1 | purelin |   |         | 247,54e-6 |
|    |        |    |        |   |         |   |         | 5,0497%   |
| 20 | tansig | 10 | tribas | 5 | poslin  | 1 | purelin | 208,31e-6 |
|    |        |    |        |   |         |   |         | 5,5734%   |
| 20 | tribas | 10 | tansig | 5 | poslin  | 1 | purelin | 95,331e-6 |
|    |        |    |        |   |         |   |         | 3,9543%   |
| 20 | radbas | 10 | tansig | 5 | poslin  | 1 | purelin | 104,34e-6 |
|    |        |    |        |   |         |   |         | 4,0568%   |

Як слідує з таблиці 2, зі збільшенням шарів ідентифікація тієї нейромережі краща, в якій перший шар має ФА **tribas**.

**ВИСНОВОК.** За допомогою передостанньої нейромережі було отримано найкращу якість ідентифікації за регулярністю та відносною похибкою.

Подальше нарощування шарів НМЕ більше ніж чотири не проводилось, так як збільшення кількості шарів вже не призводило до значного покращення ідентифікації, а лише ускладнювало процес обрахунку значень ваг та зміщень при навчанні.

У процесі проведення тренування за різними алгоритмами було виявлено, що найшвидше нейромережа тренувалась за методом Левенберга-Марквардта (**trainlm**).

Подальші дослідження нейронних мереж як ідентифікаторів складних процесів дозволять визначити необхідну достатність за допустимою якістю ідентифікації для прогнозування поведінки енергосистем на різних періодах часу.

### Список літератури:

1. Astrom K.J., Wittenmark B. "Adaptive Control", Addison Wesley, USA, 1989.
2. Nozaka Y., "Trend of new control theory application in industrial process control", Proc of 12<sup>th</sup> IFAC World Congress, Sydney, Vol.VI, pp. 51...56,1993.
3. "Special Issue on Neural Network Hardware", IEEE Trans on Neural Networks, Vol.3, pp.347...506,1992.
4. Park D.C; El-Sharkawi M.A., Marks II R.J., Atlas L.E., Damborg M.J. Electric load forecasting using an artificial neural network, IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 6, No. 2, May 1991, pp. 442...449.
5. Canu, S., Duran, M., Ding, X., "District Heating Forecast using Artificial Neural Networks", International Journal of Engineering, Vol. 2(4), 1994.
6. Bacha H., Meyer W.A. Neural Network Architecture for Load Forecasting // Int. Joint Conf. on Neural Networks. Baltimor, Maryland, June 7-11, 1992.– vol.2.– pp.442...447.
7. Ramsey B., Wang A.J., A neural network model for predicting system marginal price in the UK power pool // Control Of Power Systems And Power Plants 1997, Proceedings of the IFAC/CIGRE Symposium, Beijing, China, 18...21 August 1997.

8. Тишевич Б. Л. Підвищення точності адаптації в інтелектуальних системах управління електроприводом технологічних установок // Вісник Житомирського державного технічного університету України . Серія "Технічні науки" – 2003. – Вип. 2 (26). – С.177...182.

9. Khotanzad A., Rohani R.A., Lu T.L., Abaye A., Davis M. and Maratukulam D.J. ANNSTLF-A Neural-Network-Based Electric Load Forecasting System. IEEE Transactions on Neural Networks, 8:835...846, 1997.

**УДК 681.5**

**Скворцов С.В.**, студент  
**Пермяков В.М.**, к.т.н., доц.  
Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

### **ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ВЕНТИЛЯЦІЙНОЇ УСТАНОВКИ ШЛЯХОМ ВИКОРИСТАННЯ РЕГУЛЬОВАНОГО АСИНХРОННОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ З ТИРИСТОРНИМ РЕГУЛЯТОРОМ НАПРУГИ**

*В роботі було розглянуто метод підвищення ефективності керування електроприводом вентиляторної установки з використанням фаззи контролера. Суть проблеми полягає в дослідженні певних впливів кількох параметрів мікроклімату на коефіцієнт комфортності за яким відбувається провітрювання приміщення. Регулювання швидкості вентиляційної установки було здійснено за допомогою системи ТРН-АД. Запропоновано проводити регулювання коефіцієнта комфортності за такими мікрокліматичними параметрами, як рівень CO<sub>2</sub> і температура*

*In the work, the method of increasing the efficiency of control of the electric drive of a ventilator installation with the use of the fuzzy controller. The essence of the problem is to study the effects of several parameters of the microclimate on the comfort factor, which is the ventilation of the room. The regulation of the speed of the ventilator installation was carried out using the system of asynchronous motor - frequency converter. It is proposed to adjust the comfort factor for such microclimatic parameters as the level of CO<sub>2</sub> and room temperature.*

**Вступ.** При відсутності вентиляції в закритих приміщеннях зростає концентрація вуглекислого газу і інших шкідливих речовин, що негативно позначається на самопочутті людей, викликає головний біль, сонливість, втрату працездатності. Цю проблему можна вирішити періодично провітрюючи приміщення, однак в цьому випадку разом зі свіжим повітрям усередину попадає пил, бруд, вуличний шум. Також певний дискомфорт створює необхідність періодично відкривати й закривати вікно або квартиру.

Для вирішення всіх цих проблем і існують системи вентиляції повітря. Комфортні параметри у формі граничних значень наявні як регламентовані застережні нормативні документи. Вплив даних параметрів на якість повітря у приміщення значний, а контроль цих чинників, являє собою досить складний процес. Управління та контроль за якістю повітряного середовища здійснюється системою управління. Тому створення системи управління якістю повітряного середовища в навчальному приміщенні, що швидко і адекватно реагуватиме на

зміни повітряного середовища, та забезпечить керування за рядом чинників, таких як температура, відносна вологість, вміст кисню, вуглекислого газу, рухливість повітря тощо, з метою одержання оптимальної зони комфортності, є актуальною науково-практичною задачею.

**Мета та завдання.** Дослідження і розробка регульованого електропривода вентиляторної установки приміщень по системі ТРН-АД з використанням фаззі-контролера.

Різноманітність умов застосування турбомеханізмів, їхніх конструкцій, режимів експлуатації визначає можливість і певну економічну доцільність використання різних систем електропривода. Крім того, розвиток техніки самого електропривода обумовлює зміну одних систем регульованого електропривода іншими, що також приводить до різноманітності можливих технічних рішень.

Найбільш ефективною для регулювання систем електроприводу турбомеханізмів, на даний час, є система електроприводу асинхронний двигун – перетворювач частоти. Розглянемо існуючі класифікації систем регульованих електроприводів:

А. Електропривод зі східчастим регулюванням:

- а) електропривод із багатошвидкісним асинхронним двигуном;
- б) синхронно-асинхронний привід;
- в) двошвидкісний електропривод із частотним перетворювачем.

Б. Електропривод із плавним регулюванням:

1. Електропривод із двигуном постійного струму:

а) електропривод з колекторним двигуном постійного струму з постачанням від електромашинних і статичних перетворювачів;

б) електропривод з безколекторним (вентильним) двигуном постійного струму.

2. Асинхронний частотнорегульований електропривод:

- а) з постачанням від машинного перетворювача частоти;
- б) з постачанням від тиристорного перетворювача частоти з не посереднім зв'язком;
- в) з постачанням від тиристорного перетворювача частоти інверторного типу.

3. Електропривод з індукторною муфтою ковзання

4. Асинхронний електропривод з регулюванням напруги на статорі двигуна:

- а) дросельний електропривод;
- б) з тиристорним регулятором напруги.

5. Двودвигунний асинхронний привід з поворотним статором.

6. Електропривод з колекторними двигунами змінного струму.

7. Асинхронний каскадний електропривод:

- а) електромашинний каскад;
- б) вентильний каскад;
- в) вентильно-машинний каскад;
- г) вентильно-машинний електромеханічний каскад;
- д) машина подвійного постачання

Виходячи з усього розглянутого вище, регулювання потужності досягається регулюванням зміни напруги регулятора TRD(3~), ми зупинимось на системі ТРН-АД (на системі електроприводу з плавним регулюванням з тиристорним регулятором напруги).

Переваги ЕП по системі ТРН-АД: По первинних затратах на 30-40% дешевше, ніж ЕП з частотним перетворювачем; на 20-50% знижені витрати на тех. обслуговування.

### Вибір приводного двигуна для вентиляторної установки

Режим роботи приводного двигуна вентилятора головного провітрювання – тривалий, з постійним навантаженням. При виборі потужності двигуна за вихідну величину приймають статичне навантаження на валу механізму.

Розрахункова потужність (кВт) на валу електродвигуна вентилятора визначається за формулою:

$$P_{\text{розр.}} = \frac{k_3 H Q}{\eta_v \eta_n},$$

де  $k_3$  – коефіцієнт запасу, який враховує фактори, які не піддаються розрахунку;  $k_3 = 1.05 - 1.15$  – для осьових і  $k_3 = 1.1 - 1.15$  – для відцентрових вентиляторів;  $Q$  – подача вентилятора, м<sup>3</sup>/с;  $H$  – тиск вентилятора, Па;  $\eta_v$  – ККД вентилятора;

$\eta_n$  – ККД передачі (при сполученні валів двигуна і вентилятора, що характерно для вентиляторів головного провітрювання,  $\eta_n = 1$ ).

$$P_{\text{розр.}} = \frac{1.12 \cdot 200 \cdot 2000}{0.75} = 597300 \text{ Вт} = 597 \text{ кВт}.$$

По каталогу вибираємо двигун, який задовольняє умови:

$$P_n \geq P_{\text{розр.}}; \quad n_n = n_v$$

Вибрано асинхронний двигун з фазним ротором АКН - 2-18-36-20У4, який має наступні параметри :

$$P_n = 630 \text{ кВт}; I_{1n} = 87 \text{ А}; \eta_{\text{дв}} = 93\%; \cos \varphi = 0.75; n_n = 290 \text{ об/хв}; \\ U_{2n} = 905 \text{ В}; I_{2n} = 430 \text{ А}; \lambda = \frac{M_{\text{max}}}{M_n} = 2.3; GD_{\text{дв}}^2 = 3200 \text{ кг/м}^2.$$

### Розрахунок та побудова характеристик вентилятора та двигуна

Побудова необхідної характеристики моменту опору вентилятора з урахуванням моменту тертя проводиться за формулою:

$$M = M_{\text{тер}} + M_{\text{о.е}} \frac{\omega^2}{\omega_{\text{н.в}}^2}, \\ \text{де } M_{\text{тер}} = 0.05 M_{\text{о.е}}; \\ M_{\text{о.е}} = \frac{P_{\text{розр.}}}{\omega_{\text{н.в}}} = \frac{P_{\text{розр.}}}{\left(\frac{\pi n}{30}\right)} \\ M_{\text{о.е}} = \frac{597}{\left(\frac{3.14 \cdot 295}{30}\right)} = 19340 \text{ Н} \cdot \text{м} \\ M_{\text{тер}} = 0.05 \cdot 19340 = 967 \text{ Н} \cdot \text{м} \\ \omega_{\text{н.в}} = \frac{\pi n_v}{30} \\ \omega_{\text{н.в}} = \frac{3.14 \cdot 295}{30} = 30.9 \text{ рад/с} \\ M_{\text{о.е.р}} = 0.35 M_{\text{о.е}} \\ M_{\text{о.е.р}} = 0.35 \cdot 19340 = 6769 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

При пуску вентилятора рекомендується приймати момент пуску, який дорівнює:

$$M_{\text{поч}} = 1.15M_{\text{тер}}$$

$$M_{\text{поч}} = 1.15 \cdot 967 = 1111.8 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M = 967 + 6769 \frac{\omega^2}{30.9^2}$$

Побудова механічних характеристик двигуна проводиться за формулою:

$$M = \frac{2M_{\text{кр}}}{\frac{S}{S_{\text{кр}}} + \frac{S_{\text{кр}}}{S}},$$

де  $M_{\text{кр}}$  - критичний момент двигуна, який розраховуємо за формулою ;

$S$  – ковзання двигуна;

$S_{\text{кр}}$  - критичне ковзання двигуна, яке визначається за формулою .

$$M_{\text{кр}} = \lambda M_{\text{н}} = \lambda \frac{P_{\text{н}}}{\omega_{\text{н}}}$$

$$M_{\text{кр}} = 2.3 \frac{630000}{30.45} = 47710 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$S_{\text{кр}} = S_{\text{н}} \left( \lambda + \sqrt{\lambda^2 - 1} \right),$$

де  $S_{\text{н}}$  - номінальне ковзання двигуна, яке розраховується за формулою ;

$\lambda$  - перевантажувальна властивість двигуна.

$$S_{\text{н}} = \frac{(n_0 - n_{\text{н}})}{n_0}$$

$$S_{\text{н}} = \frac{(295 - 290)}{295} = 0.017.$$

$$S_{\text{кр}} = 0.017 \left( 2.3 + \sqrt{2.3^2 - 1} \right) = 0.074.$$

Приймаємо середній динамічний момент  $M_{\text{дин}}$  постійним в період пуску і визначаємо середнє кутове прискорення за формулою:

$$\varepsilon = \frac{M_{\text{дин}}}{J_{\text{пр}}},$$

де  $J_{\text{пр}}$  – приведений момент інерції системи, який визначається за формулою:

$$M_{\text{дин}} = 8472 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$J_{\text{пр}} = J_{\text{дв}} + J_{\text{вент}}$$

$$J_{\text{дв}} = \frac{GD_{\text{дв}}^2}{4}$$

$$J_{\text{дв}} = \frac{3200}{4} = 800 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$J_{\text{вент}} = \frac{GD_{\text{в}}^2}{4}$$

$$J_{\text{вент}} = \frac{29800}{4} = 7450 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

Розраховуємо приведений момент інерції системи:

$$J_{\text{пр}} = 800 + 7450 = 8250 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Кутове прискорення буде:

$$\varepsilon = \frac{8472}{8250} = 1.027 \text{ с}^{-2}.$$

Визначаємо час розгону вентилятора за формулою:

$$t_p = \frac{\omega_{\text{н.в}}}{\varepsilon}$$

$$t_p = \frac{30.9}{1.027} = 30 \text{ с}.$$

В електроприводі значне поширення отримали системи керування з послідовною корекцією. Характерною рисою таких систем є підлегле регулювання основних змінних електроприводу.

Сутність методу послідовної корекції з підлеглим регулюванням полягає в тому, що об'єкт регулювання представляється у вигляді послідовно з'єднаних ланок, вихідними координатами якого є швидкість, струм, напруга і т.д. Для керування кожної з цих координат служить окремий регулятор, який утворює з об'єктом контур замкнутий відповідним негативним зв'язком. Регулятори з'єднуються послідовно так, що вихід одного є входом іншого. При цьому замкнуті контури регулювання утворюють систему, в якій є зовнішній контур, що складається з самого об'єкту, відповідного регулятора та внутрішніх контурів.

Таким чином, кількість контурів дорівнює числу регульованих координат об'єкта і числу регуляторів.

Перевагою систем підлеглого регулювання є зручність в експлуатації, простота налагодження, мінімальні терміни пуску об'єкта, широкі можливості уніфікації вузлів керування, можливість реалізації систем регулювання з комплекту стандартних елементів незалежно від структури та параметрів електропривода. Система дозволяє налаштувати кожну змінну окремо, починаючи з внутрішнього контуру і робити це незалежно від налагодження зовнішнього.

В схемі передбачена подача  $U_{\text{зм}}$  (напруга зміщення). Якщо її не подавати, то при  $U_y=0$  кут  $\beta = 90^\circ$ . В результаті виникає самозапуск двигуна до максимальної швидкості, щоб цього не сталося подаємо  $U_{\text{зм}}$ , яка забезпечує  $\beta = 15^\circ$ . Обмеження кута  $\beta = 15^\circ$  зв'язано з тим, щоб не виник перекидання інвертора (він не повинен стати випрямлячем).

### Розрахунок параметрів регулятора струму

$$W_p(p) = \frac{1}{2 \sum T_{\mu} p W_{\text{о.к}}(p)}$$

де  $W_{\text{о.к}}(p)$  – передаточна функція об'єкта компенсації;

$$W_{\text{о.к}}(p) = \frac{(T_e p + 1) R_e}{K_c K_{\text{тп}}}$$

Передаточна функція регулятора струму:

$$W_{pc}(p) = \frac{(T_e p + 1)R_e}{2T_\mu p K_c K_{тп}}$$

В якості вимірювача струму приймаємо стандартний шунт типу 75 ШСМ з виходом 0.075 В при номінальному струмі з номінальним опором 150 мкОм.

$$K_{дс} = \frac{U_{зтmax}}{U_{ш}}$$

$$K_{дс} = \frac{10}{0.075} = 133$$

Максимальний пусковий струм:

$$I_{max} = \frac{M_{max}}{C_d}$$

$$I_{max} = \frac{47710}{39.5} = 1208 \text{ А}$$

Коефіцієнт зворотнього зв'язку по струму:

$$K_c = \frac{U_{зсmax}}{I_{max}}$$

$$K_c = \frac{10}{1208} = 0.0083$$

$$T_{и1} = \frac{2T_\mu K_{тп} K_c}{R_e}$$

$$T_{и1} = \frac{2 \cdot 0.01 \cdot 55.2 \cdot 0.0083}{0.077} = 0.12 \text{ с}$$

$$W_{рт} = \frac{0.051p + 1}{0.12p}$$

Коефіцієнт підсилення датчика напруги приймаємо  $K_{дн} = 1$ .

В аналогових системах регулювання основні елементи (регулятори, датчики, задатчики інтенсивності та ін.) виконуються на базі операційних підсилювачів, які за допомогою резисторів та конденсаторів реалізують потрібні передатні функції. Найбільш поширені типові елементи входять до складу апаратури УБСР-АИ.

Вибираємо ІІ регулятор струму, виконаний на базі стандартних комірок апаратури РТ – 1АИ

Приймаємо значення  $C = C_{14} = 1 \text{ мкФ}$ , тоді:

$$R_{ост} = R_{35} = \frac{T_e}{C}$$

$$R_{ост} = \frac{0.051}{10^{-6}} = 51 \text{ кОм}$$

Резистор  $R_{35}$  зашунтовуємо. Приймаємо  $R_0 = 50 \text{ кОм}$ .

$$R_{зт} = \frac{T_{и1}}{C}$$

$$R_{зт} = \frac{0.12}{10^{-6}} = 120 \text{ кОм}$$

Передаточна функція підсилювача  $A_3$  має вигляд:

$$W_{A_3} = \frac{R_0 C_p p + 1}{R_{зт} C_p p}$$

$$W_{A_3} = \frac{0.051p + 1}{0.12p}$$

Вибираємо тахогенератор типу ТП212.

Розрахунок параметрів регулятора швидкості

Розглянемо контур швидкості, в якому регулятор швидкості вибираємо по модульному оптимуму:

$$W_p(p) = \frac{1}{2\Sigma T_\mu p W_{o.k}(p)}$$

де  $W_{o.k}(p)$  – об'єкт компенсації;

$$\Sigma T_\mu = 2T_\mu;$$

$$W_{o.k}(p) = \frac{K_{ш} C_d}{K_c J p}$$

$$W_{pш} = \frac{K_c J}{4T_\mu K_{ш} C_d}$$

де  $K_{ш} = \frac{U_{зшmax}}{\omega_{max}}$  – коефіцієнт зворотнього зв'язку по швидкості;

$$K_{ш} = \frac{10}{31.5} = 0.32$$

$$W_{pш} = \frac{0.0083 \cdot 8250}{4 \cdot 0.01 \cdot 0.32 \cdot 39.5} = 135.4$$

$$K_{A_4} = \frac{R_{34}}{(R_{28} + R_{22})}$$

$$K_{A_4} = \frac{30}{(3.2 + 0)} = 9.375$$

Резистор  $R_{22}$  зашунтовуємо.

Коефіцієнт передачі підсилювача  $A_1$  з неінвертуючим входом:

$$K_{A_1} = \frac{R_{oc}}{R_{вх}} = \frac{(R_{14} + R_{18} + R_{20} + R_{21}\alpha)}{R_6}$$

$$K_{A_1} = \frac{(25 + 51 + 100 + 6.8\alpha)}{10.2} = 18.35$$

Тоді уставка потенціометра  $R_{21}$  буде  $\alpha = 0.8$ .

Вибір параметрів задаючого пристрою

На практиці знайшли використання два типа ЗІ:

- 1-го порядку (практично 100% використання);
- 2-го порядку.

Для нашої системи електропривода вибираємо ЗІ 1-го порядку.

Для формування потрібної діаграми швидкості використаємо задатчик інтенсивності, який перетворює швидкі зміни вхідного сигналу напруги в лінійні. Як задатчик інтенсивності використаємо інтегроздаючий пристрій, виконаний на операційних підсилювачах постійного струму.

Сельсин – представляє собою електричну машину змінного струму, яка має однофазну

обмотку статора і трьохфазну обмотку ротора. Статор сельсина закріплюють в необхідному місці, а оператор-машиніст за допомогою рукоятки обертає ротор.

$$\text{Якщо } U_{\text{вх}} > U_{\text{зс}} \rightarrow U_{1m} = U_1;$$

$$\text{Якщо } U_{\text{вх}} < U_{\text{зс}} \rightarrow -U_{1m} = U_1;$$

$$\text{Якщо } U_{\text{вх}} = U_{\text{зс}} \rightarrow U_1 = 0.$$

Таким чином ЗІ 1-го порядку забезпечує плавний лінійний перехід на задані швидкості з одночасним обмеженням моменту двигуна.

Відносним недоліком ЗІ 1-го порядку можна рахувати те, що прискорення і момент прикладаються ступеньчатим стрибком.

$$\begin{aligned} M - M_c &= J \frac{d\omega}{dt} \\ t_1 &= \frac{J \omega_{\text{НОМ}}}{M_{\text{max}} - M_{\text{НОМ}}} \\ t_1 &= \frac{8250 \cdot 30.45}{47710 - 20689.7} = 9.3 \text{ с} \\ k_1 &= \frac{1}{t_1} \\ k_1 &= \frac{1}{9.3} = 0.1 \end{aligned}$$

В якості ЗІ приймаємо комірку ЗІ – 2АМ, яка має наступні параметри:

$$U_{\text{вих}} = \pm 10 \text{ В}; \quad U_{\text{вх}} = \pm 10 \text{ В}; \quad I_{\text{н}} = 25 \text{ мА}; \quad R_{\text{вх}} = 100 \text{ кОм};$$

$$R_{\text{н}} = 2 \text{ кОм}; \quad U_{\text{пит}} = \pm 5\%; \quad U_{\text{пр}} = \pm (10 \dots 15) \text{ В};$$

$$\begin{aligned} U_{\text{вх1}} &= K_c \omega_{\text{min}} \\ U_{\text{вх1}} &= 0.191 \cdot 29.08 = 5.56 \end{aligned}$$

$$\text{Опорна напруга } U_{\text{оп}} = K_c \varepsilon T_{\text{и}}$$

де  $T_{\text{и}}$  – постійна часу інтегрування контуру.

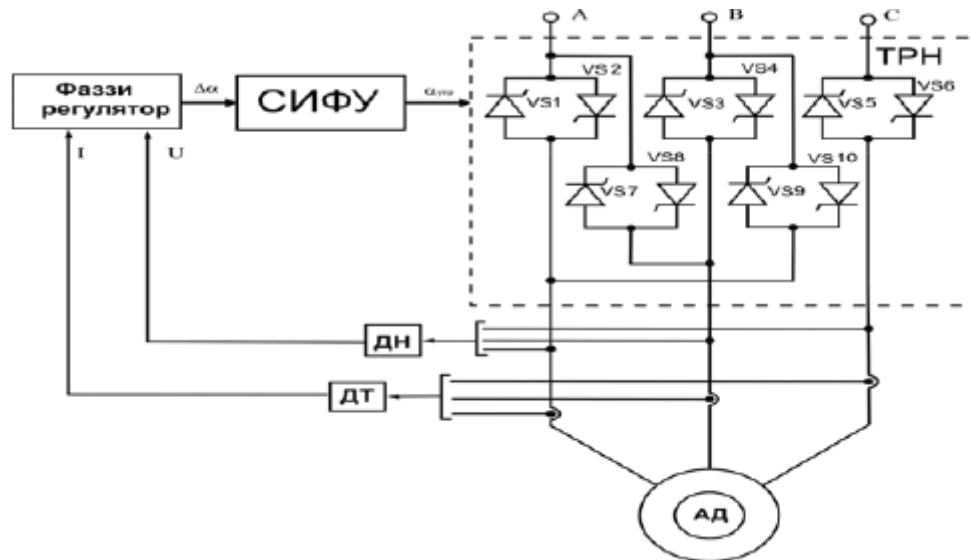
Необхідна швидкість встановлюється в залежності від положення рукоятки.

$$\text{Приймаємо } R_{\text{вх2}} = 1200 \text{ кОм}; \quad C_{\text{ос}} = 1 \text{ мкФ};$$

$$T_{\text{и}} = R_{\text{вх2}} C_{\text{ос}}$$

$$T_{\text{и}} = 1200 \cdot 10^3 \cdot 10^{-6} = 1.2 \text{ с}$$

$$U_{\text{оп}} = 0.191 \cdot 1.052 \cdot 1.2 = 0.241 \text{ В}.$$



Функціональна схема електроприводу системи ТРН-АД з використанням фаззи-контролера

**Висновок.** Для покращення якості регулювання вентиляторної установки, до системи електроприводу асинхронний двигун – перетворювач частоти встановлюється фаззи-контролер. Після застосування фаззи-контролера характеристики системи стали кращими, ніж при використанні системи без фаззи контроллера.

Використання фаззи контроллера є більш доцільним, оскільки зменшуються коливання сигналу статичного моменту в системі, які були присутні в звичайній системі ТРН-АД.

Основною перевагою фаззи-контроллера є те, що він не вимагає знання математичного опису керованим об'єктом.

Нечіткі системи дозволяють підвищити якість регулювання системи при зменшенні ресурсу – і енерговитрат і забезпечують високу стійкість до дії чинників, що впливають на неї, в порівнянні з традиційними системами автоматичного управління.

**СЕКЦІЯ 4.  
МЕХАТРОНІКА ЕНЕРГОЄМНИХ  
ВИРОБНИЦТВ**

УДК 004.021

Куліш Р. Д. магістрант, Городецький В.Г., к.ф.-м.н, доцент

Кафедра електромеханічного обладнання  
енергоємних виробництв**АЛГОРИТМ ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОЇ ТЕМПЕРАТУРИ ПІДГРІВУ НАФТИ  
ДЛЯ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ ПРИ ТРАНСПОРТУВАННІ МЕТОДОМ «ГАРЯЧОЇ»  
ПЕРЕКАЧКИ**

*У статті розглянуто спосіб заміни графічного методу визначення оптимальних температур «гарячої» перекачки нафти на аналітичний для подальшої інтеграції в системи керування підігрівом нафти.*

*Ключові слова: «гаряча» перекачка, алгоритм, функція.*

*The article describes the way how to replace the graphical method of determining the optimal temperatures of "hot" oil pumping by analytical one for the further integration to the control system.*

*Keywords: "hot" oil pumping, algorithm, function.*

**Вступ.** При технологічному розрахунку оптимальної температури перекачування нафти орієнтуються на мінімальну температуру оточуючого середовища, оскільки вона визначає найбільш швидке охолодження нафти по мірі проходження по трубопроводу. Відхилення температури оточуючого середовища від розрахункового значення призводить до відхилення режиму підігріву від оптимального. Відомий метод визначення оптимальних температур підігріву [1, 2] є графоаналітичним і важкий для впровадження в системи керування.

**Метою роботи** є створення еквівалентного методу на аналітичній основі для його подальшої інтеграції в систему керування процесом підігріву нафти.

**Аналіз наукових джерел.** Оптимальну температуру підігріву при перекачуванні гарячих нафтопродуктів по магістральному трубопроводу визначають виходячи з мінімуму сумарних витрат на привід насоса та підігрів нафти [1]:

$$S = Q \cdot \rho \cdot h_i \cdot \frac{\sigma_m}{\eta_m} + Q \cdot \rho \cdot C_p \cdot (T_n - T_k) \cdot \frac{\sigma_m}{\eta_m} \rightarrow \min \quad (1)$$

де  $Q$  – подача насоса,  $\frac{м^3}{с}$ ;

$\rho$  – густина нафти,  $\frac{кг}{м^3}$ ;

$C_p$  – питома теплоємність нафти,  $\frac{Дж}{кг \cdot К}$ ;

$T_n, T_k$  – температура нафти на початку та кінці перегону між тепловими станціями,  $К$ ;

$\sigma_m$  – вартість одиниці механічної енергії,  $\frac{коп}{кВт \cdot год}$ ;

$\sigma_m$  – вартість одиниці енергії, що витрачається на підігрів,  $\frac{\text{кОп}}{\text{Дж}}$ ;

$\eta_m, \eta_m$  – загальний ККД насосно-силового та теплосилового обладнання відповідно, в.о.;

$h_i = \int_0^{l_m} i_m dx + \int_{l_m}^l i_l dx + \Delta z$  – повні втрати напору між тепловими станціями, м;

$l_m, l$  – довжина турбулентної ділянки і повна довжина трубопроводу відповідно, м;

$\Delta z$  – різниця нівелірних відміток кінця і початку перегону, м;

$i_m, i_l$  – гідравлічний ухил для ламінарного і турбулентного режимів потоку, в. о.;

$$i = \begin{cases} \frac{128 \cdot Q}{\pi g d^4} \nu(T) \text{ при } T_0 \leq T \leq T_{кр} \\ \frac{0.241 \cdot Q^{1.75}}{g d^{4.75}} \nu(T) \text{ при } T \geq T_{кр} \end{cases} -$$

$d$  – внутрішній діаметр трубопроводу, м;

$g$  – прискорення вільного падіння,  $\frac{\text{м}}{\text{с}^2}$ ;

$\nu(T)$  – кінематична в'язкість нафти при температурі  $T$ ,  $\frac{\text{м}^2}{\text{с}}$ ;

$T_0, T_{кр}$  – температура оточуючого середовища та критична температура, К;

Вперше аналітичний розв'язок цієї задачі був виконаний В. С. Яблонським, а запис (2) носить назву узагальненого принципу Яблонського і говорить про те, що  $T_n, T_k$  будуть оптимальними в тому випадку, якщо загальні витрати на перекачку  $S_m$  і підігрів  $S_m$  на початковій одиниці довжини трубопроводу будуть дорівнювати загальним витратам на перекачку і підігрів на кінцевій одиниці довжини трубопроводу [1,2]:

$$(S_m + S_m)_{\text{початку}} = (S_m + S_m)_{\text{кінцю}} \quad (2)$$

$$S_m = Q \cdot \rho \cdot g \cdot i(T) \cdot \frac{\sigma_m}{\eta_m} \quad (3)$$

$$S_m = K(T) \cdot \pi \cdot d \cdot (T_n - T_0) \cdot \frac{\sigma_m}{\eta_m} \quad (4)$$

$$Q \cdot \rho \cdot g \cdot i_n \cdot \frac{\sigma_m}{\eta_m} + K_n \cdot \pi \cdot d \cdot (T_n - T_0) \cdot \frac{\sigma_m}{\eta_m} =$$

$$= Q \cdot \rho \cdot g \cdot i_k \cdot \frac{\sigma_m}{\eta_m} + K_k \cdot \pi \cdot d \cdot (T_k - T_0) \cdot \frac{\sigma_m}{\eta_m} \quad (5)$$

де  $K = \begin{cases} K_n \text{ при } T_0 \leq T \leq T_{кр} \\ K_m \text{ при } T \geq T_{кр} \end{cases}$  – коефіцієнт теплопередачі, в. о.;

Попередньо визначивши в'язкісно-температурну залежність нафти будують графіки витрат на перекачування (2) та підігрів (3) для температур  $T \geq T_0$ . Графік їх суми дасть залежність загальних витрат  $S$  від температури нафти при перекачуванні. Результат графічної побудови зображено на рисунку 1.

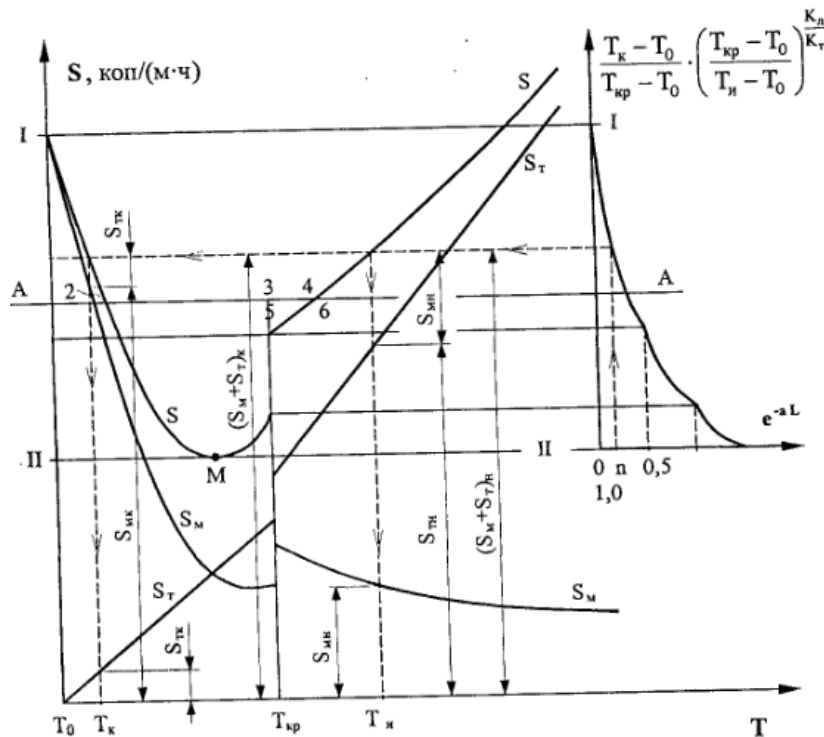


Рисунок 1 – Графічне знаходження оптимальної температури підігріву нафти [1,2]

Графік сумарних витрат  $S$  має екстремум (а саме – мінімум) в точці  $M$ . Це вказує на те, що перекачка нафти з підігрівом є вигідною [1]. Оптимальні температури визначають як перетин ізолій («горизонталей») витрат з графіком сумарних витрат. Розв'язок шукають між ізолініями I та II. Будь-яка ізолінія в цьому діапазоні матиме дві точки перетину з графіком сумарних витрат, і температури цих точок будуть відповідати умові (2). Але  $T_n$  та  $T_k$  являються взаємозалежними величинами, то необхідно знайти таку пару, яка відповідала б закону зміни температури по довжині «гарячого» трубопроводу. Для цього використаємо формулу Шухова [3]. В якості аргументу допоміжного графіку слід обрати величину  $e^{-\lambda y}$ , де

$$Шу = \frac{K(T) \cdot \pi \cdot d}{Q \cdot \rho \cdot C_p} \cdot l \quad \Leftrightarrow \quad t = t_0 + (t_{нафти} - t_0) \cdot \frac{K \cdot \pi \cdot d}{G \cdot C_p} \cdot x$$

– параметр Шухова;

$$e^{-Шу} = \left( \frac{T_{\kappa} - T_0}{T_n - T_0} \right)$$

– при ламінарному режимі;

$$e^{-Шу} = \left( \frac{T_{\kappa} - T_0}{T_n - T_0} \right)^{\frac{K_{\lambda}}{K_m}}$$

– при турбулентному режимі;

$$e^{-Шу} = \left( \frac{T_{\kappa} - T_0}{T_{кр} - T_0} \right) \cdot \left( \frac{T_{кр} - T_0}{T_n - T_0} \right)^{\frac{K_{\lambda}}{K_m}}$$

– при змішаному режимі.

Проводять «достатню» кількість ізоліній для різної величини загальних витрат, на продовженні кожної з них на допоміжному графіку відкладають абсциси, що дорівнюють правій частині  $\exp(-Шу)$  відповідного режиму. Відношення з температурами визначають графічно. На побудованому додатковому графіку визначають точку зі значенням абсциси

$$\exp(-Шу) = \exp\left(-\frac{K(T) \cdot \pi \cdot d}{Q \cdot \rho \cdot C_p} \cdot l\right).$$

Ізолінія («горизонталь») з неї перетинає графік загальних витрат при оптимальних температурах перекачки нафти.

**Переробка методу в аналітичний.** Фактично, побудова додаткового графіку не є обов'язковою, але точка з абсцисою

$$\exp\left(-\frac{K_{\lambda} \cdot \pi \cdot d}{Q \cdot \rho \cdot C_p} \cdot l\right)$$

на ньому визначає ізолінію оптимальних температур. З використанням обчислювальної техніки можна підібрати таку ізолінію для якої значення виразу

$$\left( \frac{T_{\kappa} - T_0}{T_{кр} - T_0} \right) \cdot \left( \frac{T_{кр} - T_0}{T_n - T_0} \right)^{\frac{K_{\lambda}}{K_m}}$$

(для змішаного режиму потоку) буде дорівнювати

$$\exp\left(-\frac{K_{\lambda} \cdot \pi \cdot d}{Q \cdot \rho \cdot C_p} \cdot l\right).$$

Покладемо цю рівність в основу пошуку.

Цільова функція пошуку матиме вигляд:

$$\exp\left(-\frac{K_{\pi} \cdot \pi \cdot d}{Q \cdot \rho \cdot C_p} \cdot l\right) - \left(\frac{T_{\kappa} - T_0}{T_{\kappa p} - T_0}\right) \cdot \left(\frac{T_{\kappa p} - T_0}{T_n - T_0}\right)^{\frac{K_{\pi}}{K_m}} \rightarrow \min \quad (6)$$

Графік має екстремум в точці М. Також нафта має верхню межу нагріву (температура закипання). Ординати цих двох точок задають діапазон загальних витрат для пошуку шуканої ізолінії.

Для виконання таких операцій потрібні наступні функції:

1. Функція визначення положення точки М – мінімуму функції загальних витрат. Її запис в оболонці MathCAD зображено на рисунку 2.

```

S_minimum :=
  tabl ←  $\begin{pmatrix} "t" & "S(t)" \\ 0 & 10000 \end{pmatrix}$ 
  for t ∈ 320, 320.01..340
    if S(t) < tabl1,1
      tabl1,1 ← S(t)
      tabl1,0 ← t
  tabl

```

$$S\_minimum = \begin{pmatrix} "t" & "S(t)" \\ 329.85 & 0.229 \end{pmatrix}$$
$$S_{\min} := S_{\text{minimum}}_{1..1}$$
$$S_{\min} = 0.229$$
$$T_{\min} := S_{\min} 1.0$$
$$T_{\min} = 329.85$$

Рисунок 2 – Функція визначення мінімуму функції витрат

2. Функція визначення перетинів ізолінії з графіком загальних витрат (рисунк 3).

```

Temperature_peresecheniy(s) :=
  temp ←  $\begin{pmatrix} "T_K" & "T_H" \\ 0 & 0 \end{pmatrix}$ 
  min_funk ← (10000 10000)
  for tk ∈ To, To + 0.01.. T_min - 0.01
    if |S(tk) - s| < min_funk0,0
      min_funk0,0 ← |S(tk) - s|
      temp1,0 ← tk
  for tn ∈ T_min + 0.01, T_min + 0.02.. 373
    if |S(tn) - s| < min_funk0,1
      min_funk0,1 ← |S(tn) - s|
      temp1,1 ← tn
  temp

Temperature_peresecheniy(0.25) =  $\begin{pmatrix} "T_K" & "T_H" \\ 318.13 & 336.9 \end{pmatrix}$ 

```

Рисунок 3 – Функція визначення перетинів ізолінії з графіком загальних витрат

3. Функція пошуку оптимальних температур (рисунок 4):

```

Poisk_temperatur(L) :=
  s_iskomoe ← 0
  min ← 10000
  e_iskomoe(L) ← e-Шу_л(L)
  e_podbora(t_k, t_n) ←  $\begin{cases} \left(\frac{t_k - T_o}{T_{kr} - T_o}\right) \cdot \left(\frac{T_{kr} - T_o}{t_n - T_o}\right)^{\frac{K_1}{K_t}} & \text{if } t_n \geq T_{kr} \\ \left(\frac{t_k - T_o}{T_{kr} - T_o}\right) & \text{otherwise} \end{cases}$ 
  for s ∈ S_min + 0.001, S_min + 0.002.. S(Tзакипания)
    t_konech ← Temperature_peresecheniy(s)1,0
    t_nachal ← Temperature_peresecheniy(s)1,1
    if |e_iskomoe(L) - e_podbora(t_konech, t_nachal)| < min
      s_iskomoe ← s
      min ← |e_iskomoe(L) - e_podbora(t_konech, t_nachal)|
  Temperature_peresecheniy(s_iskomoe)

reshenie := Poisk_temperatur(60·103) =  $\begin{pmatrix} "T_K" & "T_H" \\ 306.11 & 342.09 \end{pmatrix}$ 

```

Рисунок 4 – Функція пошуку оптимальних температур

Функція 3 використовує дві попередніх, і їх достатньо для аналітичного розв'язку задачі визначення оптимальних температур «гарячої» перекачки.

Кінцевим етапом розробки цілісного алгоритму є створення функції, яка включає в себе в якості параметрів всі характеристики нафти і трубопроводу, які необхідні для проведення розрахунку, а саме: номінальний діаметр трубопроводу, товщина стінки трубопроводу, довжина трубопроводу, подача (витрата) насосу, температура навколишнього середовища, коефіцієнт теплопередачі для турбулентного режиму потоку, коефіцієнт теплопередачі ламінарний, густина нафти, питома теплоємність нафти, вартість підігріву, вартість приводу насосу, ККД теплосилового обладнання, ККД насосно-силового обладнання, кінематична в'язкість нафти для двох температур. На виході функції отримуємо значення оптимальних температур.

**Висновки.** Новий аналітичний метод легко інтегрується в програмовані логічні контролери, які являють собою «серце» систем керування. Якщо роботу такого контролеру пов'язати з датчиком температури навколишнього середовища, то на цій основі можна побудувати систему регулювання температури підігріву нафти при транспортуванні методом «гарячої» перекачки.

#### Список літератури:

1. Тигунов П. И. Типовые расчеты при проектировании и эксплуатации нефтебаз и нефтепроводов / Тигунов П. И., Новосёлов В. Ф., Коршак А. А., Шаммазов А. М.; Гл. редактор Дегтярев Е. Н., редактор Кузнецова Л. Н. – 2-ое издание, перераб. – Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 2002. – 655 с.
2. Новоселов В. Ф. / Трубопроводный транспорт нефти и газа. Перекачка вязких и застывающих нефтей. Специальные методы перекачки: учебное пособие / Новоселов В. Ф., Коршак А. А.; Редактор Синилова А. А., тех. Редактор Елисеева В. Ф. – Уфа: Ротапринт Уфимского нефтяного института, 1988 – 108 с.
3. Чухарева Н. В. Расчет простых и сложных промышленных трубопроводов [Электронный ресурс]: учебное издание. – Режим доступа: <http://portal.tpu.ru:7777/SHARED/n/NATASHA/Material/Tab1/NEFTEPROVOD.pdf>

**Жуковський М.О.**, студент III курсу

Кафедра електромеханічного обладнання енергоємних виробництв

### СТРУМИННИЙ НАСОС ДВОРЕЖИМНОЇ ДІЇ ДЛЯ РЕМОНТУ НАФТОВИХ СВЕРДЛОВИН ЗА ДОПОМОГОЮ КИСЛОТНОЇ ОБРОБКИ

*У статті представлена конструкція нового дворежимного струминного насоса для ремонту нафтових свердловин при кислотній обробці. Запропонована конструкція дозволяє перемикаєти режими роботи насоса не виймаючи його зі свердловини.*

**Ключові слова:** струминний насос, свердловина, кислотна обробка.

*The article presents the design of a new two-mode jet pump for the repair of oil wells during acid treatment. The proposed design allows you to switch modes of operation of the pump without removing it from the well.*

**Key words:** jet pump, well, acid treatment.

#### Вступ

Кислотна обробка привибійної зони пластів використовується вже більше 100 років і досі залишається основним методом для ремонту нафтових свердловин [1]. Кислотна обробка є ефективним методом очистки продуктивного пласта від забрудників у привибійній зоні

пласта (ПЗП).

Даний тип обробки використовується для наступних свердловин:

- Свердловини, що вводяться в експлуатацію після буріння. Мета обробки – очистка ствола свердловини, перфорація каналів приви́бійної зони від глинистих часток.
- Свердловини, що втратили продуктивність через погіршення притоку рідини протягом експлуатації через зменшення проникності ПЗП. Мета обробки – збільшення проникності ПЗП.
- Свердловини, що втратили продуктивність через відкладення солей в ПЗП, експлуатаційній колоні і насосному обладнанні. Мета обробки – видалення відкладень, відновлення продуктивності свердловини.
- Свердловини, що не вийшли на заданий режим роботи після гідравлічного розриву пласта (ГРП). Мета обробки – руйнування загуслої рідини.
- Свердловини, які повторно вводяться в експлуатацію. Мета обробки – збільшення проникності ПЗП [2].

### **Мета роботи**

Розробка струминного насосу дворежимної дії, для ремонту нафтових свердловин з використанням кислотної обробки.

### **Постановка задачі**

При ремонті нафтової свердловини з використанням струминного насосу проводяться наступні операції: спуск струминного насоса в свердловину. Потім подається хімічна рідина до ПЗП через струминний насос, після чого витримується на реакцію. Після даної операції потрібно відкачати рідину з ПЗП. Для цього потрібно застосувати насос з реверсним режимом. Нажаль більшість насосів немає реверсного режиму, а ті що мають необхідно піднімати зі свердловини для перемикання режимів.

### **Запропонована конструкція для вирішення даної задачі**

Для відновлення продуктивності свердловини пропонується установка струминного насоса дворежимної дії.

На рис. 1 зображено дворежимний струминний насос, де 1-колона НКТ, 2- пакер, 3-обсадна труба, 4-затрубний простір, 5-підпакерний простір, 6-сідло-корпус, 7-центральный канал, 8-внутрішній клапан, 9-пружина, 10-фільтр, 11-корпус, 12-зовнішній клапан, 13-пружини.

Струминний насос працює в двох режимах:

1. Закачування хімічного розчину в пласт через насос (насос працює в режимі труби).

Пристрій разом з колоною НКТ 1 спускається в свердловину. Проводиться посадка пакера 2 в обсадній трубі 3, наприклад, осьовим переміщенням колони НКТ 1 на 1,5 м вниз. Після посадки пакера 2 герметично поділяє затрубний простір 4 колони НКТ 1 з підпакерним простором 5 (приви́бійної зони пласта).

На гирлі свердловини обв'язують колону НКТ 1 з насосним агрегатом, наприклад марки ЦА-320, і заповнюють колону НКТ 1 хімічним розчином. За допомогою насосного агрегату в колоні НКТ 1 створюють робочий тиск ( $p_1$ ). При невеликій витраті насоса, хімічний розчин проходить через отвори в сідлі-корпусі 6 до центрального каналу 7, з якого хімічний розчин потрапляє в підпакерний простір 5. Зі збільшенням подачі насосної установки, підвищується тиск ( $p_1$ ), що створюючи тиск на внутрішній клапан 8 стискає пружину 9, дозволяючи рідині проходити через додаткові канали в сідлі-корпусі 6.

Після закачування хімічного розчину в свердловину, її залишають на проходження реакції.

2.Подача робочої рідини для відкачування хімічного розчину (апарат працює в режимі струминного насосу).

Після очистки підпакерного простору 5 хімічним розчином, вмикається другий режим роботи: починається подача робочої рідини в затрубний простір 4. Через фільтр 10 робоча рідина потрапляє через отвори в корпусі 11, створюючи тиск ( $p_2$ ) на зовнішній клапан 12, що стискає пружину 13, відкриваючи канал між зовнішнім клапаном 12 і сідлом-корпусом 6. Потік робочої рідини, протікаючи по цьому каналу, створює розрідження ( $p_3$ ) і витягує хімічний розчин через канали в сідлі-корпусі 6 до загального потоку з підпакерної зони 5. Потік суміші відводиться на поверхню.

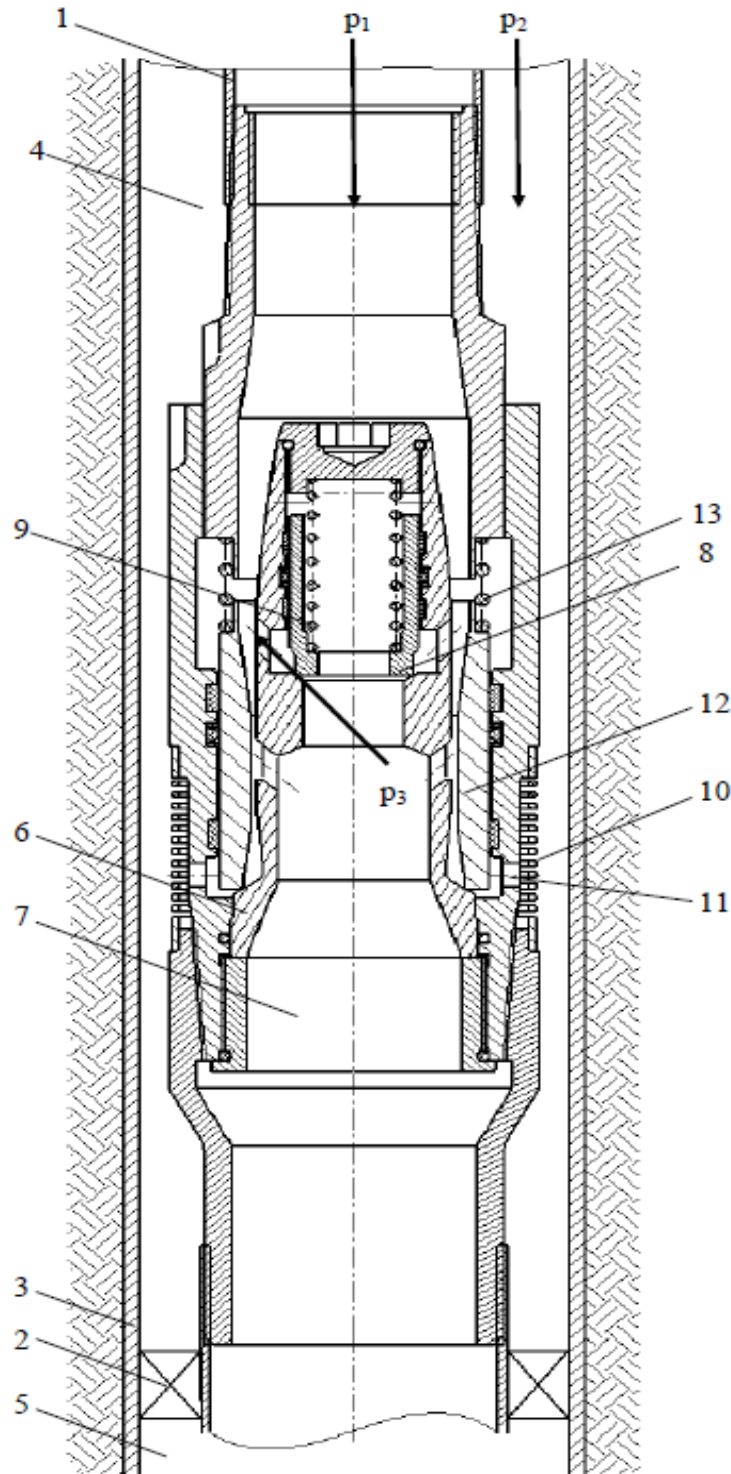


Рисунок 1 – Дворежимний струминний насос.

**Висновок**

Суміжність двох режимів роботи в струминному насосі дозволяє виконати усі етапи кислотної обробки за одне опускання обладнання в свердловину, що дає змогу значно зекономити в часі та ресурсах на обробку.

**Список літератури**

1. В.Н. Глущенко, М.А. Силин Нефтепромысловая химия ТОМ IV Кислотная обработка скважин / И.Т.Мищенко – Москва; Интерконтакт Наука, 2010. – 6 с.
2. Мищенко, И. Т. Скважинная добыча нефти / И. Т. Мищенко. – М. : Нефть и газ, 2007. – 11 с.

УДК 621.926.3: 681.51/54

Мейта О. В.,  
Перевозник Д.О. магістрант, кафедра ЕМОЕВ

**УДОСКОНАЛЕННЯ ДРОБИЛЬНО-ПОМОЛЬНОГО КОМПЛЕКСУ**

*В роботі розглядається використання технології штучних нейронних мереж для поліпшення техніко-економічних показників дробильно-помольного комплексу. Сформульовано мету і основні завдання для побудови системи автоматизованого управління дробильно-помольного комплексу. Проводиться аналіз режимів роботи мехатронного комплексу та розробка багатокритеріальної моделі для забезпечення оптимальних технологічних параметрів роботи обладнання. Для кульового млина, що входить в комплекс, побудовано та описано факторний поле. За ступенем повноти інформації об'єкти дробильно-помольного комплексу відносяться до групи з нульовим рівнем інформації про внутрішні процеси. Запропоновано нейромережеву модель, яка враховує інформацію багатфакторного поля системи і відображає її внутрішні зв'язки. У даній моделі входів мережі відповідають прийняті до розгляду фактори. Показана реалізація нелінійного нейромережевого регулятора з функцією прогнозування для системи моніторингу та управління.*

**Ключові слова:** електроспоживання, дроблення, нейронна мережа.

*The paper considers the use of technology of artificial neural networks to improve the technical and economic performance of the grinding and grinding complex. The purpose and main tasks for the construction of the automated control system of the crushing and grinding complex are formulated. An analysis of the modes of operation of the mechatronic complex and the development of a multicriteria model for ensuring optimal technological parameters of the equipment operation are carried out. For a ball mill that is part of the complex, the factorial field is constructed and described. According to the degree of completeness of information, the objects of the crushing and grinding complex belong to the group with a zero level of information about internal processes. A neural network model is proposed which takes into account the information of the multifactor field of the system and reflects its internal connections. In this model, the inputs of the network are the factors taken into consideration. The realization of the nonlinear neural network controller with the forecasting function for the monitoring and control system is shown.*

### **Актуальність теми**

Дослідження показують, що робота дробильно-помольного комплексу визначається декількома десятками факторів, багато з яких носять випадковий характер. Кожному поєднанню факторів відповідає певний техніко-енергетичний режим роботи комплексу. Чим повніше враховано при оперативному управлінні факторне поле властивостей системи, яке впливає на характеристики режиму роботи, тим ефективнішим буде управління і нижче енерговитрати на процеси дроблення і помолу. Однак, збільшення числа факторів, що беруться до уваги, збільшує складність моделі, внаслідок ускладнення топології системи. Тому, при управлінні необхідно формувати керуючий вплив, знаходячи компромісне рішення, що враховує ступінь інформативності факторного поля та його складність.

Відсутність розробленого факторного поля елементів дробильно-помольного комплексу та чітких описів окремих факторів, складність контролю окремих його характеристик та висока енергоемність технологій подрібнення підтверджують актуальність розглянутих нижче питань.

### **Постановка задачі**

Метою роботи є покращення техніко-економічних показників електроспоживання дробильно-помольного комплексу шляхом впровадження систем моніторингу та управління такими комплексами, які базуються на моделі комплексу, яка враховує його внутрішні зв'язки і виконані із застосуванням технології штучних нейронних мереж.

Для досягнення поставленої мети в роботі розв'язуються наступні задачі:

- Формування і аналіз факторного поля для визначення меж множини показників процесу подрібнення, які впливають на ефективність енерговикористання дробильно-помольного комплексу.
- Розробка нейромоделі для забезпечення енергоефективного управління та методики оптимального по енергоспоживанню управління дробильно-помельним комплексом.

*Об'єкт дослідження:* процеси дроблення і помолу, фактори, які визначають ефективність агрегатів помолу і дроблення і їх енергоспоживання.

*Предмет дослідження:* показники електроспоживання дробильно-помольного комплексу, фактори, які визначають режим роботи то електроспоживання агрегатів подрібнення.

### **Літературний огляд**

У процесі руйнування гірських порід в агрегатах подрібнення, відповідно до роботам Перова В.А. та Андреева Є.Є.[1] енергія, що підводиться до робочих поверхонь дробарки або млина, витрачається на пружну і пластичну деформацію зерен дробленого матеріалу і робочих поверхонь машин, зміну структури матеріалу, механохімічної реакції, надання кінетичної енергії уламкам зерен, тертя зерен між собою і поверхнею руйнування, зношування робочих поверхонь машини, звукові коливання та інше. В реальних умовах дроблення і подрібнення проходить безперервно і одночасно машина впливає не на одне зерно, а на їх масу, отже, умови масового подрібнення можуть відрізняються від руйнування поодинокого зерна. Тому перенесення закономірностей, встановлених для одного зерна на масове руйнування повинно здійснюватися з урахуванням статистичних закономірностей.

Найбільш відомими є рівняння Ріттінгера, Кіка-Кирпичева, Бонда. Порівняння кривих, побудованих за законами Ріттінгера, Кіка-Кирпичева, Бонда, вказує на те, що закон Ріттінгера доцільно застосовувати у випадку високої питомої витрати енергії незалежно від розміру зерен, а закон Бонда - в діапазоні проміжних значень питомої витрати енергії, закон Кіка-Кирпичева - при малих питомих витратах енергії [2].

Теоретичний розгляд процесів, що відбуваються у внутрішньомлиновому просторі дозволив здійснити перехід від величини питомих витрат на руйнування поодинокого зерна

речовини до більш вагомої для практичних цілей величини, такої як корисна потужність, що споживається млином. Для обчислення корисної потужності використовуються формули Девіса, Неронова і Сіденко, Андрєєва-Левенсона-Канторовича, Бонда, Олевського [3]. При відомій корисній потужності, яку споживає млин з врахуванням втрат, що виникають у всіх елементах системи можна скласти повну енергетичну картину млина як об'єкта управління, тим самим, забезпечивши можливість його раціональної експлуатації з точки зору енергоспоживання.

Потужність при роботі кульового млина витрачається на підйом кульового завантаження, на надання їй кінетичної енергії і на подолання шкідливих опорів при переміщенні. Потужність, що витрачається на роботу кульового млина, визначається технологічним процесом подрібнення і залежить від ряду факторів, а саме: ваги завантажених куль, розміру вихідного матеріалу, розміру камери млина, швидкості обертання, щільності пульпи (для мокрого подрібнення), продуктивності млина, величини циркуляційної навантаження, крупності готового продукту, стану футерування млина.

Розмір млина, впливає, перш за все, на абсолютну величину споживаної потужності, оскільки механіка подрібнення однакова для млинів будь-яких розмірів. Такий показник як продуктивність млина визначається в основному геометричними розмірами барабана, крім того, її величина залежить від стану футерування і від кількості завантаженого матеріалу, гранулометричного складу та щільності середовища, що дробить. Одним з варіантів підвищення продуктивності агрегату подрібнення є зміна його швидкості [4] при зміні фізико-механічних властивостей завантаженої речовини, що вимагає регульованого приводу.

Важливим фактором, що впливає на характер і величину споживаної потужності, є швидкість обертання барабана млина [5]. Зазвичай приймають, що величина потужності, яка корисно витрачається при інших рівних умовах пропорційна швидкості обертання барабана. Однак, насправді, при зазначених умовах потужність зростає трохи швидше, ніж зростає швидкість барабана. До того ж таке зростання потужності спостерігається лише при певному режимі роботи - при каскадному. Відповідно режимом роботи млина буде визначатися і характер зміни споживаної потужності.

Корисна потужність, яку споживає млин на приведення кульового завантаження в робочий стан, обчислюється за цілою низкою формул. На підставі робіт Андрєєва, Девіса, Перова, Товарова, Олевського, Канторовича встановлено, що найбільша споживана потужність характеризує разом з тим і найбільшу роботу подрібнення. Тому, навантажувати млин кулями понад 50%, де крива потужності досягає екстремуму, не доцільно. На підставі аналізу тих же формул, відзначено, що величина споживаної потужності, при постійній швидкості обертання, пропорційна довжині плеча моменту ваги кульового навантаження. Отже, з одного боку, чим більше кульове навантаження, тим більше потужність, споживана млином і тим більшу роботу воно виконує, з іншого боку, чим менше кульове навантаження, тим ефективніше її робота, що робить необхідним раціональне управління завантаженням млина і його швидкістю.

Режим роботи млина і величина споживаної потужності залежить не тільки від перелічених факторів, але також від величини сили тертя між внутрішньою поверхнею барабана (футеруванням і кульової завантаженням) та типу футерування. У першому випадку, якщо сила тертя при швидкості обертання вище граничної, виявляться недостатньою, режим роботи млина, незважаючи на «водоспадну» швидкість обертання, залишиться каскадним. Звідси й інший характер зміни споживаної потужності. У другому випадку споживана млином потужність збільшується по мірі зносу футерування внаслідок збільшення діаметра робочого барабану млина.

Принципи розподілу керуючих сигналів і регульованих змінних, застосування тієї чи іншої схеми в залежності від параметра, що є основним у процесі подрібнення розглянуті авторами Утеуш З.В. і Утеуш Є.В. [6]. Автори поділяють всі змінні, що впливають на процес помелу на керовані, керуючі і зовнішні збурення. Слід відзначити той факт, що в залежності від задач управління, одна й та ж величина (наприклад, продуктивність живильника) може бути віднесена і до керованих і до управляючих змінних. До категорії зовнішніх збурюючих впливів, в основному, відносять властивості матеріалу, що подрібнюється та випадкові фактори (наприклад, коливання напруги мережі живлення).

Один із способів забезпечення раціональних режимів роботи технологічних механізмів дробильно-сортувальних фабрик - це застосування систем адаптивного управління, які відносяться до робототехнічних системи, елементною базою яких є мікропроцесорна техніка. Для роботи АСУ технологічним процесом необхідне математичне забезпечення, яке адекватно описує технологічні процеси, роботу окремих видів обладнання, що приймають участь в них. При виборі математичного опису технологічних процесів враховують закономірні зв'язки, які періодично повторюються в, а також випадкові, які обумовлені мінливістю параметрів процесу. Тому при моделюванні технологічних процесів і управління ними в оптимальних режимах широко використовують апарат випадкових функцій і випадкових процесів, що базуються на теорії ймовірностей та математичній статистиці. При побудові математичної моделі дробильно-сортувальних фабрик проводиться моделювання машин, механізмів і обладнання фабрик [7].

#### Моделювання дробильно-помельного комплексу

Факторне поле кульового млина може бути представлено діаграмою Ісікава (рис. 1).



Рисунок 1 – Факторне поле кульового млина.

Така діаграма відображає основні структурні зв'язки в системі та дозволяє наочно уявити ієрархію факторів. Основні позиції на діаграмі відведені чотирьом групам факторів, які визначають технологічний процес. Розбиття і сортування факторів всередині кожної з груп спрощує оцінку впливу того чи іншого фактора. Деякі фактори, (наприклад, гранулометричний склад) можуть бути включені в дві групи, або належати до тієї чи іншої групи в залежності від цільової функції оптимізації процесу.

На підставі наведених даних можлива побудова нейронної мережі для управління дробильно-помольним комплексом. Контрольовані параметри виступають в якості вихідного вектора, а відповідні їм значення регульованих величин, параметрів обладнання і речовини що подрібнюється - вхідного вектора.

Технологічний процес дроблення можна розглядати як задачу оптимізації, в якій існує кінцевий результат (цільова функція), значення якої можуть належати діапазону від «дуже погано» до «дуже добре», і множини критеріїв, що визначають яке ж значення прийме цільова функція. При дослідженні технологічного процесу не можна говорити про те, що кінцевий результат це одна величина. Найчастіше це набір параметрів, поєднання яких визначає, наскільки гарний результат. Серед параметрів можна виділити основні, які головним чином визначають якість результату і допоміжні, які будуть в меншій мірі впливати на оцінку результату.

Згідно існуючих підходів до побудови систем управління [7] об'єкт автоматичного регулювання типу «дробарка» або «млин» математично може бути описана інерційним ланкою першого порядку з урахуванням транспортного запізнення, або інерційним ланкою другого порядку також з урахуванням транспортного запізнення. Таким чином, динамічні властивості дробарок по каналах «продуктивність живильника - продуктивність об'єкта», «крупність вихідного матеріалу - продуктивність об'єкта», «міцність дробленого матеріалу - споживана двигунами агрегату потужність», може бути представлена передавальною функцією, загальний вигляд якої наведено у формулі

$$W = \frac{k \cdot e^{-\tau \cdot p}}{T \cdot p + 1},$$

де  $k$  – коефіцієнт підсилення;

$\tau$  - час запізнення;

$T$  – стала часу об'єкта.

Як видно, такий опис об'єкта не відображає ні його багатфакторності ні багатозв'язності. При цьому підході встановлюється залежність між вхідним та вихідним впливами згідно їх спільній зміни у часі.

Для вирішення такого роду завдань зі значною кількістю факторів впливу в залежності від особливостей поставленого завдання для їх вирішення можуть бути використані різноманітні нейронні мережі, такі як багатошаровий перцептрон, мережі з радіальними базисними функціями, імовірнісні мережі та інші, що розрізняються між собою за структурою і можливостями. Конфігурація мережі визначається для кожного конкретного завдання. Для вирішення деяких окремих типів завдань вже існують оптимальні конфігурації, описані в літературі з побудови та експлуатації нейронних мереж [8].

Нейронні мережі реалізують алгоритми навчання, призначені для роботи з великою кількістю змінних, успішно здійснюють прогнозування та можуть замінити людину в прийнятті рішень. Завдання управління помелом за допомогою нейронних мереж реалізується

наступним чином (рис. 2).

Кожному входу мережі відповідає один з чинників. Виходи мережі відповідають продуктивності, тонині та електроспоживанню, вагові коефіцієнти мережі визначають значимість факторів. Таким чином можна виявити ієрархію чинників. Надалі, на підставі отриманої ієрархії завдання багатокритеріальної оптимізації можна буде спростити до однокритеріальної. Крім виділення факторів мережа може виявляти прогностичний стан системи на підставі наявних даних і оптимізувати роботу за заданим параметром. В якості оптимізаційних параметрів доцільно прийняти  $T$ ,  $W$  і  $Q$  або ж введений узагальнюючий показник, що відображає всі три критерії в залежності від їх значущості.

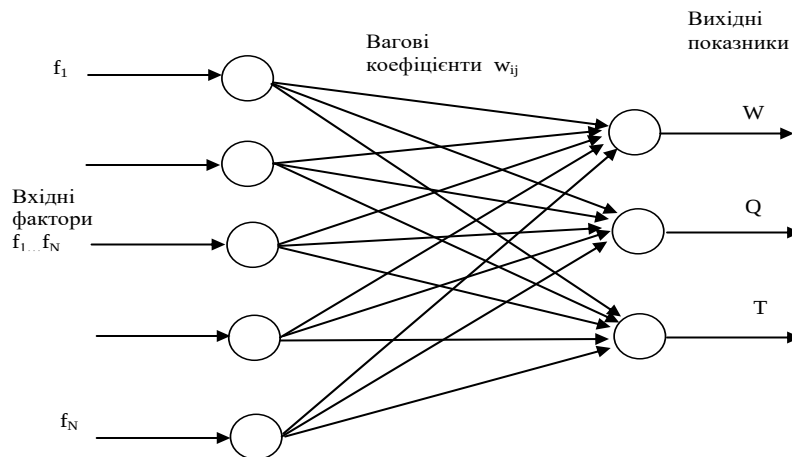


Рисунок 2 – Модель нейронної мережі для управління помелом.

Реалізуючи вищенаведені принципи на наявних вибірках даних із використовуючи алгоритмів навчання мереж в середовищі Matlab було навчено добірку нейронних мереж. Кожна мережа складається з двох шарів. Число нейронів в першому шарі варіюється в межах від 2 до 75, у другому шарі 2 нейрона. Активаційна функція нейронів першого шару - сигмоїдальна, другого шару - лінійна. Загальний вигляд архітектури мережі наведено на рис.5.5. На входи мережі подаються дані про продуктивність та завантаження млина. Вихідний вектор містить інформацію про питоме електроспоживання та тонину помолу.

Порівняння результатів навчання нейронних мереж за допомогою різних алгоритмів навчання наведено в таблиці 1.

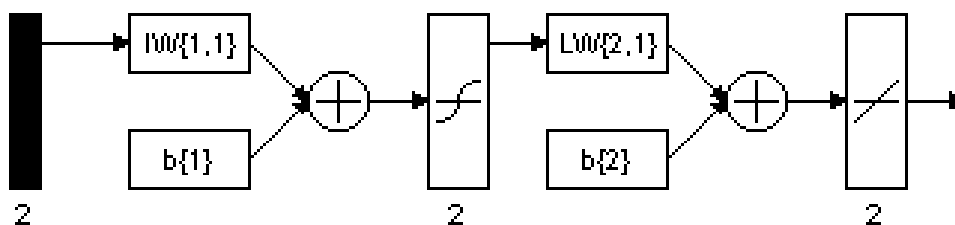


Рисунок 3 – Модель штучної нейронної мережі.

Таблиця 1 – Похибка при навчанні штучних нейронних мереж

| Функція<br>мережі | навчання | Кількість нейронів у першому шарі мережі |       |       |       |      |      |
|-------------------|----------|------------------------------------------|-------|-------|-------|------|------|
|                   |          | 2                                        | 5     | 10    | 25    | 50   | 75   |
| Traingd           |          | 11.81                                    | 11.75 | 11.15 | 10.57 | 8.71 | 7.31 |
| Trainlm           |          | 8.44                                     | 7.91  | 7.09  | 4.38  | 2.11 | 1.38 |
| Traingdx          |          | 11.75                                    | 11.75 | 11.75 | 9.81  | 6.47 | 5.74 |
| Traingdm          |          | 11.76                                    | 11.75 | 11.75 | 10.21 | 8.96 | 7.96 |
| Traingda          |          | 11.74                                    | 11.77 | 11.78 | 8.35  | 7.58 | 6.41 |
| Trainrp           |          | 11.75                                    | 10.16 | 9.58  | 7.99  | 6.11 | 5.32 |
| Trainscg          |          | 11.75                                    | 11.75 | 10.35 | 9.28  | 5.83 | 4.89 |

На наявних вибірках даних були навчені ряд нейронних мереж з різною кількістю нейронів в прихованому шарі. Збільшення числа нейронів в прихованому шарі призводило до підвищення точності моделі, однак, потрібно більше часу на її навчання. Найменша помилка навчання була досягнута при застосуванні алгоритму навчання Левенберга - Марквардта.

Системи управління із застосуванням нейронних мереж є альтернативою системам управління, побудованим відповідно до класичних методів управління. Така можливість базується на тому, що нейронна мережа, що складається з двох шарів і містить в прихованому шарі доволі велику кількість вузлів, може апроксимувати будь-яку функцію дійсних чисел із заданим ступенем точності [8].

При управлінні на основі авторегресії з ковзним середнім регулятор являє собою досить просту реконструкцію моделі керованого процесу. Недоліком моделі є те, що вона повинна бути задана в канонічній формі простору стану, якій відповідає супроводжуюча матриця, що може призводити до обчислювальних погрешностей. Авторегресійна модель зі змінним середнім є нелінійної дискретної моделлю нелінійної динамічної системи і представляється в формі

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

де  $y(k)$  - вихід моделі;

$d$  - число тактів предбачення;

$u(k)$  - вхід моделі.

На етапі ідентифікації необхідно побудувати нейронну мережу для моделі виду (1). Ця процедура може розглядатися як процедура ідентифікації. Для проектування системи, що стежить, що забезпечує задану траєкторію виду

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

необхідно спроектувати нелінійний регулятор наступного загального вигляду

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

При реалізації такого регулятора за допомогою нейронних мереж в процесі мінімізації середньоквадратичної помилки він вимагає надмірних обчислень, оскільки використовує динамічний варіант методу зворотного поширення помилки. Для практичного вирішення завдання стеження Нарендра і Макхопадхан [9] запропонували наближену NARMA - модель з виділеної складової управління. Така модель регулятора має вигляд:

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

Перевага цієї форми полягає в тому, що тепер поточне управління безпосередньо обчислюється, якщо відома бажана траєкторія  $y_r$ , попередня історія управління  $\{u(k-1), \dots, u(k-m+1)\}$ , а також попередні та поточні значення виходу  $[y(k), \dots, y(k-m+1)]$ :

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

Безпосереднє застосування цього співвідношення для реалізації регулятора ускладнено, оскільки управління  $u(k)$  залежить від поточного значення виходу  $y(k)$ . Тому рівняння (5) модифікується в такий спосіб:

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

але при цьому параметр передбачення повинен задовольняти умові  $d \geq 2$ .

Загальна структура системи з NARMA-регулятором показана на рис. 5.7. На схемі явно виділена еталонна модель, яка задає бажаний вид вихідного сигналу управління процесом.

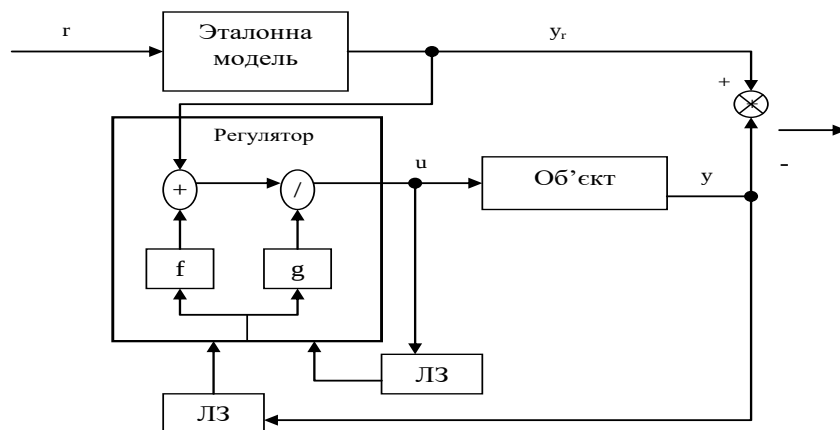


Рисунок 4 – Система з NARMA – регулятором.

Розглянемо моделювання нейронмережевого контролера для дробильного комплексу.

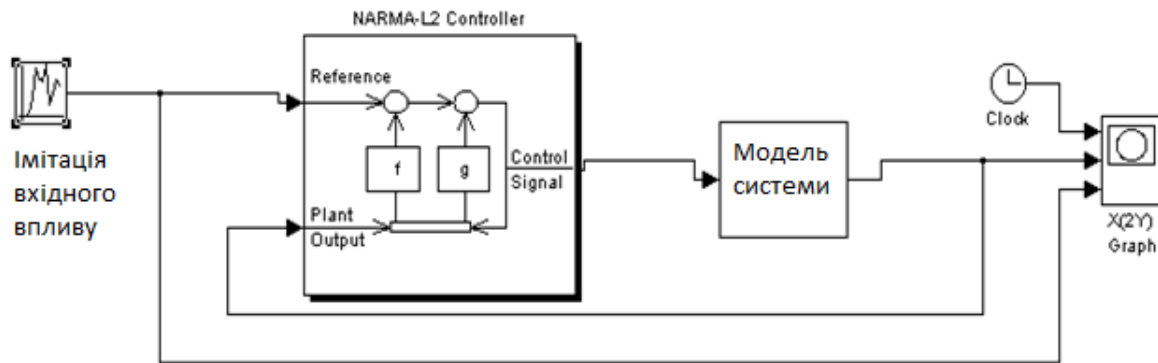


Рисунок 5 – Система з NARMA – регулятором.

Навчання нейромережевого NARMA - регулятора, що містить 10 нейронів в прихованому шарі, на тренувальній послідовності проводилося протягом 100 циклів. Система з нейрорегулятором показана на рис. 5. На рис. 6 представлені графіки помилки для навчальної, тестової та контрольної послідовностей.

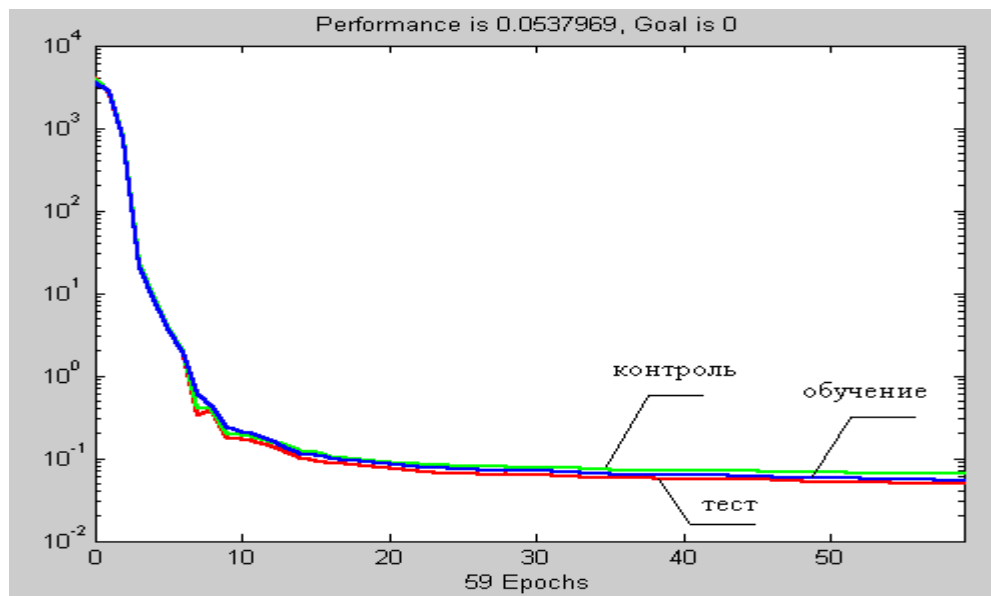


Рисунок 6 – Похибка навчання, контрольної та тестової послідовностей для нейромережевого регулятора.

### Результати

У роботі розглянуто використання нейромережевого управління для складних об'єктів і технологічних ліній, що зумовило рішення науково-технічної задачі визначення і підтримки оптимального режиму роботи дробильно-помельного комплексу, що дозволяє на основі результатів аналізу факторного поля комплексу дробарка-млин забезпечити його оптимальний режим електроспоживання. При цьому отримано такі основні результати:

Здійснено об'єднання описів внутрішніх і зовнішніх процесів при моделюванні об'єктів, що входять до складу дробильно-помельного комплексу і проведена реалізація цих моделей за допомогою штучних нейронних мереж, що дозволяє підвищити якість моделей і їх

достовірність. Запропоновано факторне поле основних структурних зв'язків усередині системи подрібнення, що дозволяє обґрунтувати сукупність техніко-економічних і технологічних критеріїв, які визначають прийняття рішення щодо оптимального по електроспоживанню експлуатаційного режиму дробильно-помельного комплексу та оптимізувати електроспоживання комплексу, не змінюючи технологічного процесу [10].

Запропоновано нову модель дробильно-помельного комплексу, яка враховує багатофакторне поле системи і відображає її внутрішні зв'язки, що базується на математичному апараті штучних нейронних мереж і полягає в обліку при формуванні цільової функції складових, що визначають електроспоживання та інші техніко-економічні показники комплексу "дробарка - млин", що дозволяє підвищити енергетичну ефективність комплексу шляхом забезпечення роботи комплексу в оптимальному по електроспоживанню режимі [11].

### Висновки

На протікання технологічних процесів подрібнення та помелу впливають фізичні властивості матеріалу, що подрібнюється речовини і режим роботи системи. Серед фізичних властивостей речовини слід виділити такі змінні як міцність, кускуватість, вологість, абразивність. Режим роботи системи визначається продуктивністю, ступенем подрібнення, періодичністю довантаження живлення і меле середовища, якісними показниками робочих органів.

Факторний поле комплексу включає в себе чотири групи чинників: контрольовані, що регулюють, характеристики обладнання і характеристики речовини. Для кульового млина в групу контрольованих факторів входять продуктивність, електроспоживання та якість помелу. До регулюючих чинників відносять завантаження млина матеріалом, кульову завантаження і швидкість обертання барабана. Група характеристик обладнання включає в себе параметри приводу, стан обладнання, конструктивні параметри млина. міцність, вологість, абразивність, щільність, сипучість, кускуватість та гранулометричний склад утворюють групу чинників характеристик матеріалу.

Для оптимізації роботи системи доцільне використання регулятора, виконаного на основі штучних нейронних мереж, який виконує прогнозування на основі авторегресійних функцій. Застосування регулятора дозволить зменшити електроспоживання комплексу та стабілізувати роботу ділянки подрібнення по вихідному продукту.

### Список літератури

1. Андреев С.Е. Дробление, измельчение и грохочение полезных ископаемых: учеб. / Андреев С.Е., Перов В.А., Зверичев В.В. – М.: Недра, 1980. – 216 с.
2. Серго Е.Е. Дробление, измельчение и грохочение полезных ископаемых: учеб. для вузов / Серго Е.Е. – М.: Недра, 1985. – 362 с.
3. Биленко Л.Ф. Закономерности измельчения в барабанных мельницах: учеб. / Биленко Л.Ф. – М.: Недра, 1984. – 184 с.
4. Андреев С.Г. Наивыгоднейшее число оборотов шаровой мельницы, /Андреев С.Г. // Горный журнал. – 1954. – №10. – С. 28-31.
5. Андреев С.Е. Дробление, измельчение и грохочение полезных ископаемых: учеб. для вузов / Андреев С.Е., Зверичев В.В., Перов В.А. – М.: Недра, 1966. – 628 с.
6. Утеуш З.В.. Основы автоматизации измельчения материалов в шаровых мельницах: учеб. / Утеуш З.В., Утеуш Э.В. – М.: Химия, 1968. – 246 с.
7. Назаренко В.М. Системы управления механизмами дробильно-сортировочных фабрик: монографія / Назаренко В.М. – М.: Недра, 1985. – 60 с.
8. Медведев В.С. Нейронные сети. MATLAB 6: учеб. / Медведев В.С. под. общ. ред. Потемкина В.Г. – М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 2002. – 496с.

9. Narendra K. S. Adaptive Control Using Neural Networks and Approximate Models / Narendra K. S., Mukhopadhyay S. S. // IEEE Transactions on Neural Network. – 1989. – Vol 2. – P. 21-26.
10. Мейта А.В. Исследование факторного поля шаровой мельницы / Мейта А.В. // Энергетика: економіка, технологія, екологія – 2016. - № 1. – С. 96 – 101.
11. Калинчик В.П. Энергоэффективное управление мехатронным комплексом «дробилка-мельница» с использованием искусственных нейронных сетей/ Калинчик В.П., Розен В.П., Шевчук С.П., Мейта А.В. // Энергетика: економіка, технологія, екологія – 2016. - № 3. – С. 45 –50.

**Мирутенко П.П.**, студент  
Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»,

### ПРИСТРІЙ ДЛЯ ВІДКАЧКИ РІДИН ГЛУШІННЯ ІЗ СВЕРДЛОВИНИ

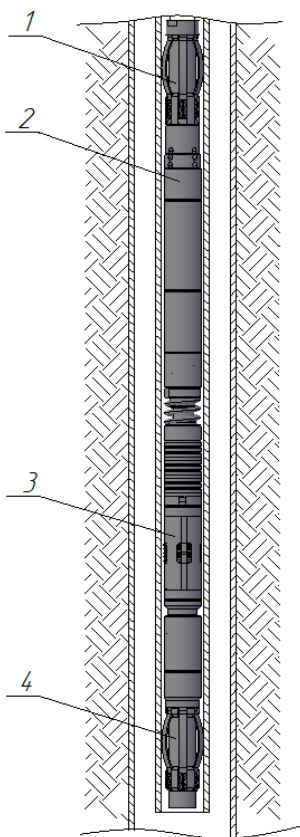


Рис. 1 – Пристрій для відкачки рідин глушіння

*Запропоновано конструкцію пристрою, який вирішує проблему відкачки рідин глушіння за умов неможливості створити в свердловині циркуляцію рідини з її заміщенням.*

**Ключові слова:** рідина глушіння, струминний насос, пакер, відновлення свердловини.

*The construction of a device that solves the problem of pumping out silencing fluids in the event of the impossibility of creating a liquid circulation in the well and its replacement is proposed.*

**Key words:** fluid muffling, jet pump, packer, recovery of wells.

Однією з задач в розвитку економіки країни є інтенсифікація видобутку вуглеводнів шляхом розробки нових родовищ та підвищення ефективності експлуатації всіх існуючих. З метою підвищення дебіту свердловину зупиняють на капітальний ремонт. Зупинку свердловини перед ремонтом проводять шляхом закачування рідин глушіння. Після ремонту рідину глушіння видаляють з свердловини як правило шляхом заміщення, викликавши циркуляцію рідини в напрямку «НКТ - затрубний простір» [1]. В багатьох випадках, особливо на газових свердловинах, циркуляцію забезпечити досить важко, або зовсім неможливо через особливості породи-колектора, пластовий тиск, та ін. [2]. Тому актуальним є розробка альтернативного способу відкачування рідин глушіння.

Метою є розробка пристрою для відкачки рідин глушіння зі свердловини без створення процесу циркуляції.

Перед ремонтом в свердловинах з можливим фонтануванням або викидом рідини, глушіння відбувається закачуванням більш важкого розчину, після виконання ремонтних робіт, необхідно відкачати дану важку рідину із свердловини.

З метою альтернативного способу відкачування рідини розроблено пристрій для відкачки рідин глушіння із свердловин без піднімання обладнання (рис. 1), який складається з таких вузлів: верхній центратор 1, струминний насос 2, пакер гідравлічний 3 та нижній центратор 4.

Центратори виконують функцію підтримання вертикального положення пристрою в трубах НКТ.

Пакер призначений для роз'єднання один від одного верхнього і нижнього кільцевого простору труб НКТ, являє собою декілька послідовно з'єднаних гумових армованих манжет, які під тиском робочої рідини розширюються і гідравлічно розділяють нижній і верхній простір.

Струминний насос створює зону розрідження в трубах нижче пакера.

Пристрій опускають в середину труб НКТ 2,5" за допомогою труб діаметром 33 мм. Розкривають пакер. Далі в труби діаметром 33 мм. подають робочу рідину в струминний насос, який в свою чергу починає відкачувати рідину глушіння. Змішаний потік надходить на поверхню по кільцевому каналу між трубами 33 мм і внутрішньою стінкою НКТ.

Для проведення робіт з ремонту і подальшої відкачки рідин глушіння додатково залучають підйомну установку А-50 або подібну, та насосну установку УНБ1-400х40 або подібну.

**Висновок:** Використання розробленого пристрою дозволить відкачувати рідини глушіння із свердловин з будь-якими гірничо-геологічними умовами та скоротити час на підготовку свердловини до її запуску після ремонту.

#### **Використана література**

1. Сулейманов А.Б., Карапетов К.А., Яшин А.С. Техника и технология капитального ремонта скважин. – М.: Недра, 1987. – 316 с.
2. Блажевич В.А., Уметбаев В.Г. Справочник мастера по капитальному ремонту скважин. – М.: Недра, 1985.

**Мельничук А.І.**, студентка

**Лістовщик Л.К.**, к.т.н., доц.

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»,

### **ЗАСТОСУВАННЯ ЯВИЩА ІМПЛОЗІЇ В ПРОЦЕСІ ВІДНОВЛЕННІ ПРОДУКТИВНОСТІ НАФТОВОЇ СВЕРДЛОВИНИ**

*Запропоновано спосіб підвищення її продуктивності шляхом використання пристрою, принцип роботи якого ґрунтується на методі імпульзії.*

**Ключові слова:** *дебіт, привибійна зона свердловини, імпульзія, гідравлічний тиск, насосно-компресорні труби (НКТ).*

*A way is proposed to increase its productivity by using a device whose principle of operation is based on the implosion method.*

**Key words:** *debit, gravity hole zone, implosion, hydraulic pressure, pump-compressor pipe.*

Одним із відповідальних процесів під час нафтовидобувних робіт є відновлення колекторних властивостей нафтового пласта з метою підвищення дебіту нафтової свердловини.

Під час експлуатації нафтової свердловини протягом певного часу її дебіт буде падати. Це пояснюється багатьма причинами, основними з яких є відкладення на поверхні фільтраційних каналів смол та асфальтенів та зниження фільтраційних властивостей породи-колектора шляхом забивання пор різними твердими механічними домішками.

Ефективним вирішенням проблеми нафтовидобутку є поєднання технологій для підвищення продуктивності нафтової свердловини, а саме поєднання фізичних та хімічних методів. Одним із прикладів є імпульсна дія на привибійну зону пласта. Імпульсна дія ґрунтується на миттєвому сполученні простору свердловини високого тиску з простором низького тиску. Керуючись досвідом фахівців у проведенні робіт з інтенсифікації нафтовидобутку, можна сказати, що ефективність суттєво підвищується при поєднанні різних методів, наприклад, фізичного та хімічного впливу.

При реальному застосуванні даного методу з метою відновлення продуктивності у свердловині Бугруватівського родовища було встановлено імпульсний пристрій та проведено роботи по очистці свердловини. Після запуску свердловини в роботу, її продуктивність в наступному місяці збільшилася від 2,6 т/добу до 11,2 т/добу з подальшим збільшенням до 57,3 т/добу, що свідчить про ефективність цього методу [1].

Так як все більше використовують комбіновані способи обробки свердловин, то розроблення універсального імпульсного пристрою багатократної дії з використанням хімічних речовин в якості робочої рідини є актуальною задачею, рішення якої зможе підвищити кількість вуглеводнів, що видобуваються.

Метою модернізації пристрою для гідроімпульсного впливу на привибійну зону свердловини є підвищення ефективності обробки свердловини шляхом синергічного впливу на привибійну зону пласта.

Схема пристрою для гідроімпульсного впливу на привибійну зону свердловини показана на рис. 1.

Пристрій для гідроімпульсного впливу на привибійну зону свердловини містить колонку насосно-компресорних труб 1, які заповнені робочою рідиною і з'єднані нижньою частиною з корпусом 2, поршень 3, що притиснутий до сидла 4 пружиною 5, імпульсну камеру А з підпружиненим клапаном 6. Активна площа поршня гідравлічно з'єднана із затрубним простором радіальними отворами С, які знаходяться в корпусі, а імпульсна камера з'єднана з внутрішнім об'ємом НКТ через повздовжні радіальні канали В.

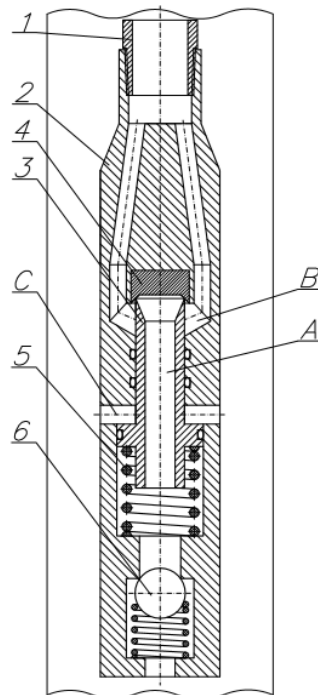


Рис.1 – Пристрій для гідроімпульсного впливу на привибійну зону свердловини

Пристрій для гідроімпульсної впливу на привибійну зону свердловини працює наступним чином.

Корпус пристрою з'єднують з колоною НКТ та спускають в свердловину до рівня перфорації обсадної колони. За допомогою насосного агрегату з поверхні, в трубах НКТ піднімають тиск, а в імпульсійній камері тиск залишається таким же, як і в затрубному просторі. При перемиканні вихідної лінії насоса до затрубного простору в тиск рідини підвищується і через бічні радіальні отвори діє на активну площу поршня 3, поршень стискає циліндричну пружину 5, в результаті цього рідина, яка знаходиться під високим тиском в НКТ, через радіальні отвори В вривається в імпульсійну камеру А та через зворотній клапан 6 впливає на привибійну зону пласта. Далі цикл генерації імпульсу повторюється.

Така періодична дія на привибійну зону пласта підсилюється використанням хімічних реагентів і дозволяє скоротити загальний час обробки свердловини за один спуск-підняття обладнання.

**Висновок:** Підвищення дебіту нафтової свердловини шляхом застосування явища імпульсії може стати одним із найбільш найрозповсюдженіших за умови створення надійних багаторазових імпульсійних пристроїв, які здатні працювати з хімічними розчинами в якості робочої рідини.

#### Використана література

1. Тарко Я.Б., Тарко Я.Я. Підвищення продуктивності свердловин здійсненням гідроімпульсної імпульсійної дії на привибійну зону пласта // м. Івано-Франківськ. Держ. міжвід. НТЗ „Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ”, вип. 28. – Івано-Франківськ: ІФДТУНГ, 2008. – С. 17-21.
2. Тарко Я.Б. Аналіз гідродинамічних методів впливу на привибійну зону пласта // Держ. міжвід. НТЗ „Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ”, вип. 38. – Івано-Франківськ: ІФДТУНГ, 2001. – С. 128-133.

**СЕКЦІЯ 5.  
ІНЖЕНЕРНА ЕКОЛОГІЯ ТА  
РЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯ**

УДК: 502/504

Макарова В.А., студент  
Сергієнко М.І., старший викладач  
Кафедра інженерної екології  
КПІ імені Ігоря Сікорського

## АНАЛІЗ ПРОБЛЕМИ УТИЛІЗАЦІЇ ГАЛЬВАНІЧНИХ ДЖЕРЕЛ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В УКРАЇНІ

*Проведено аналіз сучасної ситуації в Україні з питання переробки гальванічних джерел електроенергії. Досліджено ключові проблеми, які заважають налагодити систему збору, транспортування та переробки даного виду сировини. Розглянуто закордонний досвід та розроблено рекомендації стосовно вирішення даної задачі.*

**Ключові слова:** гальванічні джерела електроенергії, батарейки, акумулятори, утилізація, переробка.

*The recycling of the current situation in Ukraine concerning the processing of galvanic power sources have been analyzed. The key problems that prevent the creation a system of collection, transportation and processing of this type of raw stuff. The foreign experience have been considered and recommendations on the solution of this problem have been developed.*

**Key words:** galvanic power sources, batteries, accumulators, recycling.

**Вступ.** Вирішення проблеми утилізації гальванічних джерел електроенергії – одне з пріоритетних завдань для України. Станом на сьогодні в країні не діє жоден завод по утилізації цих небезпечних відходів, а всі побутові батарейки які на даний момент збираються на переробку – просто зберігаються на складах. При цьому обсяг батарейок які здаються для подальшої утилізації не перевищує 10%, всі інші опиняються на звалищах.

Аналіз останніх досліджень та публікацій показав, що в останні роки дана тема набула великого розголосу та спричинила ряд досліджень та проектів завдяки своїй нагальності та актуальності. Серед них можна виділити наступних авторів: Лесь А. В. [5], Дубовик О. Ю. [2] Фалько В.В [9], , Коблянська І.І.[4], Проект Twinning [6] та інші. Однак системного вирішення даної проблеми на даний момент немає і питання залишається відкритим. Питання збирання і утилізації побутових батарейок і акумуляторів в Україні до сьогодні не має комплексного системного вирішення. Тому є доцільним продовження аналізу закордонного досвіду, адаптації його до українських реалій, розробка рекомендацій для їх подальшої реалізації та знаходження найоптимальнішого комплексу заходів, що підвищать шанси на успіх країни в цьому питанні.

**Мета та завдання.** Аналіз сучасного стану та прогресу у вирішенні проблеми утилізації гальванічних джерел електроенергії в Україні. Дослідження Європейського досвіду у питаннях збору, сортування та утилізації батарейок. На основі зібраних даних, розробка рекомендацій та заходів для пришвидшення становлення комплексного процесу забезпечення безпечного та екологічного поводження з відпрацьованими батареями та батарейками.

**Матеріал і результати досліджень.** До гальванічних джерел електроенергії (ГДЕ) відносяться побутові батарейки різних типів, автомобільні акумуляторні батареї, акумулятори мобільних телефонів та різних електроприладів. Щороку в Україні збільшується кількість відходів електричного та електронного обладнання, батарейок і акумуляторів. Після того, як ГДЕ відпрацьовують свій строк служби, за відсутності сприятливих умов та налагодженої

системи збору – вони потрапляють у довкілля і під впливом атмосферних факторів їх зовнішнє захисне покриття руйнується і електроліти, небезпечні сполуки та важкі метали такі як ртуть, кадмій, свинець, цинк та марганець потрапляють в навколишнє середовище. Слід зазначити, що період їх напіврозпаду дуже великий – від 110 до 740 років [9]. Тому при неналежному поводженні з ГДЕ вони становлять значну загрозу для довкілля і людини. В той же час враховуючи в них значний вміст цінних матеріалів, які можна розглядати як промислову сировину вони можуть слугувати сировиною для підприємств металургійної, хімічної, радіо-електро, та приладобудівної галузей.

В Україні на сьогоднішній день, на жаль, відсутнє належне державне регулювання з цього питання. Немає і ніколи не існувало державної програми зі збору та утилізації батарейок. Єдине державне підприємство – львівський завод «Аргентум», яке володіє необхідним обладнанням та лабораторіями, має фахівців та досвід з утилізації батарейок призупинило свою роботу в зв'язку з недостатнім завантаженням, відсутність попиту на перероблену сировину та труднощі з очисним устаткуванням та технологіями переробки [8].

Значний внесок у вирішення проблеми та рішучі кроки здійснюють екологи, активісти, громадські організації та соціальновідповідальний бізнес. Уже накопичено більше 200 тонн батарейок, які розкладаються і течуть, за їх зберігання волонтери та бізнес постійно сплачують кошти [1]. В країні взагалі відсутні підприємства, які мають ліцензію на право утилізації несортованих відпрацьованих батарей, відходів і брухту електричних та електронних вузлів, що містять компоненти, такі, як акумуляторні батареї або інші батареї. Збором батарейок займаються ентузіасти, екологічні організації. Системно питання не вирішене.

Але є і позитивні кроки на шляху до покращення ситуації. Громадський проект «Батарейки, здавайтеся!» досліджують можливість доправити вже зібрану ними та іншими організаціями сировину, яка зберігається на складах на переробку до одної з країн Європи, проводять порівняння різних варіантів. Ними вже сьогодні збираються кошти, завдяки фінансовій підтримці небайдужих українців та проводяться перемовини з діючими європейськими заводами. В їх планах в найближчий час доправити перші 40 тон батарейок на переробку [1].

На державному рівні теж здійснюються дослідження та міжнародна співпраця. Проект Twinning «Впровадження системи управління відходами електричного та електронного обладнання (ВЕЕО) та батарейок в Україні» тривав з березня 2016 року до листопада 2017 року. Twinning – це інструмент інституційного співробітництва між державними органами держав-членів ЄС та країн-партнерів [6]. Відбулася плідна співпраця представників з країн Європейського Союзу - спеціалістів в даній сфері, українських та європейських агентств та міністерств, в результаті чого було розроблено проект Закону України "Про батарейки, батареї і акумулятори", який наближує українську систему управління відходами до європейської. Однак досі він не введений в дію і змін на рівні держави поки не прослідковується.

Згідно статей 17 і 20 Закону України "Про хімічні джерела струму" від 23.02.2006 N 3503-IV, обов'язковій утилізації підлягають відпрацьовані хімічні джерела струму ємністю 7 А/год та більше. Проте під дію цього закону не попадають побутові батарейки, які мають значно меншу ємність і які є найбільше популярними у масовому вжитку. У Європейських країнах враховуючи їх небезпечність - батарейки заборонено спалювати чи захоронювати. В якості знешкодження допускається тільки екологічно чиста переробка або зберігання на спеціальних складах, і тому там активно налагоджене збирання і рециркуляція всіх хімічних джерел струму [2].

В ЄС функціонує два основних спеціалізованих підприємства для первинної переробки відпрацьованих батарейок [4]. Відсортований матеріал з високим рівнем концентрації цінних елементів і кольорових металів переправляється на понад 40 промислових підприємств для

подальшої глибокої переробки. Жоден із заводів не переробляє всі 8 типів батарейок на своїх потужностях [1]. Спочатку батарейки сортуються на сортувальних станціях, а потім відправляють кожен тип – на свій завод.

Процес первинної переробки зібраних відпрацьованих батарейок включає сортування та розподіл за групами відповідно до технологічності. Розподілені групи складаються для безпечного зберігання. В подальшому за групами відбувається глибока переробка, яка включає демонтаж частин елементів живлення і розділення матеріалів: металів, вуглецю, соляних, лужних та інших наповнювачів і електролітів. Усі отримані матеріали є ресурсом, який в подальшому може використовуватися [5, 7].

В Європі у вартість батарейки спочатку закладена певна сума за збір і утилізацію, таким чином, дотримується принцип "забруднювач платить". Такі умови поставила виробникам і імпортерам батарейок Directive 2006/66 /ЕС. Розумним рішенням було б відмовитися від одноразових батарейок взагалі і перейти на акумулятори, які викидаються в 10 разів рідше [9].

**Висновки.** Аналіз сучасного стану та прогресу у вирішенні проблеми утилізації гальванічних джерел електроенергії в Україні показав:

- що, на сьогоднішній день проблема забруднення навколишнього природного середовища елементами відпрацьованих батарейок та акумуляторів залишається невирішеною;
- відсутність налагодженої системи збору відпрацьованих батарейок та відсутність потужностей в Україні;
- утилізація наявного в Україні обсягу відпрацьованих батарейок може забезпечити роботою цілий ряд галузей промисловості.

На основі дослідження європейського досвіду у питаннях збору, сортування та утилізації батарейок були розроблені наступні рекомендації:

- через необхідність термінових та рішучих дій необхідно пришвидшити імплементацію відповідних програм, реформ та законів, які уже є розробленими, але досі не вводяться в дію;
- проблема потребує введення в межах екологічного податку утилізаційного збору на всі ГДЕ;
- змусити імпортерів добровільно взяти на себе ті ж зобов'язання в Україні, які вони виконують в ЄС;
- нами було виявлено готовність до населення і інтерес з боку держави налагодити державну систему збору та доставки використаних батарейок. Але для цього необхідно узгодити та почати вводити в дію правове та технологічне підґрунтя;
- у довгостроковій перспективі немає іншого вибору, окрім руху до економіки замкненого циклу;
- утилізація ГДЕ дорогий процес і без державної підтримки це питання вирішити неможливо, однак кожен з нас може зменшити шкоду, що наноситься навколишньому середовищу змінюючи свої повсякденні звички, приносячи батареї на спеціальні пункти та підтримуючи екологічні організації, соціально свідомий бізнес, проекти та еко ініціативи;
- важливу роль у реалізації вирішення цієї проблеми буде мати виховання свідомості та відповідальності людей, розширення їх обізнаності з даного питання.

#### Список використаної літератури

1. Дослідження 8 заводів з переробки батарейок у Європі [Електронний ресурс] // Батарейки, здавайтеся!. – 2018. – Режим доступу до ресурсу: <http://batareiky.in.ua/>.
2. Дубовик О. Ю. утилізаційний збір для неекологічних товарів / І. В. Мартинюк // АГРОСВІТ – 2014. – № 8, 99-102.

- 
3. Іванова В. І. Вплив відпрацьованих батарейок на навколишнє середовище [Електронний ресурс] / В. І. Іванова // DSpace of Korolenko Poltava National Pedagogical University. – 2014. – Режим доступу до ресурсу: <http://dspace.pnpu.edu.ua/bitstream/123456789/7588/1/65.pdf>.
  4. Коблянська І.І. Виконання вимог ЄС у сфері поводження з відпрацьованими портативними батарейками: практика європейських країн та орієнтири для України / Шевченко Т.І., Коблянська І.І.// «Ефективна економіка» (Електронне наукове фахове видання). – 2017. - № 1.
  5. Лесь А. В. Проблеми утилізації небезпечних компонентів твердих побутових відходів / А. В. Лесь // Вісник ЖНАЕУ. – 2015. – № 1 (48), т. 2. – С. 208–214.
  6. Проект ЄС допоміг Україні розробити закони щодо утилізації електронних відходів і батарейок [Електронний ресурс] // ОКІА "Новини Полтавщини". – 2018. – Режим доступу до ресурсу: <https://np.pl.ua/>.
  7. Технології утилізації відпрацьованих марганцево-цинкових хімічних джерел струму [Електронний ресурс] / [І. Полюжин, Ф. Цюпко, А. Срібна та ін.] // Lviv Polytechnic National University Institutional Repository. – 2018. – Режим доступу до ресурсу: <http://ena.lp.edu.ua>.
  8. Утилізація батарейок на ДП «Аргентум» [Електронний ресурс] // Екологія. Право. Людина. – 2015. – Режим доступу до ресурсу: <http://epl.org.ua/environment/utyilizatsiia-batareiok-na-dp-arhentum/>.
  9. Фалько В.В. Світовий досвід щодо організації збору та утилізації електронних відходів та його впровадження в Україні / Ю.М. Жук // Сучасні технології у промисловому виробництві, Сумський державний університет . – 2018. – С. 150–151. [https://essuir.sumdu.edu.ua/bitstream/123456789/67621/1/Falko\\_elektronni\\_vidkhody.pdf](https://essuir.sumdu.edu.ua/bitstream/123456789/67621/1/Falko_elektronni_vidkhody.pdf)
-

УДК 574.635

Єзгор А. В., студент  
Т. В. Гребенюк, канд. техн. наук, доцент  
Кафедра інженерної екології  
КПІ імені Ігоря Сікорського

## АНАЛІЗ АНТРОПОГЕННОГО НАВАНТАЖЕННЯ НА РІЧКУ СТИР

*Розглянуто гідрологічний об'єкт - річку Стир та антропогенний вплив від підприємств, які знаходяться в межах басейну цієї річки. Проаналізовано дані за 2018 рік, щодо вмісту таких речовин у річці як: завислі речовини, фосфати, амоній сольовий, залізо загальне, біологічне споживання кисню(БСК), нітриту. Було встановлено, що такі речовини як: залізо загальне, нітриту, амоній сольовий - перевищують ГДК, а значення розчиненого у воді кисню менше норми у вересні. Досліджено вплив на біоту вище вказаних речовин та недостатнього рівня розчиненого кисню в воді.*

**Ключові слова:** гідрологічний об'єкт, антропогенний вплив, біологічне споживання кисню, амоній сольовий, нітриту, залізо загальне, розчинений у воді кисень.

*The hydrological object - the Styr River and the anthropogenic influence from enterprises located within the basin of this river are considered. The data for 2018 are analyzed for the content of such substances in the river as: suspended matter, phosphates, salt ammonium, total iron, biological oxygen consumption (BOD), nitrites. It was found that such substances as total iron, nitrites, ammonium salt - exceed the MPC, and the value of water dissolved in oxygen is less than the norm in September. The influence on the biota of the above substances and the insufficient level of dissolved oxygen in water has been investigated.*

**Key words:** hydrological object, anthropogenic influence, biological oxygen consumption, ammonium salts, nitrites, total iron, oxygen dissolved in water.

**Вступ.** Річка Стир є важливим гідрологічним об'єктом, вона протікає в межах двох країн - Білорусі та України та забезпечує водними ресурсами підприємства, приватні господарства, міста та села. Господарська діяльність, погіршує якість води та призводить до занепаду органічного світу.

**Метою даної роботи** є дослідження антропогенного навантаження на річку Стир, вплив забруднюючих речовин на біоту та встановлення можливих наслідків від забруднення.

**Матеріал і результати досліджень.** Стир належить до річкового басейну Дніпра та суб-басейну Прип'яті. На території Рівненської області протікає у двох фізико-географічних областях: Волинської височини, Волинського Полісся та, частково, Малого Полісся; на території Демидівського, Млинівського, Володимирецького та Зарічненського районів протяжністю 208 км [1].

Проаналізовано дані, щодо скиду забруднюючих речовин в річку Стир від Рівненської атомної електростанції (РАЕС) та представлено на рисунку 1 [2]. Проби води для визначення рівня концентрації забруднюючих речовин відбирались у двох пунктах: перший пункт вище м. Кузнецовськ (біля водозабору РАЕС) та другий пункт в межах с. Сопачів (нижче РАЕС).

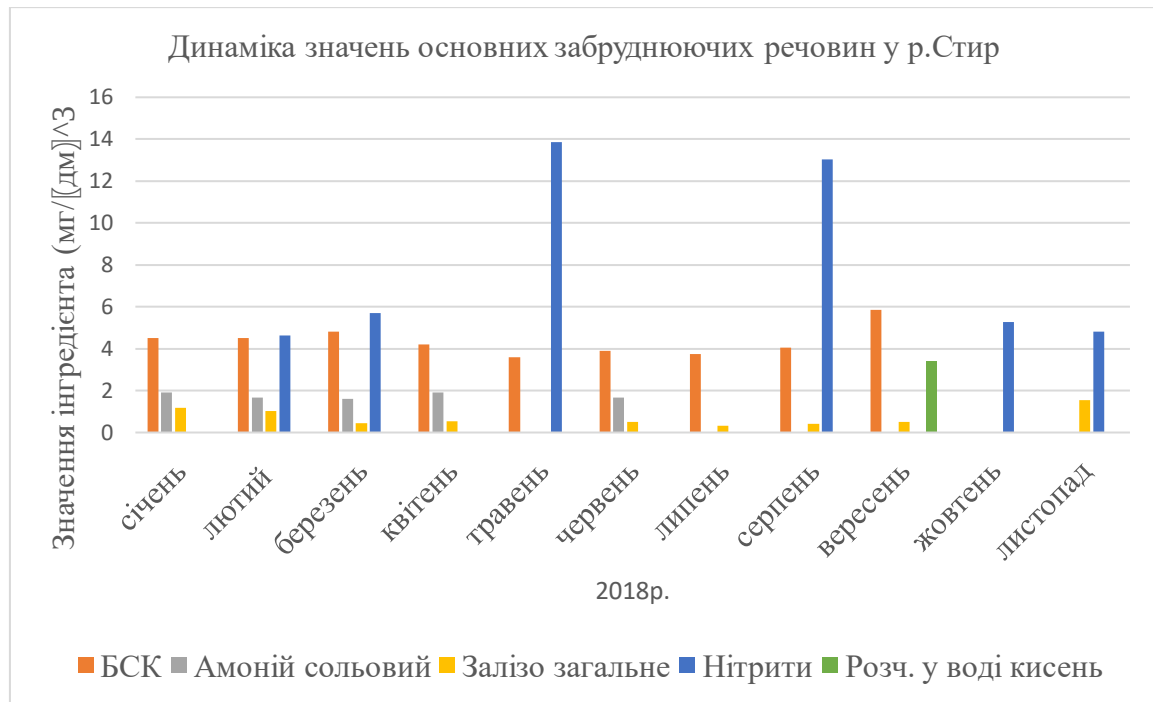


Рисунок 1-Динаміка значень основних забруднюючих речовин у річці Стир

Таблиця 1-Концентрації забруднюючих речовин в стічних водах РАЕС за 2018рік

|                          | Концентрація речовин по місяцях, мг/м <sup>3</sup> |      |      |      |       |      |      |      |      |      |      | ГДК,<br>мг/м <sup>3</sup> |
|--------------------------|----------------------------------------------------|------|------|------|-------|------|------|------|------|------|------|---------------------------|
|                          | Січ.                                               | Лют. | Бер. | Кві. | Тра.  | Чер. | Лип. | Сер. | Вер. | Жов. | Лис. |                           |
| БСК                      | 4,5                                                | 4,5  | 4,8  | 4,2  | 3,6   | 3,9  | 3,75 | 4,05 | 5,85 | -    | -    | 3                         |
| Амоній сольовий          | 1,92                                               | 1,68 | 1,62 | 1,92 | -     | 1,68 | -    | -    | -    | -    | -    | 1,2                       |
| Залізо загальне          | 1,17                                               | 1,02 | 0,45 | 0,54 | -     | 0,51 | 0,33 | 0,42 | 0,5  | -    | 1,53 | 0,3                       |
| Нітрити                  | -                                                  | 4,62 | 5,7  | -    | 13,86 | -    | -    | -    | -    | 5,28 | 4,8  | 3,3                       |
| Розчинений у воді кисень | -                                                  | -    | -    | -    | -     | -    | -    | -    | 3,4  | -    | -    | 66                        |

У вересні було зафіксовано, що вміст розчиненого у воді кисню менший за мінімальну обов'язкову концентрацію, яка може призвести до гибелі риб та позбавляючи кисню інші організми. У водоймах з великим вмістом органічних речовин більша частина розчиненого кисню (РК) споживається на БСК. При цьому збільшується кількість організмів, більш стійких до низького вмісту РК, зникають види з великою потребою в кисні і з'являються види, толерантні до дефіциту кисню. Таким чином, в процесі біохімічного окиснення органічних речовин у воді відбувається зменшення концентрації РК, і такий спад побічно є мірою вмісту у воді органічних речовин, що призводить до зменшення кількості риби [3]. Внаслідок високої концентрації амонію сольового у воді, відбувається його накопичується в тканинах і крові риб, таким чином призводить до їх загибелі.

При надходженні в організм людини нітритів у дозах, які перевищують допустимі,

виникає клінічна картина гострого отруєння, особливо у дітей до 3-х років.

Надлишок заліза збільшує ризик інфарктів, тривале вживання викликає захворювання печінки. Неприятливий вплив на слизові оболонки і шкіру, може викликати гемохроматоз та алергічні реакції.

Існує ряд способів та засобів по зменшенню вмісту вище вказаних шкідливих речовин у стічних водах. Механічне очищення стічних вод застосовують для видалення суспендованих домішок і частково колоїдів. Максимальне збільшення прозорості і значне зниження БСК досягаються у двох'ярусних відстійниках і відстійниках з преаерацією або біокоагуляцією. Застосовують біо - та аерофільтри, аеротенки, компактні установки з механічним аеруванням.

Щоб очистити стічні води від амонійних солей потрібно застосовувати біологічне очищення стічних вод. Цей метод полягає в тому, що в процесі фільтрації через ґрунт або зернисте середовище, органічні забруднення затримуються в ньому, утворюючи біологічну плівку, населену великою кількістю мікроорганізмів.

Глибоке очищення стічних вод найкраще підходить для зменшення концентрації заліза загального до ГДК. Очищення води від нітритів, проводиться за допомогою озонування, ультрафіолетового опромінення, іонного обміну, електролізу та демінералізації.

**Висновки.** Отже, було досліджено, що річку Стир забруднюють такі речовини як: залізо загальне, нітрити, амоній сольовий. Встановлено, що протягом 2018 року дані речовини перевищували значення ГДК майже щомісяця. Проаналізовано наслідки перевищення ГДК вказаних речовин у водоймі. Доведено, що одним з головних забруднювачів річки є РАЕС. Проаналізовано сучасні методи та засоби зниження вмісту даних речовин у річці Стир.

#### **Список використаних джерел**

1. Коротун І. М. Географія Рівненської області / І. М. Коротун, Л. К. Коротун. – Рівне, 1996. – 273 с
2. Доповідь про стан довкілля Рівненської області [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: [http://www.ecorivne.gov.ua/report\\_about\\_environment/](http://www.ecorivne.gov.ua/report_about_environment/)
3. Способи очищення стічних вод [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: [https://web.posibnyky.vntu.edu.ua/iebm/vaganov\\_inzhenerna\\_geologiya/13.1.htm](https://web.posibnyky.vntu.edu.ua/iebm/vaganov_inzhenerna_geologiya/13.1.htm)

УДК 574.635

А. Я. Білоус, студент  
Т. В. Гребенюк, канд. техн. наук, доцент  
Кафедра інженерної екології  
КПІ імені Ігоря Сікорського

## ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ РІЧКИ РОСЬ ЗА 2014 - 2018 РОКИ

*У даній роботі представлені результати оцінки якості води річки Рось в районі села Глибочиця на основі даних Держводагенства. Для проведення оцінки були використані дані спостережень Державного агентства водних ресурсів України в період за 2014 – 2018 рр. за основними забруднюючими речовинами.*

**Ключові слова:** річка, забруднення, вода, ресурси, екологічні показники, споживання кисню, завислі речовини, довкілля.

*In this work results of assessment of water quality of the river Ros near the village Glibochitsya on the basis of data of State water agency of Ukraine are presented. For evaluating data of observations of the State agency of water resources of Ukraine during the period for 2014 – 2018 on the main pollutants were used.*

**Key words:** river, pollution, water, resources, ecological indicators, oxygen consumption, hanged substances, environment.

**Вступ.** Річка Рось є правою притокою Дніпра. Устя її розташовано в Черкаській області, річка впадає в Дніпро на ділянці між Канівським і Кременчуцьким водосховищами.

На сьогоднішній день стан води в річці Рось не є постійним, він змінюється в залежності від обраного місця дослідження, пори року та кліматичних умов. Від витoku і майже до м. Біла Церква вода чиста не залежно від пори року. Прозорість складає до 2 метрів в глибину, а якщо напередодні не було дощів, то навіть до 6 метрів.

Проте зовсім інша ситуація нижче за течією. Уздовж річки у великій кількості побудовані греблі і споруджені водосховища, вода з яких і зараз використовується для різних господарських потреб. Через ці явища площа випаровування збільшилася. У водоймі стала значно зростати кількість синьо-зелених водоростей. Крім того, впав рівень води на один метр. В посушливі місяці, рівень води знижується до критичного [1].

Державним агентством водних ресурсів України разом з іноземними організаціями, такими як Eurasia Foundation та UKaid, було створено інтерактивну мапу, яка надає можливість отримати необхідні дані по забрудненню річок в режимі онлайн. Маючи таку можливість, можна проаналізувати стан річки Рось на ділянці біля села Глибочиця за період 2014-2018 років.

**Аналіз питання.** Одним з головних факторів, які обумовлюють гідрологічний режим річок басейну Росі є температура повітря. Характерною рисою сучасних кліматичних змін у басейні річки є загальне підвищення середньорічної температури повітря. Так, за останні роки середня річна температура приземного шару повітря зросла більш ніж на 0,5° С. Причому ця тенденція зумовлена зростанням середніх місячних температур в холодний період року. Що, в свою чергу, викликає зміни цілого ряду метеорологічних і гідрологічних характеристик басейну річки Рось.

Такі зміни водного режиму спричинені не тільки природними факторами, а і людською діяльністю. Басейн Росі відноситься до найбільш зарегульованих басейнів України, що

призвело до значного уповільнення водообміну у руслі річки.

Слід відзначити, що трансформація внутрішньорічного розподілу стоку річок басейну спричинила низку негативних гідроекологічних наслідків, які посилюються особливістю просторового розміщення ставків та водосховищ в басейні Росі [2].

**Мета роботи.** Аналіз динаміки рівня забруднення річки Рось в районі села Глибочиця Київської області на основі даних Держводагенства.

**Методики та матеріали досліджень.** Оцінку та аналіз стану забруднення водного середовища проводять, використовуючи різноманітні методи та показники. В даній роботі використані дані Державного водного агенства України за такими показниками як: нітрит-іони, хімічне та біохімічне споживання кисню, завислі (тверді) речовини, кисень розчинений та іони амонію. Перевагами оцінки якості води за цими показниками є можливість отримання повної картини стану води у басейні річки Рось та порівняння показників за певний період часу.

**Результати дослідження та їх аналіз.** Маючі дані Держводагентства [3], розглянемо показники стану води біля села Глибочиця та порівняємо їх з нормами ГДК.

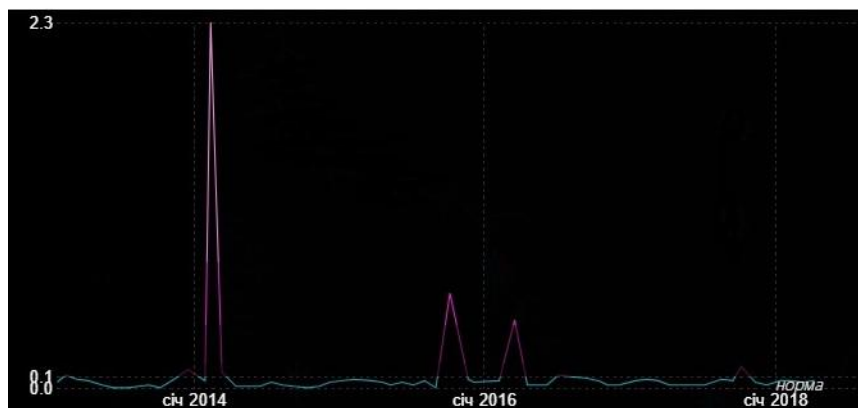


Рисунок 1. Вміст нітрит-іонів у воді

Висока концентрація нітрат-іонів свідчить про те, що у воду потрапили речовини зі стічних вод. Вони швидко розкладаються тому висока концентрація означає, що забруднення відбулося нещодавно. В такій воді легко розвиваються мікроскопічні водорості, що у теплу погоду призводить до цвітіння води.



Рисунок 2. Хімічне споживання кисню (ХСК)

ХСК – це кількість кисню, яка потрібна для того, щоб розклались сторонні речовини у воді. Таким чином вода самоочищується від забруднювачів. Якщо ХСК різко зросло, то до водойми потрапило багато брудної води.

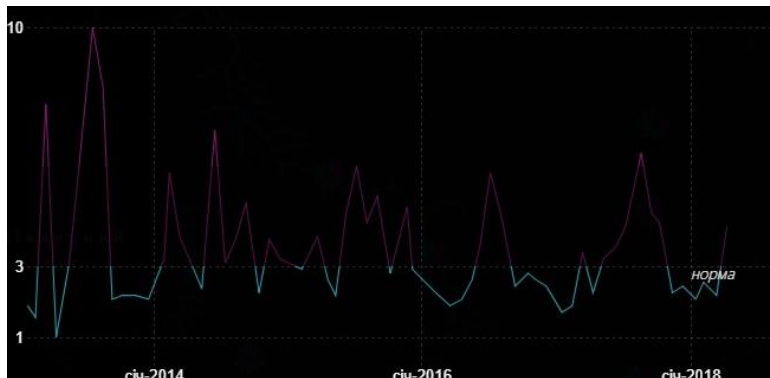


Рисунок 3. Біохімічне споживання кисню (БСК)

БСК – це кількість кисню, яка потрібна бактеріям у воді для того, щоб очистити її від органічних забруднювачів. У природних водоймах БСК низьке. Воно зростає, коли воду забруднюють каналізаційні стоки або відходи сільськогосподарських підприємств.

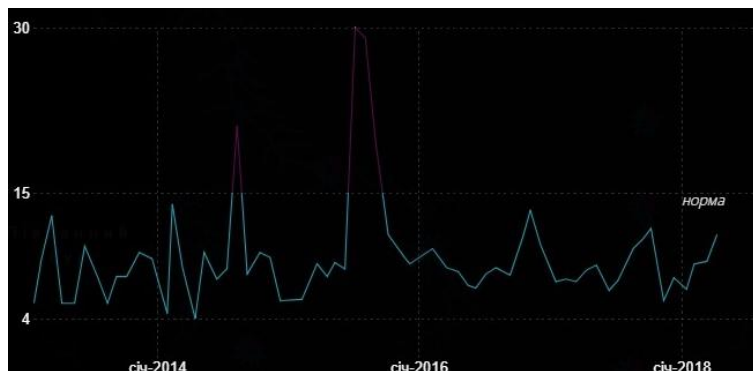


Рисунок 4. Завислі (тверді) речовини

Завислі речовини присутні в природних водоймах. Складаються з частинок глини, піску, мулу, органічних і неорганічних речовин, різних мікроорганізмів. Ці речовини впливають на прозорість води, її температуру, склад розчинених компонентів, адсорбцію токсичних речовин, а також на склад і розподіл відкладень.

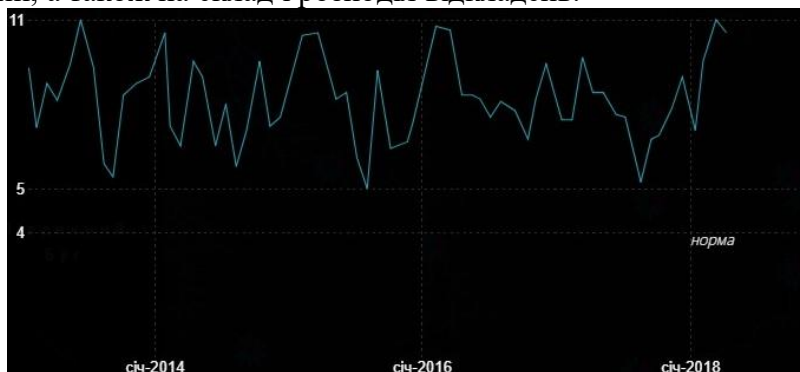


Рисунок 5. Кисень розчинений

Розчинений кисень використовує риба для дихання. Якщо його вміст падає нижче критичного показника, риба може вимирати. Рівень кисню знижується у забрудненій воді.

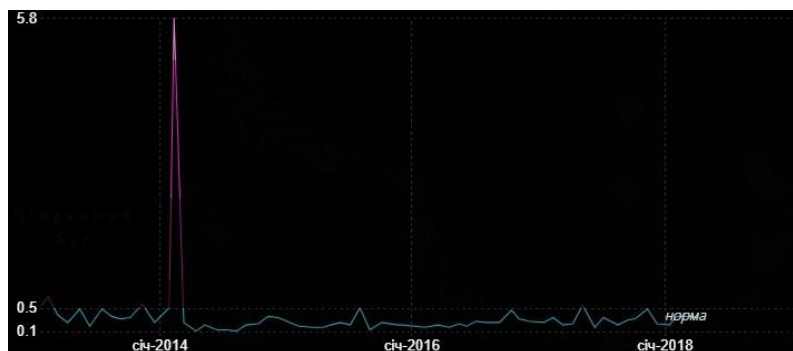


Рисунок 6. Іони амонію у воді

Іони амонію з'являються у воді, яку нещодавно забруднили органічними речовинами (зазвичай, каналізаційними стоками). В такій воді легко розвиваються мікроскопічні водорості, що у теплу погоду призводить до цвітіння води.

**Висновки.** Проаналізувавши дані Держводагентства стосовно стану води у річці Рось, бачимо, що найбільше забруднення річки відбувається саме через антропогенний фактор. Такі показники як нітрит-іони, хімічне споживання кисню, біохімічне споживання кисню та іони амонію, різко зростають при потраплянні у воду стічних вод, каналізаційних стоків, тощо. Саме ці фактори впливають на стан води у річці Рось.

Проте, одним з головних показників є кількість розчиненого кисню у воді, який свідчить про рівень забруднення води. Так як, його рівень у річці Рось вищий за норму, це показує те, що рівень забруднення води низький, адже значення повинно бути оберненопропорційним до необхідного.

Вирішено, що рішення даної проблеми потребує комплексного підходу, а саме очищення води за кожним показником окремо, аби досягти мети в цілому.

#### *Список використаної літератури:*

1. Характеристика водних ресурсів басейну річки Рось [Електронний ресурс] - Режим доступу до ресурсу: <http://buvrrosi.com.ua/harakteristika-vodnih-resursiv-basejnu-richki-ros.html>
2. Гідроекологічний стан басейну річки Рось [Електронний ресурс] - Режим доступу до ресурсу: [https://www.researchgate.net/profile/Valentyn\\_Khilchevskyi/publication/322340949\\_Hydroecological\\_state\\_of\\_river\\_basin\\_Ros'\\_-\\_Kyiv\\_Nika-Tsenr\\_2009\\_-\\_116\\_p\\_Gidroekologicnij\\_stan\\_basejnu\\_ricki\\_Ros/links/5a54ee72aca272bb69622319/Hydroecological-state-of-river-basin-Ros-Kyiv-Nika-Tsenr-2009-116-p-Gidroekologicnij-stan-basejnu-ricki-Ros.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Valentyn_Khilchevskyi/publication/322340949_Hydroecological_state_of_river_basin_Ros'_-_Kyiv_Nika-Tsenr_2009_-_116_p_Gidroekologicnij_stan_basejnu_ricki_Ros/links/5a54ee72aca272bb69622319/Hydroecological-state-of-river-basin-Ros-Kyiv-Nika-Tsenr-2009-116-p-Gidroekologicnij-stan-basejnu-ricki-Ros.pdf)
3. Карта забруднення річок України [Електронний ресурс] - Режим доступу до ресурсу: <http://texty.org.ua/water/>

УДК 574.635

Хомяк І. В., студент  
Т. В. Гребенюк, канд. техн. наук, доцент  
Кафедра інженерної екології  
КПІ імені Ігоря Сікорського

## ЗАСТОСУВАННЯ СИСТЕМИ OCEAN CLEANUP У АКВАТОРІЇ ЧОРНОГО МОРЯ

*В статті представлено американську систему по збору сміття, яка не потребує нагляду від людини та працює і переміщається лише за рахунок природних сил океану. Було проведено аналітичну роботу щодо доцільності використання такої системи у Чорному морі.*

**Ключові слова:** океан, море, течія, пластик, забруднення, сміттеві плями, сміття, система Ocean Cleanup, екосистема, морські організми, відходи, Чорне море.

*In the article it is presented the American system for garbage collecting, which does not need human control and practice and move by the natural forces of the ocean. The analytical work was made about the rationality of that system.*

**Key words:** ocean, sea, flow, plastic, pollution, garbage system Ocean Cleanup, ecosystem, sea organism, view, Black Sea.

**Вступ.** Пластик є основним джерелом глобального забруднення морського середовища. Як тільки частинки пластмасового сміття досягають морського середовища, вітер та океанічні течії можуть поширювати сміття по всьому світу. В результаті чого пластмаса розповсюджується по водному середовищу всіх світових океанів і може бути знайдена в окремих місцях, таких як Арктика, Південний океан [1,2]. Забруднення пластиком водного середовища океанів є проблемою через стійке зростання та негативний вплив на всі аспекти екосистеми. Проблема потребує комплексних рішень по відновленню навколишнього середовища в глобальному масштабі.

Забруднення пластиком океанів в останні роки отримало підвищену увагу людства. Були досягнуті значні успіхи в первинних дослідженнях, а також внесені поправки в законодавство ЄС, зокрема директива про морську стратегію. У заявах високого рівня, таких як Берлінська декларація в 2013 [3] році та заявах лідерів «Великої сімки» у 2015 [4] році, було приділено увагу до теми пластикового забруднення океану, що допомогло підняти це питання на порядок денний у багатьох країнах світу.

**Мета роботи:** провести аналітичну роботу щодо доцільності використання новітніх систем очистки вод від пластикового сміття у водах Чорного моря.

**Матеріал дослідження.** Проблеми смітєвих океанічних плям полягають у їх масштабах та можливостях розповсюдження. Океанічні течії концентрують пластик в п'яти районах світу: субтропічні круговороти, відомі також як «Океанічні смітєві плями світу». Опинившись в цих плямах, пластик сам по собі не зникне. Проблема очистки цих круговоротів – це пластичне забруднення яке поширюється на мільйони кілометрів і розповсюджується у всіх напрямках. Покриття цієї зони з використанням суден і сіток займе тисячі років і завершиться великими грошовими витратами. Але на сьогоднішній день ми можемо вже розглядати новітні винаходи для вилову океанічного сміття.

Всесвітньо відома американська компанія Ocean Cleanup розробила пасивну систему,

яка використовує природні сили океану для вилову і концентрація пластика. І пластик і система переноситься течією.

Система складається з поплавкової частини довжиною 600 метрів, що знаходиться на поверхні води і конічного 3-х метрового екрану (Рис.1) . Поплавкова частина забезпечує плавучість системи і запобігає протіканню пластика над нею, а екран зупиняє витік сміття.

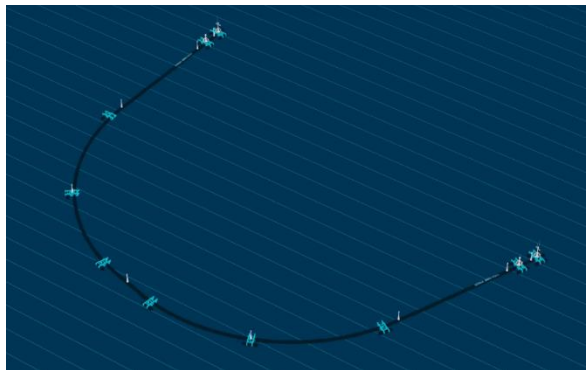


Рисунок 1. (Система Ocean Cleanup)

І пластик, і система переносяться течією (Рис.2). Проте, вітер і хвилі витісняють тільки систему, оскільки поплавкова частинна знаходиться над поверхнею води, а пластик переважно під нею. Таким чином система рухається швидше, ніж пластик, що дозволяє захопити його. Також потрібно звернути увагу на те, що ця система є безпечною для морських мешканців (Рис.3).



Рисунок 2. (Схема переміщення системи)



Рисунок 3. (Безпечність для морських істот)

По-перше системи рухаються по океану з надзвичайно низькими швидкостями – досить щоб істота відпливла. По-друге, оскільки екран непроникний, течія протікає під екраном, направляючи з собою організми, які не можуть активно рухатись, а пластик, який плаває, залишається в середині системи. По-третє, оскільки екран не є сіткою, істоти не зможуть в

ньому заплутатись [5].

Якщо розглядати акваторію Чорного моря, то проблема сміттєвих плям значно менша в порівнянні з Тихоокеанською, але все одно навіть невеликі сміттєві плями згубно впливають на екологічну ситуацію району. По даним екологічних моніторингів Чорне море знаходить на першому місці серед європейських морів по кількості сміття. Щодня у Чорне море потрапляє близько трьох тон пластикового сміття.

У воду Чорного моря сміття потрапляє разом зі стічними водами зі звалищ. У воді відбувається подрібнення пластику до дрібних частинок які проковтують риби, сміття потрапляє їх кишковий тракт, а отруйні речовини що містяться у пластику призводять до загибелі риб.

Саме тому в акваторії Чорного моря потрібно проводити регулярні очистки вод від пластмасового сміття. Взявши за приклад американське ноу-хау, ми можемо створити власну або замовити зарубіжну технологічну систему очистки поверхні води. Так як площа сміттєвих плям Чорного моря менша від океанських, ми зможемо доволі швидко та головне економно прибрати сміттєві плями.

Якщо вже починаючи з 2020 р. запуснути програму по очищенню вод Чорного моря, яку спонсуватимуть країни які мають вихід до моря, то вже в 2022 р. ми побачимо значні досягнення в питанні чистоти морського середовища (Рис. 4). Але разом с тим повинні розробляти і законодавчі бази які будуть регулювати кількість пластмасових відходів.

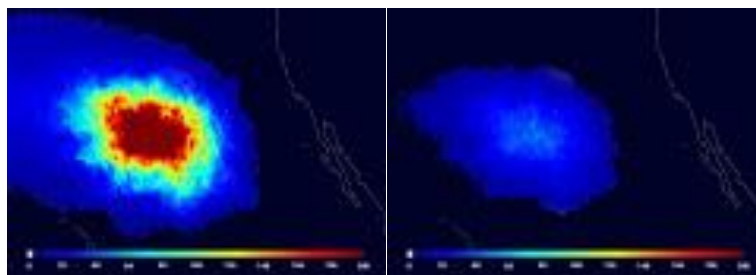


Рисунок 4. (Сміттєва пляма до очищення та після)

**Висновки.** Забруднення пластиком світових океанів є нагальною проблемою яка потребує вирішення. Вчені вже знайшли певні шляхи подолання проблеми пластикового забруднення, але для реалізації потрібно скоординовані дії в багатьох секторах та зацікавлених сторонах. Політики відіграють ключову роль у створенні необхідної законодавчої бази, яка буде сприяти скороченню кількості пластмасових відходів, а також заохочувати до очищення пластичних забруднень на берегових лініях до того, як це приведе до необернених процесів.

#### *Список використаної літератури*

1. Derraik, J.G.B. (2002) The pollution of the marine environment by plastic debris: a review. *Marine Pollution Bulletin*, 44, 842–852.
2. Thompson, R.C., S.H. Swan, C.J. Moore and F.S. vom Saal (2009), Our plastic age, *Phil Trans R Soc B*, 364(1526), 1973–1976.
3. Issue Paper to the International Conference on Prevention and Management of Marine Litter in European Seas.
4. Communiqué from Meeting of the G7 Ministers of Science, Berlin, 8-9 October 2015.
5. Технології виробництва системи "Ocean Cleanup" [Електронний ресурс]  
Режим доступу: [https://www.theoceancleanup.com/fileadmin/media-archive/Documents/TOC\\_Feasibility\\_study\\_lowres\\_V2\\_0.pdf](https://www.theoceancleanup.com/fileadmin/media-archive/Documents/TOC_Feasibility_study_lowres_V2_0.pdf)

УДК 502.3:504.5:621

Радецька О. Й., студентка  
О. Я. Тверда, докт. техн. наук, доцент  
Кафедра інженерної екології  
КПІ імені Ігоря Сікорського

## ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ТЕЦ ЗА ДОПОМОГОЮ УПРАВЛІННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ПАРАМЕТРАМИ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ЕКСЕРГО-ЕКОЛОГІЧНОГО АНАЛІЗУ

*За допомогою ексерго-екологічного аналізу визначено технологічні параметри, що здійснюють вплив на показники ресурсозбереження ТЕЦ. Обґрунтовано можливості зменшення концентрації викидів зі зміною хімічного складу палива внаслідок вприскування води, використання метанолу як добавки до ТПВ та процесу ступеневого спалювання з додатковою витратою повітря.*

**Ключові слова:** тверді побутові відходи, ресурсозбереження, теплоелектроцентрально, термічна утилізація, камера згоряння, метанол.

*The technological parameters that impact on resource conservation criteria of CHP plant were determined by using the exergo-environmental analysis. The possibility of reducing the concentration of emissions with changing the chemical composition of fuel by using water injection, adding methanol to the municipal solid waste and staged combustion process with additional airflow was confirmed.*

**Key words:** municipal solid waste, resource conservation, CHP plant, thermal utilization, combustion chamber, methanol.

**Вступ.** Необхідність в підвищенні енерго- та ресурсоефективності енергетичної галузі та дотриманні відповідних міжнародних екологічних стандартів потребує впровадження нових сучасних методів аналізу, що дозволяють оптимізувати систему, поєднуючи термодинамічні та екологічні параметри. Актуальність даного дослідження зумовлена оновленою Енергетичною стратегією України до 2035 року: “Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність”, зокрема щодо методів оптимізації енергетичного сектору.

**Мета роботи.** Підвищити рівень екологічної безпеки в районах забруднення атмосферного повітря викидами ТЕЦ.

**Матеріал і результати досліджень.** Основним компонентом, що здійснює найбільший вплив на навколишнє середовище від ТЕС або ТЕЦ, що працюють на ТПВ є камера горіння. За результатами апробації ексерго-екологічного аналізу встановлено, що вплив на довкілля через деструкцію ексергії від камери горіння ТПВ складає 37 %, а разом з газовою камерою горіння 54 % від загальної деструкції системи.

Під час спалювання ТПВ в навколишнє середовище через факельне господарство потрапляє велика кількість викидів, в основному CO<sub>2</sub> (діоксид вуглецю), NO<sub>x</sub> (оксиди азоту), NH<sub>3</sub> (аміак) та C (органічний вуглець). Концентрації діоксиду вуглецю складають найбільшу частку у відпрацьованих газах, в процесі спалювання 1 т ТПВ викидається 0,7–1,2 т CO<sub>2</sub>. Оскільки ТПВ це неоднорідна суміш, розрізняють діоксид вуглецю біогенного (деревина) та техногенного походження (пластмаса). Згідно з літературними даними частка CO<sub>2</sub>, що відноситься до техногенного походження та впливає на зміну клімату складає від 33 % до 50 % від концентрації CO<sub>2</sub> [1].

Необхідно детально розглянути процес горіння ТПВ та встановити залежність кількості

викидів, а саме  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{HCl}$  та  $\text{SO}_2$  від хімічного складу палива внаслідок додавання різних хімічних елементів, для зменшення впливу на довкілля.

З процесом урбанізації та розвитком технологій збільшується кількість синтетичних та полімерних відходів, а також небезпечних шкідливих речовин, що потребують спеціальної утилізації. Для забезпечення екологічної безпеки під час спалювання ТПВ необхідно дотримуватися низки принципів. Підтримувати задану температуру та необхідну тривалість спалювання, які залежать від типу речовин; створювати турбулентні повітряні потоки, забезпечувати повноту спалювання відходів. У зв'язку з тим, що відходи різняться за широким діапазоном фізико-хімічних властивостей та джерелами утворення, існує безліч типів обладнання та технічних засобів для спалювання [2].

Наприклад, заміна окиснювача, що подається в камеру спалювання ТПВ, з повітря на кисень пришвидшить хімічні реакції, що забезпечить зниження концентрації викидів та змінить їх склад, особливо суттєво зменшить кількість викидів  $\text{NO}_x$ . Також до сучасних технологій утилізації можна віднести спалювання сміття у псевдозрідженому шарі в присутності піску, доломітової крошки або абсорбенту. З використанням цієї технології відбувається підвищення хімічної повноти згоряння при мінімальному утворенні шкідливих речовин [3].

Для зменшення кількості викидів в процесі термічної утилізації ТПВ розглядається можливість подачі води до камери горіння, ступеневе спалювання та подача метанолу безпосередньо в камеру горіння. Додавання води до паливоповітряної суміші збільшує її теплоємність. Тому загальний рівень температури значно знижується за умови використання такої ж кількості палива. В табл. 1 наведено дані концентрацій викидів за умови подачі води до камери горіння ТПВ та вплив на загальний ККД системи.

Таблиця 1 – Концентрації викидів та ККД системи за умови різної подачі води до камери горіння

| Кількість води (1) | $\text{CO}_2$ , мг/м <sup>3</sup> | $\text{NO}_x$ , мг/м <sup>3</sup> | $\text{HCl}$ , мг/м <sup>3</sup> | $\text{SO}_2$ , мг/м <sup>3</sup> | Ефективність системи, % |
|--------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|-------------------------|
| 0 %                | 249251                            | 125,34                            | 8,26                             | 32,1                              | 47,4                    |
| 0,1 %              | 249387                            | 125,41                            | 8,202                            | 31,8                              | 47,4                    |
| 1 %                | 251687                            | 126,15                            | 8,18                             | 29,1                              | 47,4                    |
| 2 %                | 250297                            | 126,41                            | 8,03                             | 26,02                             | 47,2                    |

(1) – частка від витрати палива.

Відповідно за умови додавання 2 %  $\text{H}_2\text{O}$  від загальної витрати палива концентрація  $\text{SO}_2$  зменшиться на 19 %,  $\text{HCl}$  – на 3 %. Проте, як видно з табл. 1, є і негативні зміни. Такі як, збільшення концентрацій викидів вуглекислого газу та оксидів азоту, а також зменшення ефективності системи на 0,2 %. За умови подальшого збільшення частки води іншими негативними наслідками є неповнота згоряння, зменшення температури вихідних газів та ККД системи на 4–5 %. Аналіз таблиці показав, що найбільш доцільним є використання ТПВ з подачею до камери згоряння 2 % води.

Наступним етапом встановлена залежність зменшення концентрації  $\text{NO}_x$  та  $\text{CO}_2$  від зміни процесу на ступеневе спалювання з подачею 2 % води від витрати палива. На рис. 1 наведено залежність утворення кількості викидів вуглекислого газу та оксидів азоту від додаткової витрати повітря в камері згоряння.

Для ефективного зменшення викидів пропонується додавати метанол безпосередньо до камери згоряння ТПВ. Також метанол є ефективним засобом для охолодження камери згоряння, що збільшує термін експлуатації. Зменшення концентрацій пояснюються більш

рівномірним горінням ТПВ. Використання метанолу на підприємствах з утилізації ТПВ для процесів очищення значно зменшує викиди в довкілля та покращує екологічну ситуацію, не впливаючи на ефективність системи.

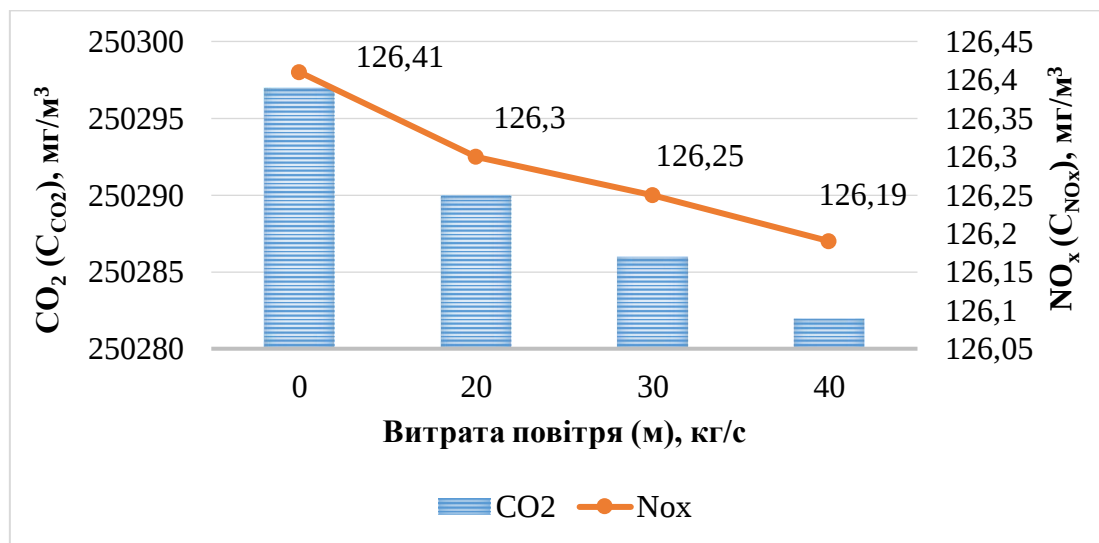


Рисунок 1 – Залежність концентрації викидів (CO<sub>2</sub> та NO<sub>x</sub>) від ступеневого спалювання (ТПВ + 2 % H<sub>2</sub>O)

Додавання метанолу до камери згоряння впливає найбільше на зменшення концентрацій викидів серед інших параметрів, що розглядалися. Тому, досліджувався еколого-економічний ефект (ЕЕЕ) використання метанолу в камері згоряння (рис. 2):

$$\text{ЕЕЕ} = \text{Дохід від продажу електроенергії} - \text{Вартість метанолу} - \text{Екологічний податок за викиди у атмосферне повітря}$$



Рисунок 2 – Залежність еколого-економічного ефекту від частки використання метанолу в камері згоряння ТПВ

В результаті дослідження встановлено, що еколого-економічний ефект зростає зі

збільшенням частки метанолу в камері згоряння ТПВ. Проте, подальше збільшення частки метанолу ( $> 10\%$ ) потребує збільшення витрати повітря для обмеження температури відхідних газів, яка знаходиться в межах  $900-1100^{\circ}\text{C}$ , для уникнення корозії в котлі, тому є недоцільним. При подальшому збільшенні частки метанолу потрібно зменшувати витрату ТПВ.

**Висновок.** Доведено, що ексергетичний аналіз дає можливість обирати параметри, зміна яких здійснює найбільший вплив на термодинамічну ефективність ТЕЦ. Визначено можливості зменшення концентрації викидів зі зміною хімічного складу палива внаслідок вприскування води, використання метанолу як добавки до ТПВ та процесу ступеневого спалювання з додатковою витратою повітря. Встановлено, що при подачі води до камери згоряння концентрація  $\text{SO}_2$  значно зменшується, при вприскуванні  $2\% \text{H}_2\text{O}$  від масової частки палива викиди діоксиду сірки скорочуються на  $19\%$ . Визначено, що ефективним методом для зменшення викидів діоксиду вуглецю та оксидів азоту є підвищення коефіцієнта надлишку повітря з використанням технології ступеневого спалювання. Виявлено, що при додаванні метанолу до камери згоряння ТПВ спостерігається більш рівномірне горіння, що призводить до зменшення всіх викидів та підвищення ефективності роботи системи. Встановлено, що найкращими технологічними умовами є додаткова витрата повітря та використання метанолу як добавки до ТПВ. Встановлено, що еколого-економічний ефект при додаванні  $\text{CH}_3\text{OH}$  зростає, тому запропоновано використання  $10\%$  метанолу від частки витрати ТПВ. При додаванні  $> 10\%$  метанолу необхідно зменшувати витрату ТПВ для правильної експлуатації котла.

#### Список використаних джерел

1. Johnke B. Emissions from waste incineration. Good practice guidance and uncertainty management in national greenhouse gas inventories. *Conference Paper, Kanagawa, Japan: Institute for Global Environmental Strategies for the Intergovernmental Panel on Climate Change*. 2002. P. 455-468. URL: <http://www.ipee-nggip.iges.or.jp/public/gp/gpg-bgp.html> (date of treatment: 20.04.2019).
2. Немировский И.А. Переработка ТБО: проблемы и достоинства. Часть 1. *Энергосбережение, энергетика, энергоаудит*. 2011. №6. С. 46-53. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/eeee\\_2011\\_6\\_9](http://nbuv.gov.ua/UJRN/eeee_2011_6_9) (дата обращения: 20.04.2019).
3. Утилизация и переработка твердых бытовых отходов: учеб. пособ. / А.С. Клинков и др. Тамбов : ФГБОУ ВПО "ТГТУ", 2015. 188 с. URL: <http://www.tstu.ru/book/elib/pdf/2015/sokolov-t.pdf> (дата обращения: 22.04.2019).

УДК 544.6.076.242

Дуднік М. О., студент  
Т. В. Гребенюк, канд. техн. наук, доцент  
Кафедра інженерної екології  
КПІ імені Ігоря Сікорського

## ЕНЕРГІЯ СОЛОНОЇ ВОДИ

*В роботі проаналізовано принцип роботи осмотичної електростанції та процес виробництва енергії завдяки градієнту солоності води. Розглянуто досвід норвезької компанії Statkraft з приводу цього питання та майбутні можливості забезпечення енергією людства при вдосконаленні системи сольової генерації електроенергії.*

**Ключові слова:** солоність, осмос, концентрація, енергія, мембрана, тиск.

*In this work the principle of osmotic power plant and the process of energy production due to the water salinity gradient are analyzed. The experience of the Norwegian company Statkraft on this issue and the future possibilities of providing human energy with the improvement of the system of salt generation of electric power is considered.*

**Key words:** salinity, osmosis, concentration, energy, membrane, pressure.

**Вступ.** Солоні вода океанів і морів має в собі величезні неосвоєні запаси енергії, яка може бути ефективно перетворена в інші форми енергії в районах з великими градієнтами солоності. Такими є гирла найбільших річок - Амазонки, Конго, Парани та ін. Осмотичний тиск, який виникає при змішуванні річкових вод із солоними, пропорційний різниці в концентраціях солей у цих водах. У середньому цей тиск складає 24 атм., а при впадінні річки Йордан у Мертве море - 500 атм [1]. При раціональному видобуванні цієї енергії людство може повністю задовольнити свої потреби в електроенергетиці, а це є одна з найбільших проблем сьогодення.

**Мета роботи.** Дослідження сольової генерації енергії, шляхом процесу осмосу, як альтернативного джерела енергії.

**Матеріал і результати досліджень.** В основу сольової генерації покладено природний процес, так званий осмос. Він широко представлений в природі, як в живій, так і в неживій. Зокрема, за рахунок осмотичного тиску соки в деревах в ході обміну речовин долають значну відстань від коренів до вершини, піднімаючись на значну висоту. Наприклад, для секвої ця висота складає близько сотні метрів. Аналогічне явище - осмос - притаманне водним об'єктам і проявляється в переміщенні молекул. Якщо в посудину з перегородкою помістити морську і прісну воду, то за рахунок різної концентрації розчинених солей з'являється осмотичний тиск і рівень морської води підніметься. Молекули води переміщуються із зони високої їх концентрації в зону розчину, де домішок більше, а молекул води менше. Перепад в рівнях води використовується звичайним чином: це знайома робота гідроелектростанцій [2].

Перепади солоності можливі в ряді випадків, в тому числі, при контакті моря чи озера з більш прісними водами - річками, лиманами і лагунами біля узбережжя. Крім того, сусідство солоних і прісних вод можливо в регіонах з посушливим кліматом, в районах розташування підземних сольових родовищ, соляних куполів, а також під морським дном. Різниця в солоності сполучених мас води може виникати штучним шляхом - в випарних водоймах, в розчинах скидів хімічної промисловості і в водних ємностях енергетичних об'єктів, в тому числі АЕС [3].

Рух іонів, як і будь-яка природна сила, може бути використана для виробництва енергії.

Класичний принцип сольової генерації передбачає облаштування проникною для іонів мембрани між прісним і солоним розчинами. При цьому частки прісного розчину будуть переходити через мембрану, тиск солоної рідини підвищується і компенсує осмотичні сили. Так як в природі надходження прісної води в річках постійне, то різниця тисків не зміниться і рух іонів буде стабільним, що запустить в хід гідротурбіни генераторів і виробництво енергії.

Можливості вироблення енергії залежать перш за все від показників солоності води, а також від рівня її витрати в річковому потоці. Усереднена оцінка солоності Світового океану становить 35 кілограмів на кубометр води. Осмотичний тиск при такому показнику досягає 24 атмосфер, що еквівалентно силі падіння води з 240-метрової висоти. Сукупне скидання води з прісних водойм в моря становить 3,7 тис. кубічних кілометрів на рік [2].

Але крім тиску ще дуже важливою характеристикою є селективність мембран і їх проникність. Адже турбіни виробляють енергію немає від перепаду тиску, а завдяки витраті води. Ось тут, до недавнього часу, існували дуже серйозні труднощі. Відповідна осмотична мембрана повинна витримувати тиск, що перевищує в 20 раз тиск в звичному водопроводі. При цьому мати високу пористість, але затримувати молекули солей. Поєднання суперечливих вимог довго не дозволяло використовувати осмос в промислових цілях.

При вирішенні завдань опріснення води була винайдена мембрана Лоеба, яка витримувала колосальний тиск і затримувала мінеральні солі і частки до 5 мікрон. Застосувати мембрани Лоеба для прямого осмосу (вироблення електроенергії) довго не вдавалося, тому що вони були надзвичайно дорогі, примхливі в експлуатації і мали низьку проникність.

Прорив у використанні осмотичних мембран настав в кінці 80-х років, коли норвезькі вчені Хольт і Торсен запропонували використовувати модифіковану поліетиленову плівку на керамічній основі. Удосконалення структури дешевого поліетилену дозволило створити конструкцію спіральних мембран, придатних для використання у виробництві осмотичної енергії. Для перевірки технології отримання енергії від ефекту осмосу в 2009 році була побудована і запущена перша в світі експериментальна осмотична електростанція [4].

Якщо застосувати для генерації 10% потенціалу найбільших річок Євросоюзу - Вісли, Рейну і Дунаю, то вироблений обсяг енергії перевищить середнє споживання в Європі втричі. При облаштуванні електростанцій в зоні впадання Дніпра у Чорне море можна буде зробити за рік 15 ТВт·год енергії. На думку фахівців норвезької компанії Statkraft, сумарний потенціал сольовий енергетики досягає 0,7-1,7 тис. ТВт·год або 10% від світових потреб. За найоптимістичнішими оцінками експертів, максимальне залучення можливостей використання солоності води дозволить отримати більше електроенергії, ніж людство споживає в даний час [2].

Незважаючи на ряд очевидних переваг, сольова енергетика має і певні недоліки, пов'язані в першу чергу з недосконалістю наявних технологій. Гостро стоїть питання про розробку ефективних фільтрів, оскільки надходить на осмотичну електростанцію вода повинна ретельно очищатися від органіки, що забиває канали, призначені для проходження іонів.

До недоліків станцій також можна віднести і географічну обмеженість можливості їх застосування, високу вартість мембран і короткий термін їх експлуатації через їх швидке забруднення [5].

**Висновок.** Проведено аналіз щодо використання такого альтернативного джерела енергії як сольова генерація шляхом осмосу. Якщо вдасться протягом найближчого часу вирішити проблему мембран для осмотичних станцій, то нове джерело енергії займе провідне місце в забезпеченні людства екологічно чистими енергоносіями. На відміну від енергії вітру і сонця, установки прямого осмосу можуть працювати цілодобово і не залежать від погодних умов.

Світовий резерв енергії осмосу величезний - щорічний скидання прісних річкових вод складає більше 3700 кубічних кілометрів. Якщо вдасться використовувати тільки 10% цього обсягу, то можна виробляти більш 1,5ТВт/год електричної енергії, тобто близько 50% європейського споживання.

Список використаних джерел

1. Солоність води як джерело енергії [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://www.novaecologia.org/voecos-2099-1.html>
2. Осмотическая электростанция: альтернативная энергия из морской воды [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://u.to/YB4wFQ>
3. Энергию из градиента солености воды [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://u.to/VR0wFQ>
4. Осмотическая электростанция: чистая энергия соленой воды [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://u.to/fB4wFQ>
5. Энергия градиента солёности [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://u.to/Qh4wFQ>

**СЕКЦІЯ 6.**  
**ОХОРОНА ПРАЦІ, ПРОМИСЛОВА ТА**  
**ЦИВІЛЬНА БЕЗПЕКА**

UDK 621.18:621.31

S.A. Gavrish

, Ph.D., Associate Professor, A.S. Gavrish, Ph.D., Associate Professor, I.V. Gaidai, student gr. TPz-71m

National technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

Heat power faculty, Department of Theoretical and industrial heat engineering

## **FIRE SAFETY DURING PREPARATION AND HOLDING FIRE WORKS IN THE CHEMICAL AND FOOD INDUSTRIES BALTIC COUNTRIES AND UKRAINE**

*Annotation – To fire works are all kinds of electric, autogenously welding, gas cutting, soldering and gasoline and gas cutting, heating (cooking) bitumen and tar and other work using open flames or heating parts ignition temperature materials and structures.*

*Key words – fire safety, fire works, autogenously welding, gas cutting*

С.А. Гавриш

, к.т.н., доцент, А.С. Гавриш, к.т.н., доцент, І.В. Гайдай, студент гр. ТПЗ-71м

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Теплоенергетичний факультет, кафедра Теоретичної і промислової теплотехніки

## **ПОЖЕЖНА БЕЗПЕКА ПІД ЧАС ПІДГОТОВКИ ТА ПРОВЕДЕННЯ ВОГНЕВИХ РОБІТ НА ПІДПРИЄМСТВАХ ХІМІЧНОЇ ТА ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ БАЛТІЙСЬКИХ КРАЇН І УКРАЇНИ**

*Анотація - До вогневих робіт належать всі види електрозварювальних, газозварювальних, газорізальних, бензогазорізальних і паяльних робіт, розігрівання (варіння) бітумів та смол, інші роботи з використанням відкритого вогню або нагріву деталей до температури займання матеріалів і конструкцій.*

*Ключові слова – пожежна безпека, вогневі роботи, електрозварювання, газорізання.*

### **Introduction**

Food and chemical industries are among the most important industries in Ukraine, Baltic countries and the whole world. Traditional technologies require a lot of fire works. Improvement of these works, especially welding, safety is very important.

### **The questions analyses**

Currently, food and chemical industries are among the most energy-intensive industries in the world. Traditional technology requires improvement of various equipment and modes of operation. Despite annual changes in Ukraine and the world, is still relevant fire works in the installation, repair, upgrade equipment, etc. [1-3]. For example, a large number of existing pipelines through which the workspaces are connected to the system, usually by welding. According to the guidelines for operation, repair and revision process piping tubes are divided into five groups (A, B, C, D, E) depending on the characteristics of the medium transported, and five categories (I - V) based on

operating parameters - temperature and pressure. Connecting pipelines one can do at individual units and aggregates.

### **The aim of this work**

Consider the types of fire works, which include all kinds of electric, autogenously welding, gas cutting, soldering and gasoline and gas cutting, heating (cooking) bitumen and tar and other work using open flames or heating parts ignition temperature materials and structures. Attention is paid to safety of these fire works.

### **The results**

Each enterprise must be set by order of procedure for the preparation and conduct of operations in fire departments, premises of the object. By conducting such operations allowed a person 18 or older who were of training, and have their performance certificate. The fire works on permanent and temporary places is allowed only after taking measures that prevent fire, turning off equipment, clean job from combustible materials, combustible protection structures and equipment, providing the primary means of fire. The type and amount of the primary means of fire at temporary locations of fire works indicated in the dress-tolerance. If placed near a fire hydrant, then to the place of work should pave the sleeve of the barrel.

Fire works for permanent carried along without registration, admission. Such places are determined by order of the company; the Commission adopted a representative of the fire protection design of the act. Act approved by the head of the company. Equipment for permanent seats of fire works must meet the following requirements:

- if not allocated a place in a separate room and a shop or other premises, it should be fenced off combustible boards height of not less than 1.8 m;
- the presence of exhaust ventilation, metal cabinets or racks for tools; ground loop;
- introductory shield power, electric transformer, ramps, devices for establishing gas cylinders daily needs and other devices must be in good condition;
- the daily need for flammable liquids necessary to perform soldering must be stored in containers that beats, and metal cabinet;
- fire panels equipped with two or more foam and carbon dioxide or a powder fire extinguisher, asbestos cloth, fire blanket, a bowl of water or a box of sand;
- do not provide for permanent seats of fire works and fire hazard fire and explosion danger areas.

In a fixed place of fire works should be available: list of approved fire works approved by the head of the company; instruction on fire safety; posters required technology of fire works. During work breaks and at the end of a shift welding equipment should disconnect from the mains, disconnect hoses and exempt from flammable liquids and gases, and the blowtorch pressure should be fully lowered. After completion of equipment and facilities should be disabled and removed.

To prevent sparks fly a way each post should raise permanent or portable fence of non-combustible materials.

One must prohibited common location indoors cylinders with oxygen, combustible gases, calcium carbide, paints, oils and fats.

When performing temporary fire works on the fire hazard equipment (fuel oil tanks, pipelines, gas distribution points, oil tubes, dairy farming steam units, generators and synchronous compensators, bunker fuel) and fire and explosion danger places where these works can not be

performed in a fixed place, dress-admission has the right to publish only the chief engineer of the power company or person who performs his duties. Dress-admission Object necessarily agrees with fire protection or fire safety service. In other temporary firing of dress-admission produce individuals with the right to issue orders.

Before fire works in fire and explosion danger areas (places) in tanks, wells and other dangerous buildings should strengthen natural and artificial ventilation with opening additional windows, hatches and other openings or installing blowing fans as well as to analyze the air for fumes with gas analyzer and monitor its condition during the execution of fire works.

Technological equipment, which provides the fire works, should be brought in fire and explosion danger state prior to the execution of these works. We must remove fire and explosion danger matter and sediments disable active communication, reduce pressure, apply the appropriate equipment, washing, etc. If the fire is expected to produce work at height, the venue of this work must be fenced and cleared of combustible materials within a radius that is shown in the table.

Table - The height of the welding point and the minimum size of protection area

|                                                                        |         |   |   |    |    |    |    |         |
|------------------------------------------------------------------------|---------|---|---|----|----|----|----|---------|
| The height of the welding point above the floor or surrounding area, m | 0 ... 2 | 2 | 3 | 4  | 6  | 8  | 10 | Over 10 |
| The minimum radius, m                                                  | 5       | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14      |

Placed within the specified radii in table structures, decking, flooring, trim and equipment that are made of flammable materials must be protected from contact with them sparks metal screens, curtains of flame-retardant insulation material or other means if necessary to pour water. It is necessary to prevent the ingress of hot metal particles in adjacent buildings on adjacent floors and is located near the equipment. Electric and Gas cutting work carried out in places of passage (passage) people should be required to fence boards a minimum height of 1.8 m from combustible material.

After the fire works Contractor shall carefully examine the place of their conduct, to eliminate possible causes of fire, if necessary, pour water place, and once the staff - check the venue of this work within 2 hours after completion. If the fire works were carried out on the fuel supply paths, the cable facilities, warehouses of combustible materials and other fire risk areas, surveillance at the place of fire works after graduation increased to 3 hours.

Installation for manual welding must be provided with a switch or contactor (for connecting welding power sources to craft a distribution network) index value of welding current and protective device in the primary circuit. Welding station motors, generators and transformers are protected by fuses only from the power supply.

Connection of welding wires should be done using grip, welding, soldering or special clamps, followed by isolation with a rubber hose. Connecting electrical wires to electro holders welding products and welding machine by using copper cable lugs fastened bolted connections. Do not use bare or damaged insulation wires and used non-standard fuses.

Wires connected to welding machines, switchboards and other equipment, to include welding must be insulated in the right places protected from high temperatures, mechanical damage and chemical effects. In the case of electric welding works related to the frequent movement of welding units, mechanically robust to be used with hoses cables. Cables of electric cars should be placed on oxygen pipelines of at least 0.5m and pipelines from acetylene and other fuel gases - at least 1,0m.

The flip conductor wire that connects the product of welding power sources can serve Steel or aluminum tires of any type, welding plates, racks, welded construction itself only if it provides a secure section for heating of current rules. Interconnect separate elements, used as a reverse conductor must comply with bolts, clamps or clips. Use as reverse internal conductor rail, grounding networks

or disable auto power sources (analog vanishing) and metal buildings, communications and process equipment is prohibited.

The design of electro welding for manual clamping must provide reliable and rapid replacement of electrodes. Electro holders' holder must be made of flame-retardant and insulating dielectric material. Electrodes used during welding must be prefabricated and meet the nominal value of the welding current. When replacing electrodes of residues (cinders) must be placed in a special metal box.

Electrical installation of all time should be grounded. In addition to grounding in basic welding equipment welding installations must be ground clamp welding transformer secondary winding, joined leader going to the product (back conductor). Heating temperature of individual parts of the welding unit (transformer, brushes, contacts second circle and so on.) should not exceed 75 °C. Insulation resistance conductive parts of the welding range should not be lower than 0.5 M Ohm.

Over portable and mobile Electrical installations used outdoors should build sheds of non-combustible material to protect from rain.

During autogenously welding Gas cutting work and mobile (portable) acetylene generators should be installed outdoors. Allowed temporary work one can do in areas that are well ventilated. Acetone and enclose generators should be placed at a distance of at least 10m from areas of welding, from open flames, heating objects, places or air intake fans and compressors at a distance of at least 5m from cylinders of oxygen and combustible gases. In the field of installation should hang warning signs (posters) with the words "Trespassing", "Flammable", "Do not pass the fire". Appropriate inscriptions for the Baltic countries are in Estonian - "Ligipääs keelatud", "Tuleohtlikud", "Ärge andke tuld"; in Latvian - "Robežu pārkāpšanu", "Viegli uzliesmojošs", "Nedodiet uguns"; in Lithuanian - "Įsibraunant srityje", "Degus", "Duoti negalima ugnį".

Fixing of connecting the gas hose to the nipples equipment, torches, cutting torches, reducers performed by special clamps. You attach hose clamps in place in at least two locations along the nipple soft knitting wire.

After completion of calcium carbide in a portable generator should be used fully, lime sludge is removed in a container adapted and merged in silt pit or a special bunker. Open pit must enclose the sludge, and should have closed incombustible covering and ventilation equipment and hatches to remove silt. Smoking and use of open flames within a radius of 10m of silt storage is prohibited. Particular attention should be paid to preventing casting and storage of fuel adherence cutting.

Reheating (cooking) bitumen and tar should be carried out in special boilers. Fill boilers are allowed no more than 3/4 of their volume. The filler loaded in the pot must be dry. The boiler need to be installed with a slope so that its edge is located above the furnace was 50 ... 60mm above the opposite. Boiler furnace after work should pay off and cover with water. By placing bituminous outdoor boiler above it is necessary to establish ball from noncombustible materials. It is strictly forbidden to place bitumen boilers combustible roofs of houses.

Nearby heating (cooking) bitumen and tar must be carried in the shaft or a side of non-combustible materials a minimum height of 0.3 M; provide them with sand box capacity 0,5m<sup>3</sup> shovel and at least by 2 fire extinguishers. The seats are placed in designated areas away from buildings IV; IV a; In the fire resistance - not less than 30m; III; And III; B III degree of fire resistance - not less than 20m; I and II degree of fire resistance - 10m.

## Conclusions

1. Consider the types of fire works, which include all kinds of electric, autogenously welding, gas cutting, soldering and gasoline and gas cutting, heating (cooking) bitumen and tar and other work using open flames or heating parts ignition temperature materials and structures.

2. The following procedure for preparation and holding fire works in shops, premises of the enterprise (object) and hardware requirements are considered permanent places of work.

3. Analyzed requirements and operating features portable and mobile electric welding, gas-welding and Gas cutting plants, and more.

4. Attention is paid to safety donkey ending fire works: Contractor shall carefully examine the place of their conduct, to eliminate possible causes of fire, if necessary, pour water place, and another staff must validate the venue of these activities during the specified period of time after graduation.

5. Materials paper can be used in the preparation section "Health and safety in emergency situations" in benchmark studies bachelors and masters theses as professional and scientific guidance.

### Literature

1. S. Gavrish Occupational safety in power: textbook. / S.A. Gavrish, A.S. Gavrish. - K.: Talcom, 2015. – 577 p. - ISBN 978-617-7133-82-6. – The Winner of “Professional competence textbook nomination” of The II International Professional High School Teachers Competition: Professional Education Competences Forming – 29 December 2017.

2. S. Gavrish Safety in telecommunications: textbook. / S.A. Gavrish, A.S. Gavrish. - Kind. 2nd, be refurbished and fulfill. - K.: Talcom, 2014. – 469 p. - ISBN 978-617-7133-39-0

3. Demidenko G.P. Safety: Training and Guidance. / G.P. Demidenko. - K.: NTUU "KPI", 2008. – 300 p.

UDK 621.18:621.31

S.A. Gavrish

, Ph.D., Associate Professor, A.S. Gavrish, Ph.D., Associate Professor,  
L.H.A. Gallegos, student gr. TP-71mp

National technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"  
Heat power faculty, Department of Theoretical and industrial heat engineering

### SAFETY OF CARGO HANDLING IN ECUADOR AND UKRAINE

*Annotation – There was considered some safety features of security handling mechanized way by means of lifting and handling equipment and means of mechanization. Also there were examined safety features handling during lifting and moving loads by hand works.*

*Key words – safety, cargo handling and safety features.*

С.А. Гавриш

, к.т.н., доцент, А.С. Гавриш, к.т.н., доцент, Л.Х.А. Гальегос, студент гр.  
ТП-71мп

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Теплоенергетичний факультет, кафедра Теоретичної і промислової теплотехніки

### БЕЗПЕКА ВИКОНАННЯ ВАНТАЖНО-РОЗВАНТАЖУВАЛЬНИХ РОБІТ В ЕКВАДОРИ І УКРАЇНИ

*Анотація – Розглянуті деякі особливості безпеки вантажно-розвантажувальних робіт механізованим способом за допомогою підіймально-транспортного обладнання та засобів малої механізації. Також були проаналізовані особливості безпеки вантажно-розвантажувальних робіт під час піднімання і переміщення вантажів вручну.*

*Ключові слова – безпека, вантажно-розвантажувальні роботи, особливості безпеки.*

## **Introduction**

Food and other important industries demands a lot of cargo handling at Ukraine and Ecuador. Among them there are some questions of handling mechanized way by means of lifting and handling equipment and means of mechanization. They require features of security and safety features handling during lifting and moving loads by hand. Some peculiarities apply to safety handling when using road and electrified and not electrified rail transport on land and in ports.

## **The questions analyses**

Handling perform under the direction of a designated technical officers, which defines safe means of handling and transportation and is directly responsible for the observance of safety rules for their implementation [1-3]. Perform the following work on a firm and level ground. Dimensions define areas depending on the nature of the work, vehicles and security requirements. To allow the performance of people at least 18 years, trained and testing of safe working methods.

Handling performs mechanized way by means of lifting and handling equipment (cranes, forklifts, etc.) and means of mechanization (blocks, hoists, winches, jacks, etc.).

## **The aim of this work**

Consider the types of some questions of handling mechanized way by means of lifting and handling equipment and means of mechanization. Cargo handling includes all kinds of safety features during lifting and moving loads by hand. Some specialties are considered for safety handling when using road and electrified and not electrified rail transport on land and in ports.

## **The results**

Powered way of handling is mandatory for cargo weighing more than 50 kg. When lifting loads to a height of three meters. The work performed in accordance with technological maps, projects, guidelines and regulatory technical documents where there are security requirements for their conduct. On the ground works hang scheme slinging loads, table's allowable height of stacks, sizes passages and passages between the stacks. All lifting devices must be signs of the breaking load and the date of the next test. Assistive devices should be on mark. Lifting gear and auxiliary facilities (power, cables, etc.) that used during lifting operations must meet on its carrying capacity lifting cargo.

Handling of pulverized material is usually performed in a mechanized way. If these works provide manual workers overalls, respirators and goggles against dust.

When lifting and moving loads manually one should follow the rules of movement of goods. Limits the transfer of cargo hand flat horizontal surface per employee may not exceed: Men - 50 kg; for women:

- for lifting and transporting loads in case of alternation with other work (up to 2 times per hour)

- 10 kg;

- for lifting and transporting loads continuously throughout the working shift - 7 kg;
- the total weight of the cargo that moved during each hour of the shift should not exceed 350 kg of the work surface and 175 kg from the floor.

In a lot of cargo, raising and transporting, ranked lot of packaging. Wrap stretcher materials allow a maximum distance of 50 m horizontal surface. During loading and unloading of goods from vehicles by hand is prohibited to use the board thickness of less than 50 mm.

In case of any lifting devices (rollers, ladders, wheelbarrows, ropes etc.) and crow, shovels, etc. one should be checked for damage before starting the work. Wrap the load on the staves shovels, etc. crow prohibited. Piece cargo after loading the vehicles and fix set so as to avoid displacement during transport. Load height must not exceed the total height of passages under bridges and in tunnels. The load should not exceed the stability of the vehicle. If the load is raised above the roadway more than 3.8 m or advocates point rear dimensions of vehicles over 2 m, its transportation agree with appropriate road maintenance and municipal organizations. Concluded by materials should not have parts that stick out. All workers who perform handling should use gloves.

During handling using excavators, cranes, forklift drivers and prohibited employees who accompany the goods to be in the cockpit is not equipped with a protective visor. Do not go under grabs, Jib cranes and machines, railway tracks, routes and mechanisms of cranes, scrapers moving in the area.

When unloading bulk cargo on platforms and tracks concluded at a height hatches cars, containers need to open special bridges and close them - with special hatch lifting. When you open the hatches, doors and sides should be possible fall outside the cargo or the possible impact or a side hatch. To go with the cars on the handling platform, a storage room and back staircase must install corrugated iron or boards that must comply with current building codes. Move cars or platforms along the front unloading (loading) should locomotives, pushers and shunting winches. Perform this work manually using the simplest of applications (hand winches, handspike etc.) permitted in exceptional cases and only along the horizontal section of track. In the case of cars should not be dangerous goods, and limited number of cars loaded one or two empty necessarily coupled cars. Move the hand is permitted at a distance not exceeding the length of the car, and under the direct supervision of a designated employee.

On electrified railways climb on the roofs of cars, tanks, loaded platforms and containers gondola to perform any work permitted only after turning off the contact network and its grounding. During the handling on the open rolling tier near the electrified railways is necessary to ensure that workers and tools which they use and products that are loaded (discharged) were farther than 2 m from conductive parts of a contact network energized. Work on rolling tier, located at a distance of 2 to 4 m from conductive parts of a contact network are allowed to carry without removing voltage and ground contact system, but under the supervision of a designated employee. For greater distance from conductive parts surveillance is needed. Unload tanks under wires contact network is prohibited. Drain the tanks of dangerous goods, or dumping them in containers should compliance with relevant safety requirements.

Bottles should be transported in baskets or wooden crate that meets safety requirements. Not allowed to put baskets or patches of bottles at each other (in 2 layers) without solid gaskets that protect the lower tier of breakage during transport. Bottles should be installed in the back of the car and tightly closed. The filled bottle must carry two employees. At short distances and stairs are allowed to carry two bottles of employees in baskets only after preliminary verification basket bottom for durability. One allowed carrying bottles in special carts.

When one performs handling of heavy loads and long stay workers in the back of the vehicle is prohibited.

Areas for intermediate storage of goods should be placed at a distance of more than 2.5 meters from the railway tracks and roads.

Not allowed simultaneous unloading of vehicles or platforms and cleaning (moving to another location) previously lowered loads.

When one install vehicle to perform the handling steps he must be taken to prevent unauthorized movement of vehicles. The drivers (drivers) of all types of vehicles and mechanisms required to perform signal "Stop", whoever submitted.

Workers should carry serviceable specially designed for this vehicle. Not allowed to carry out their stall dump trucks, cars, tanks, tractors, self-propelled machinery, cargo trailers, cargo scooters, etc., construction of which is not suited for transportation workers.

### **Conclusions**

1. The features of security handling mechanized way by means of lifting and handling equipment and means of mechanization.
2. These safety features handling during lifting and moving loads by hand.
3. Analyzed limits the transfer of cargo hand flat horizontal surface per employee for men and women.
4. Attention is paid to safety handling when using road and rail transport on land and in ports. Selected features for electrified and not electrified sections of railways.
5. Materials paper can be used in the preparation section "Health and safety in emergency situations" in benchmark studies and Master's thesis taking into account relevant topics.

### **Literature**

1. S. Gavrish Occupational safety in power: textbook. / S.A. Gavrish, A.S. Gavrish. - K.: Talcom, 2015. – 577 p. - ISBN 978-617-7133-82-6. – The Winner of “Professional competence textbook nomination” of The II International Professional High School Teachers Competition: Professional Education Competences Forming – 29 December 2017 – According to Project “Education on-line”.
2. S. Gavrish Safety in telecommunications: textbook. / S.A. Gavrish, A.S. Gavrish. - Kind. 2nd, be refurbished and fulfill. - K.: Talcom, 2014. – 469 p. - ISBN 978-617-7133-39-0
3. Demidenko G.P. Safety: Training and Guidance. / G.P. Demidenko. - K.: NTUU "KPI", 2008. – 300 p

