



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
УКРАЇНИ
“КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ
ІНСТИТУТ”

Інститут енергозбереження та енергоменеджменту



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

ЕНЕРГЕТИКА. ЕКОЛОГІЯ. ЛЮДИНА

(ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ)

**Київ
2016**

Енергетика. Екологія. Людина. Наукові праці НТУУ «КПІ», ІЕЕ. – Київ: НТУУ «КПІ», ІЕЕ, 2016. – 375 с.

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

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

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

Організаційний комітет: Денисюк С. П., д.т.н., професор, директор ІЕЕ НТУУ «КПІ»; Гайко Г.І., д.т.н., професор, заступник директора ІЕЕ НТУУ «КПІ»; Розен В. П., к.т.н., професор, зав. кафедри АУЕК; Кравець В. Г., д.т.н., професор, зав. кафедри ГТіБ; Дешко В. І., д.т.н., професор, зав. кафедри ТЕ; Шевчук С. П., д.т.н., професор, зав. кафедри ЕМОЕВ; Ткачук К.К., д.т.н., професор, зав. кафедри ІЕ; Левченко О. Г., д.т.н., професор, зав. кафедри ОППЦБ.

Відповідальний секретар: Оборонов Т. Ю., асистент

Адреса організаційного комітету:

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

Інститут енергозбереження та енергоменеджменту

Тел./факс: (044) 406 83 08, 456 96 89

conference_eel@ukr.net

© Національний технічний університет
України «КПІ», 2016

ПЛЕНАРНЕ ЗАСІДАННЯ

Сучасний стан розвитку вугільної галузі України <i>Бондаренко В.І., Малашкевич Д.С.</i> ...8	8
Екологічні аспекти процесу селективної масляної агрегації вугілля. <i>Білецький В.С.</i> ...17	17
Вплив відпору охоронних конструкцій на стан виробок, що використовуються вдруге. <i>Баришніков А.С., Халимендик Ю.М., Бруй А.В., Заболотна Ю.А.</i> 21	21
Моніторинг геомеханічного стану тектонічно порушеного масиву при будівництві Бескідського тунелю <i>Стовпник С.М.</i> 28	28
Розробка довгострокових програм стійкого розвитку вітчизняних гірничорудних підприємств в умовах економічної нестабільності. <i>Темченко О.А.</i> 38	38
Особливості родовищ газових гідратів при їх розробці в різних гірничогеологічних умовах. <i>Максимова Е.О.</i> 46	46
Визначення технологічних параметрів кріплення виробок в умовах взаємовпливу очисних робіт на зближених пластах. <i>В.А. Соцков</i> 52	52
Дослідження інтенсивності зношування матриці композиційного алмазовмісного матеріалу при зміні конструкції бурових коронок. <i>Виноградова О.П.</i> 57	57
Методологічні аспекти визначення токсичності зварювальних аерозолів. <i>Левченко О.Г., Демецька О.В.</i> 62	62
Термoeкономічне обґрунтування теплонасосної системи теплозабезпечення із урахуванням мінливості погодно-кліматичних факторів, цін та характеристик будівлі. <i>Волощук В.А.</i> 67	67
Призначення процедур комплексного контролю рівня ефективності енергоспоживання об'єктів водопостачання в системі енергоменеджменту водопостачального підприємства <i>Давиденко Л.В., Давиденко В.А.</i> 73	73
Використання методу багатокритеріального мажоритарного рейтингування в задачах бенчмаркінгу енергоефективності водогосподарств України. <i>Давиденко Л.В. Клименко М.Б.</i> 79	79
Дослідження нерівномірності добових графіків водоподачі в системі комунального водопостачання <i>Давиденко Н.В.</i> 83	83
Ексергетична модель теплового комфорту людини в зимовий період <i>Буяк Н.А., Дешко В.І.</i> 89	89
Новий спосіб вентиляції автомобільних тунелів як складова вирішення екологічних проблем великих міст. <i>Гайко Г.І., Сіверін М.М.</i> 96	96

СТАЛІЙ РОЗВИТОК ЕНЕРГЕТИКИ

Дослідження ефективності використання різнотипних систем опалення <i>Ковальчук А.М., Савченко Л.Ю.</i>	100
Підвищення ефективності роботи енергетичних компаній згідно вимог концепції «SmartGrid» <i>Тарануха В.В.</i>	103
Загальні особливості та перспективи вдосконалення енергопостачання мегаполісів <i>Чайковський С.І.</i>	106
Тренажер оперативних перемикачів первинної мережі електричної підстанції зі схемою «чотирикутник». <i>Шляхецький Б.В., Панов А.В., Танкевич Є.М.</i>	109
Застосування генетичних алгоритмів для вибору споживачів-регуляторів <i>Шкрібтій М. В, Калінчик В.П.</i>	115
Автоматизована система контролю якості електроенергії у вузлі навантаження <i>Прокопенко В.В., Босенко О.А.</i>	119
Побудова людино-машинних процедур оперативного управління режимами електроспоживання промислових підприємств. <i>Іваник А.Є. Калінчик В.П.</i>	123
Види бівалентних режимів роботи. <i>Верба М.</i>	127
Визначення оптимального місця розташування джерел розосередженої генерації за допомогою методів багатокритеріального прийняття рішень <i>Сподинська А.В., Степанель Я.І., Попов В.А.</i>	132
Прогнозування залишкового ресурсу асинхронних двигунів <i>Закладний О.О., Прядко С.Л., Брижіцький Є. Г.</i>	137

ЕНЕРГЕТИЧНИЙ МЕНЕДЖМЕНТ ТА ІНЖИНІРИНГ

Дослідження впливу вітрових потоків на тепловтрати будівлі <i>Старовойт О.В., Дубровська В.В., Шкляр В.І.</i>	143
Energy performance of ventilation system heat recovery <i>Nguen Van Phuc, Sukhodub Iryna, prof. Deshko V.I.</i>	148
Дослідження пасивної системи опалення зі стіною тромба-мішеля <i>Губська О.В., Дубровська В.В., Шкляр В.І.</i>	155
Практичне дослідження енергоефективності будинків житлової сфери <i>Яцименко С.П., Єщенко О.І.</i>	162
Аналіз роботи сонячних колекторів різних типів та визначення оптимальної площі геліополя. <i>Бондаренко В.В., Студенець В.П.</i>	165

Дослідний стенд «сонячний імітатор – двигун стірлінга» з рекуперацією відведеної теплоти <i>Яковенко С.О., Студенець В.П.</i>	174
Вплив електрофізичних властивостей на ефективність розщеплення води. <i>Гетманчук Г.О., Константинов С.М.</i>	181
Моделювання переривчастого опалення будівель <i>Білоус І.Ю., Жижжа М.І., Дешко В.І.</i>	185
Розрахунок теплоспоживання місць загального користування житлових будівель <i>Ярмоленко Є. Задвернюк В.В.</i>	191
Порівняльний аналіз методів опалення житлових приміщень за допомогою теплої підлоги <i>Оборонов Т.Ю., Терезюк А.М.</i>	194
Ефективність дослідницької установки «офсетний концентратор – двигун Стірлінга – електрогенератор» з рекуперацією відведеної теплоти <i>Яковенко С.О., Студенець В.П.</i>	198
Вплив інтенсивності сонячної радіації на ефективність роботи теплового насоса. <i>Олейник Н.В., Задвернюк В.В.</i>	209

СУЧАСНІ СИСТЕМИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЮ ЕНЕРГІЄЮ

Забезпечення електромагнітної сумісності в мережах низької напруги України з нелінійними споживачами <i>Замулко А.І., Сайчук Ю.С.</i>	219
Економічні аспекти електропостачання споживачів в умовах нормування показників надійності і застосування розосередженої генерації <i>Ткаченко В.В., Шпак Д.В.</i>	223
Модель застосування системи критеріїв оцінки рівня енергоефективності енергетичної системи. <i>Василенко В.І., Денисюк С.П.</i>	227
Економіко-технологічна платформа управління режимами мікромереж <i>Попов В. А., Замковий П.О.</i>	232
Інтелектуальні електронні пристрої для цифрової підстанції <i>Побігайло В.А., Матвеев С.Ю.</i>	237
Багатокритеріальний підхід для оперативного розподілу навантаження між окремими джерелами автономної мікромережі <i>Ярмолюк О.С., Замковий П.О.</i>	239
Аналіз обмінних процесів в системах зі складними видами сигналів <i>Денисюк С.П., Горенко Д.С.</i>	245
Побудова електробалансів котельних з застосуванням ймовірісно-статистичних методів. <i>Находов В.Ф., Бориченко О.В., Іванько Д.О., Ройтер А.В., Пахарев Ю.В.</i>	249

Вплив якості напруги живлення на термін служби асинхронних двигунів <i>Закладний О.О., Прядко С.Л., Смоляр М.Ф., Куць В.Г.</i>	258
Методика побудови електричних балансів промислових установок та оцінка їх втрат. <i>Дейко Б.В., Іншеков Є.М.</i>	261
Оценка дополнительных затрат энергосистемы на покрытие неравномерных графиков электрической нагрузки <i>Находов В.Ф., Замулко А.И., Мохаммад Аль Шарари, Мединцева Д.А.</i>	265
Застосування маневрового режиму аес для зменшення нічного провалу електроспоживання <i>Соколовський П.В., Соколовська О.М., Басок Б.І.</i>	269
Експериментальні дослідження сонячного випромінювання для кліматичних умов міста Києва <i>Соколовська О.М., Соколовський П.В., Басок Б.І.</i>	274

ІНЖИНІРИНГ ТА АВТОМАТИЗАЦІЯ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ КОМПЛЕКСІВ

Параметричний синтез системи керування технологічними параметрами насосних установок. <i>Торопов А.В., Капуста А.В., Романенко А.С.</i>	276
Моделеорієнтоване керування насосними агрегатами на базі програмованих логічних контролерів стандарту мек61131. <i>Торопов А.В., Романенко А.С.,</i>	279
Контроль стану асинхронних електродвигунів при їх експлуатації. <i>Дубовик В.Г., Лебедев Л.Н., Брагина Л.Е., Гетьманцев Д.Р.</i>	282
Трифазний пристрій очищення трьох труб від асфальтосмолопарафінових відкладень. <i>Дубовик В.Г., Лебедев Л.М., Докинина С.Ю., Стасюк І.К.</i>	287
Особливості струмового захисту електродвигуна з урахуванням його теплового стану. <i>Дубовик В.Г., Лебедев Л.М., Александрова І.В.</i>	293
Порівняльний аналіз методів прогнозування споживання електроенергії виробничих систем. <i>Розен В. П., Демчик Я.М.</i>	297
Застосування нейронних мереж у виробництві бетону. <i>Тишевич Б.Л., Марченко А.А.</i>	304
Інтелектуальна система управління швидкістю для електроприводів з синхронним двигуном. <i>Тишевич Б.Л., Мугенов Д.Д.</i>	308
Електрифікація та автоматизація системи водопостачання. <i>Шевчук Н.А., Дацьо Ю.Ю.</i>	312

МЕХАТРОНІКА ЕНЕРГОСМНИХ ВИРОБНИЦТВ

Дослідження магнітно вибухових генераторів руйнування гірських порід. <i>Терентьев О.М., Гаращенко Г.С.</i>	314

Електромеханічні процеси автономного асинхронного генератора з турбодетандером станцій газотранспортування <i>Муравинець Н.В.</i>	318
Модернізація пневмомеханічного гасника гідроударів у високонапірних трубопроводах <i>Лістовиць Л. К., Лопатіна Д.Ю., Носальська О.Є.</i>	321
Вдосконалення пристрою для гасіння коливань тиску рідини <i>Л.К. Лістовиць, О.Є. Носальська, Д.Ю.Лопатіна</i>	326
Впровадження ресурсоефективного виробництва на підприємствах галузі будівельних матеріалів <i>Ворфоломєєв А.В.</i>	332

ІНЖЕНЕРНА ЕКОЛОГІЯ ТА РЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯ

Вдосконалення очистки стічних вод від нафтопродуктів. <i>Левін О.В., Броницький В.О.</i>	338

ОХОРОНА ПРАЦІ, ПРОМИСЛОВА ТА ЦИВІЛЬНА БЕЗПЕКА.

Використання методу головних компонент у дослідженні виробничого травматизму України <i>Ільчук О.С.</i>	342
Захисні заходи та дотримання норм охорони праці на підприємстві при бурінні свердловин для забезпечення або зниження пожежонебезпеки і вибухонебезпечності <i>Магеровський І.Т., Козлов С.С.</i>	349

УДК 622.3

Бондаренко В.І., д-р техн., наук, професор,
завідувач кафедри підземної розробки родовищ
Малашкевич Д.С., аспірант кафедри підземної розробки родовищ
ДВНЗ «Національний гірничий університет»

СУЧАСНИЙ СТАН РОЗВИТКУ ВУГІЛЬНОЇ ГАЛУЗІ УКРАЇНИ

Анотація. У статті представлено аналіз сучасного стану вугільної галузі України та перспективи її розвитку до 2020 року. Проведено аналіз поточного стану шахтного фонду України. Наведено статистичні дані валового видобутку вугілля підприємствами державної та недержавної форм власності. Розглянуто причини низької рентабельності і падіння вуглевидобутку в країні. Викладено результати досліджень зольності вугілля, утворення та накопичення вуглевідходів. Виділено основні пріоритетні напрямки ефективного використання енергоресурсів і зниження екологічного навантаження на вуглевидобувні регіони.

Findings. In the article, the analysis of the current state of Ukraine coal mining industry and outlook for its developments for the period until 2020 are presented. The analysis of the conditions of Ukraine mine fund is carried out. Statistical data of gross coal production of the governmental and non-governmental forms of ownerships are given. The reasons of low profitability and coal production decline in the country are considered. Research results of the ash content of coal production, formation and accumulation of mine waste are stated. The main promising trends of sufficient energy resources use and reduction of environmental impact on coal-mining regions are emphasized.

ВСТУП

В даний час у зв'язку з геополітичною ситуацією в Україні надзвичайно актуальним і по суті відкритим питанням є поточний стан і положення вугледобувної галузі нашої країни. Військові дії на сході України паралізували роботу значної частини вітчизняних підприємств. Дефіцит виробничих потужностей вугільних шахт відбився на роботі теплової енергетики, металургії та інших галузях економіки. Нинішня непроста ситуація в енергетичному секторі підвищує роль і значення українського вугілля як гаранта енергетичної незалежності держави.

Мета статті – аналіз сучасного стану та перспективи розвитку вугільної галузі України.

СУЧАСНИЙ СТАН ВУГІЛЬНОЇ ГАЛУЗІ

Ресурси кам'яного вугілля. Україна є країною в надрах якої залягають величезні запаси вугілля всіх марок. За даними Державного департаменту США з питань енергетики [1] доведені запаси вугілля в Україні становлять 33,9 млрд. т і займають близько 4% від загальносвітових запасів цього виду палива, з яких 15,4 млрд. т – антрациту і бітумінозного вугілля, 18,5 млрд. т – бурого вугілля (рис. 1). За оцінками українських геологів надра нашої країни можуть містити більше 110 млрд. т вугілля. В даний час, на діючих шахтах промислові запаси становлять близько 6,5 млрд. т.

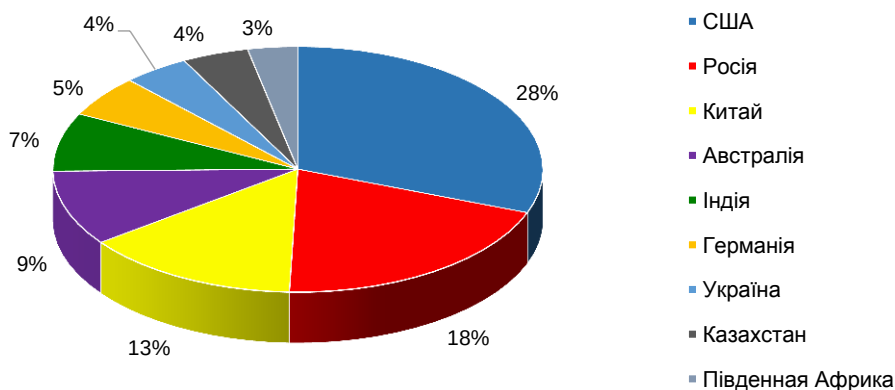


Рисунок 1. Світові запаси вугілля

На території України знаходяться три вугільних басейна – Донецький, Львівсько-Волинський і Дніпропетровський, найбільшим з яких є Донецький басейн (де зосереджені 85% вугільних ресурсів України). Структура запасів енергоресурсів України зображена на рис. 2.

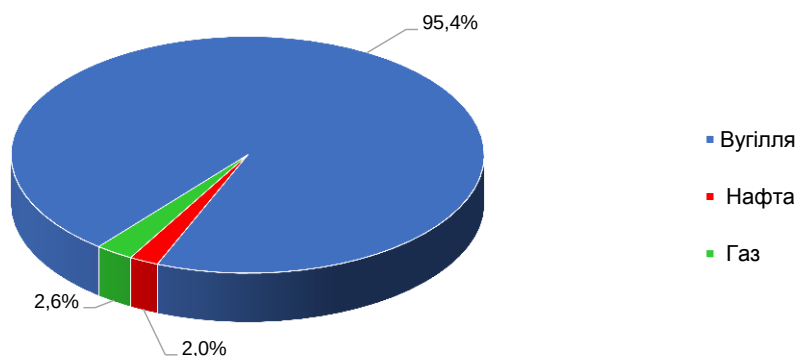


Рисунок 2. Структура запасів енергоресурсів України

Вугільні родовища характеризуються дуже складними гірничо-геологічними умовами розробки. Із загальних ресурсів кам'яного вугілля більше 60% знаходяться на глибинах понад 900 м, а максимальна глибина розробки перевищила 1500 м. Недоліком ресурсів українського вугілля є мала потужність пластів, середня величина яких складає 1 м. У структурі запасів вугілля на частку пластів потужністю понад 1,2 м припадає лише 20,4%, на тонкі (0,71-1,2 м) – 74%, в тому числі на вельми тонкі (менше 0,7 м) – 33,3% [2]. Це найнижчий показник серед вугільних родовищ, які експлуатуються в розвинених країнах світу. Також значні ризики при видобутку вугілля створює висока метановість пластів.

Низькі споживчі якості визначаються високою зольністю на рівні 40% і вмістом сірки 1,5-2,5%, що вимагає додаткових технологічних заходів при його використанні і, як наслідок, підвищує витрати і значно знижує конкурентоспроможність вугледобувних підприємств.

Стан шахтного фонду. Станом на 01.01.2014 р в Україні налічувалось 243 шахти, з яких діючих – 150 шахт, з них – 90 державних і 60 недержавної форм власності. В галузі було задіяно понад 250 тис. чол., включаючи на державних підприємствах приблизно 155 тис. чол [3].

Шахтний фонд вугільної промисловості України знаходиться в україн важкому стані. Переважна більшість вугільних шахт спроектовано і побудовано в 50-70 рр. минулого століття. Майже 96% шахт понад 20 років працюють без реконструкції. Дві третини основного стаціонарного устаткування відпрацювали нормативний термін експлуатації і потребують негайної заміни. Питома вага вугледобувних механізованих комплексів і

прохідницьких комбайнів сучасного технічного рівня становить лише третину, а нових навантажувальних машин і стрічкових конвеєрів – близько 15%. На шахтах, які розробляють крутопадаючі пласти, майже 60% загального обсягу вугілля видобувається з використанням відбійних молотків.

Із загальної кількості вугільних шахт – 64% мають термін служби більше 50 років, з яких 28% експлуатуються понад 70 років (рис. 3, а). Реконструйовано 80 шахт або 57%, з них 84% – понад 20 років тому (рис. 3, б). На 35 шахтах протяжність підтримуваних гірських виробок перевищує 60 км (рис. 3, в). Більше 40 шахт ведуть гірничі роботи на глибині понад 800 м (рис. 3, г) [4].

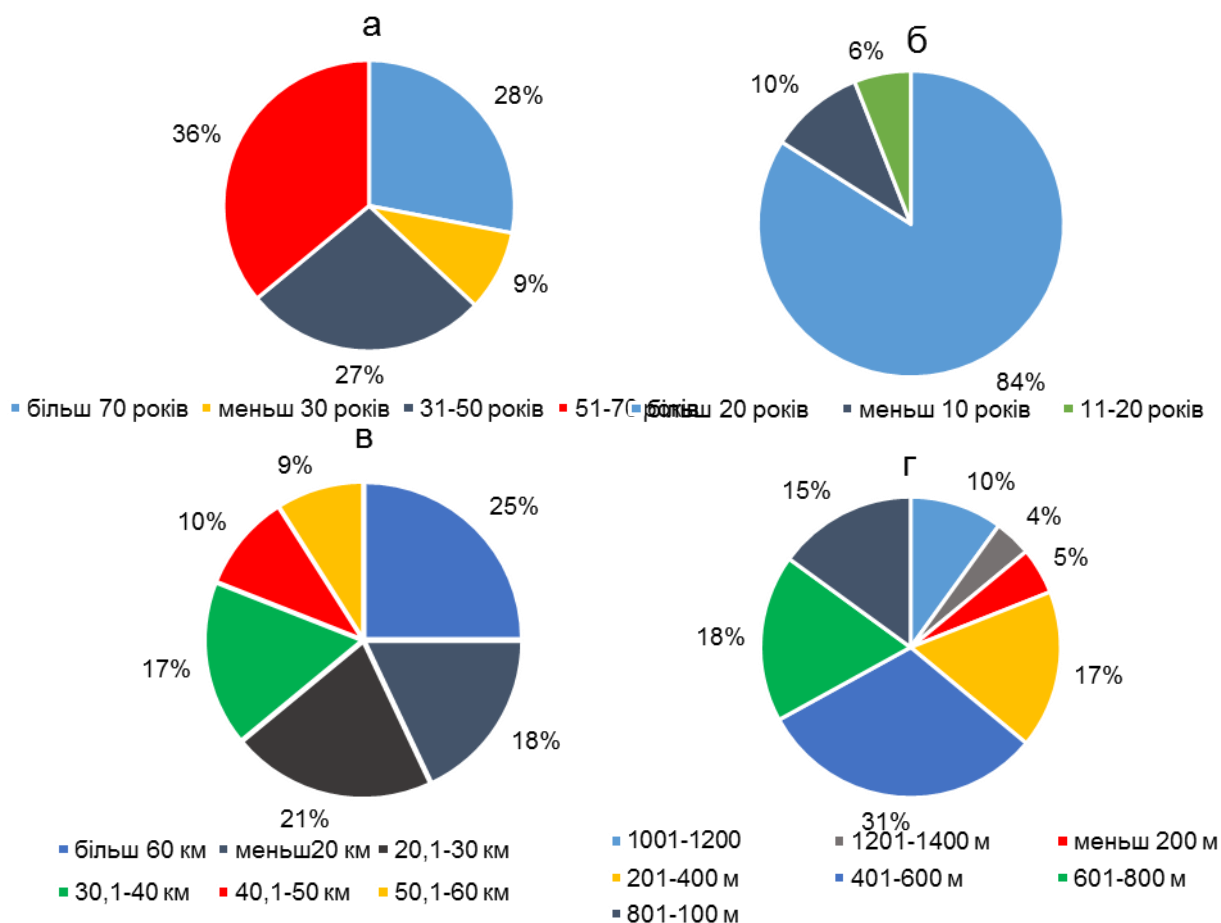


Рисунок 3. Діаграма розподілу діючих шахт України: а – за терміном експлуатації; б – за часом, що пройшов після останньої реконструкції; в – за протяжністю підтримуваних виробок; г – за глибиною розробки запасів.

Стан шахтного фонду кардинально змінив після початку військових дій в Донецькій та Луганській областях. В результаті з 90 шахт підпорядкованих Міністерству енергетики та вугільної промисловості України лише 35 знаходиться під контролем держави. З 60 шахт недержавної форми власності – 30 розташовані в зоні військового конфлікту. Таким чином на сьогоднішній день в зоні АТО перебуває 85 шахт всіх форм власності, які становлять 57% від їх загальної кількості в Україні. Кількість працівників в галузі скоротилось до 120 тис. чол.

Баланс видобутку вугілля. У 2015 року загальний обсяг рядового вугілля в Україні склав 39,7 млн.т., що на 38,8% нижче в порівнянні з рівнем 2014р [5]. Видобуток коксівного вугілля за минулий рік впав на 49,8% (на 7 млн. 984,2 тис. т) – до 8 млн 155,1 тис. т, енергетичного – на 35,3% (на 17,252 млн. т) до 31,604 млн. т. Динаміка видобутку

коксівного та енергетичного вугілля, а також загальний видобуток рядового вугілля за період 2000-2015 рр. представлено відповідно на рис. 4 і рис. 5.

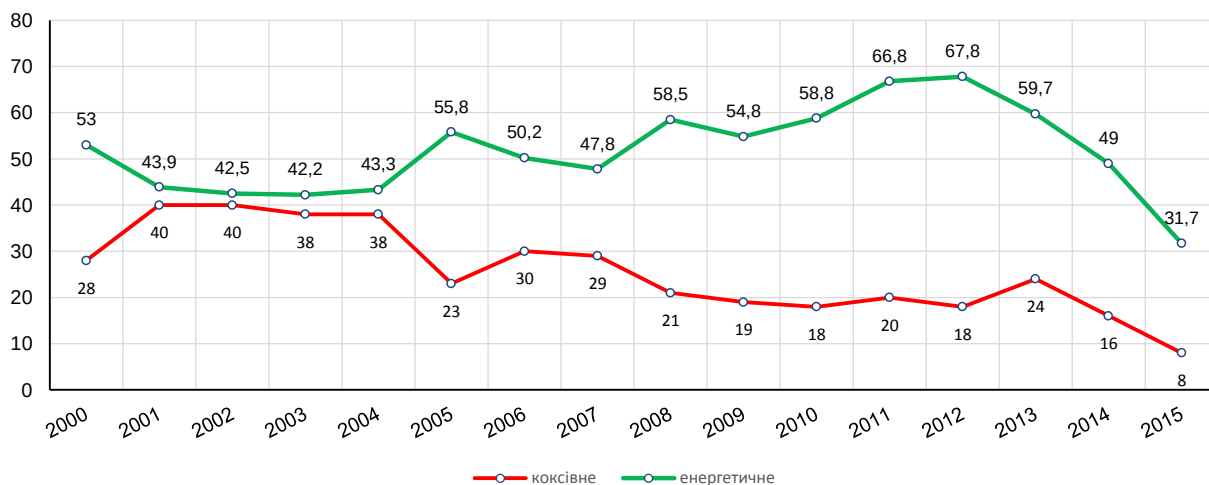


Рисунок 4. Динаміка видобутку коксівного та енергетичного вугілля в Україні, млн т.

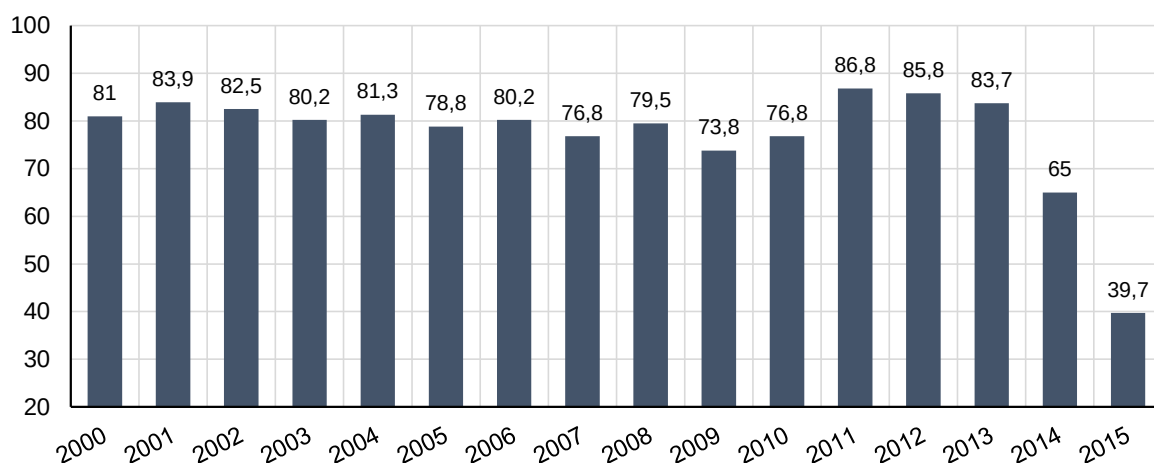


Рисунок 5. Загальна динаміка видобутку рядового вугілля в Україні, млн т.

Різке падіння обсягів видобутку вугілля почалося з розширенням території ведення бойових дій і їх інтенсивності в Донецькій і Луганській областях з червня 2014 року. В результаті чого виникли складнощі з транспортуванням вугілля на склади теплових електростанцій, порушено залізничне сполучення, припинена доставка матеріалів і обладнання на вугледобувні підприємства. Через завданих збитків видобуток здійснювався тільки 28 з 90 державних шахт, а 62 шахт були зупинені і працювали в режимі життєзабезпечення, тобто відкачували воду.

В умовах, які склалися, вуглевидобувні підприємства, що входять до сфери управління Міністерства енергетики та вугільної промисловості, в 2015 році скоротили свою здобич на 62% (на 10 млн. 984,1 тис. т) – до 6 млн 742,2 тис. т., тому зокрема, видобуток коксівного вугілля впав на 57,6% (на 2,652 т) – до 1 млн. 950,1 тис. т., енергетичного – на 63,5% (на 8 млн. 332,1 тис. т) до 4 млн. 792,1 тис. т. За минулий 2015 рік частка видобутого вугілля державними шахтами в загальному паливному балансі України склала 16,8%.

Регіональне розподілення видобутку рядового вугілля шахтами всіх форм власності виглядає наступним чином: Донецька область – 14 млн. 367,7 тис. т (- 44,9% до рівня 2014 г.), Луганська – 4 млн. 332,8 тис. т. (- 75,8%), Дніпропетровська – 18 млн. 832,9 тис. т. (- 0,4%), Львівська – 1 млн. 982,6 тис. т. (+ 9,2%), Волинська – 243,2 тис. т. (- 16,5%). Загальна картина розподілу видобутку вугілля в Україні по областях в 2015 році представлена на рис. 6.

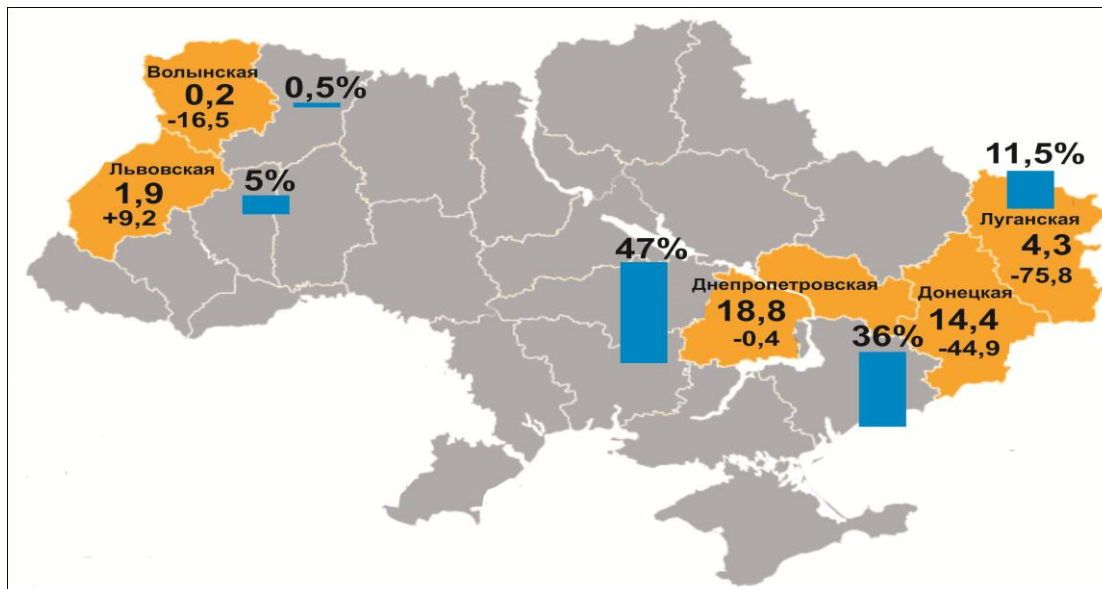


Рисунок 6. Видобуток вугілля в Україні по областях за 2015 рік, млн т. (+/- до рівня 2014 р.)

Шахтами Дніпропетровської області за 2015 рік було вироблено найбільший об'єм вугілля – 47% від загального видобутку, де єдиним оператором вугілля є «ДТЕК Павлоградвугілля». До складу об'єднання входять 10 шахт, а також підприємства транспортної та виробничої інфраструктури. Видобуток рядового вугілля шахтами «ДТЕК Павлоградвугілля» за 2015 рік представлено на рис.7.

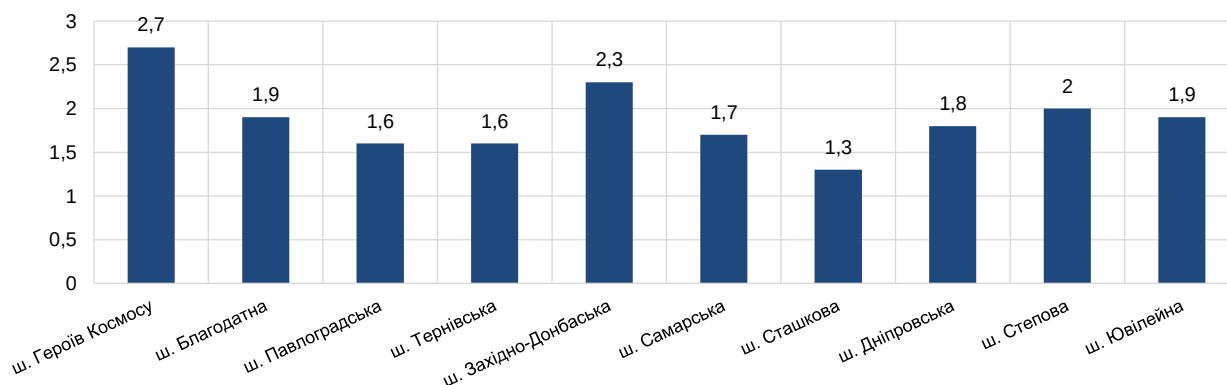


Рисунок 7. Видобуток рядового вугілля шахтами «ДТЕК Павлоградвугілля» за 2015р., млн т.

У структурі «ДТЕК Павлоградвугілля» кращі показники і одні з найвищих у всій вуглевидобувній галузі України має шахта «Героїв космосу». За результатами 2015 року середня виробнича потужність вугільних підприємств Дніпропетровського регіону склала 1,7 млн. т.

На сьогоднішній момент поза зоною бойових дій знаходиться 35 державних шахт, з яких 2 – працюють в режимі водовідливу. В середньому іншими 33 шахтами в добу видобувається близько 20 тис. т вугілля (приблизно 250 тис. т готової продукції в місяць). Марки вугілля

добуваються виключно енергетичні (в основному газові), вугільна продукція відвантажується на Вуглегірську ТЕС та енергетичні підприємства компанії ДТЕК.

Споживання вугілля і вироблення електроенергії. У структурі споживання первинної енергії в Україні на вугілля припадає лише 29% проти 58% – у Німеччині, 70% – в Китаї і 90% – в Польщі. Незважаючи на те, що в структурі запасів енергоресурсів вугілля займає перше місце, найбільша частина їх споживання припадає на природний газ – 44%. Це обумовлює залежність країни від імпортованих поставок газу. Питома вага споживаного газу в інших країнах світу складає всього 19%. Структура споживаних енергоресурсів в Україні і в світі цілком представлена на рис. 8.

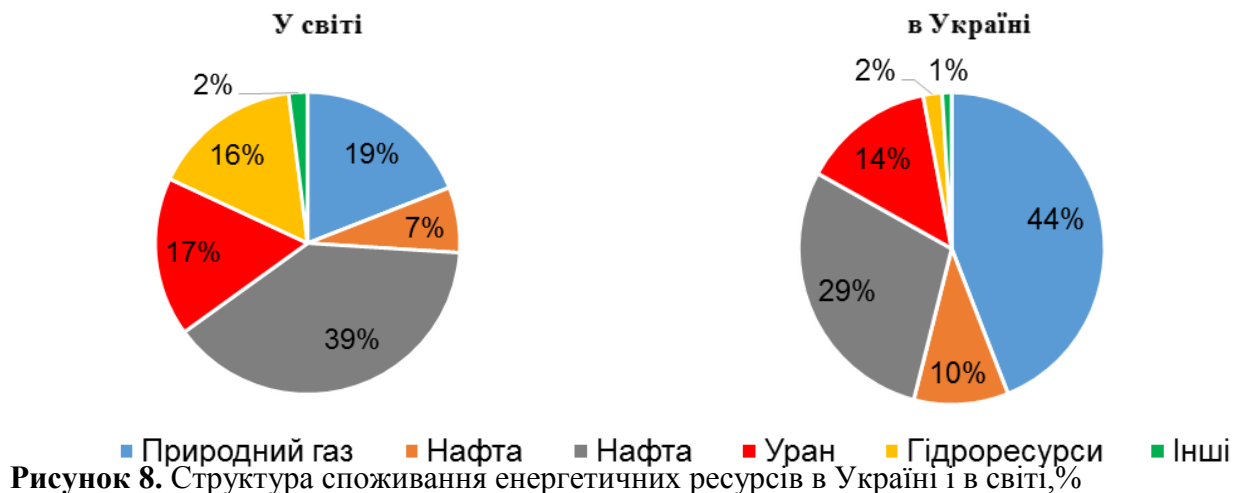


Рисунок 8. Структура споживання енергетичних ресурсів в Україні і в світі, %

Загальна потужність всіх генеруючих електростанцій становить 53 ГВт, з яких близько 52% припадає на теплові електростанції. Теплові електростанції, які працюють на вугіллі мають частку в загальному балансі виробництва електроенергії до 45%.

У мирний час, близько 90% видобутого енергетичного вугілля споживалося всередині країни енергогенеруючими компаніями. Частина, що залишилася розподілялась таким чином: металургійні заводи (4%), населення (3%) та інші (виробники цементу, соди і цукрові заводи). За період з 2000 по 2013 рр. середнє споживання вугілля знаходилось на рівні 50% від загального видобутку і становило близько 40 млн т. Динаміка споживання вугілля в Україні представлена на рис. 9.

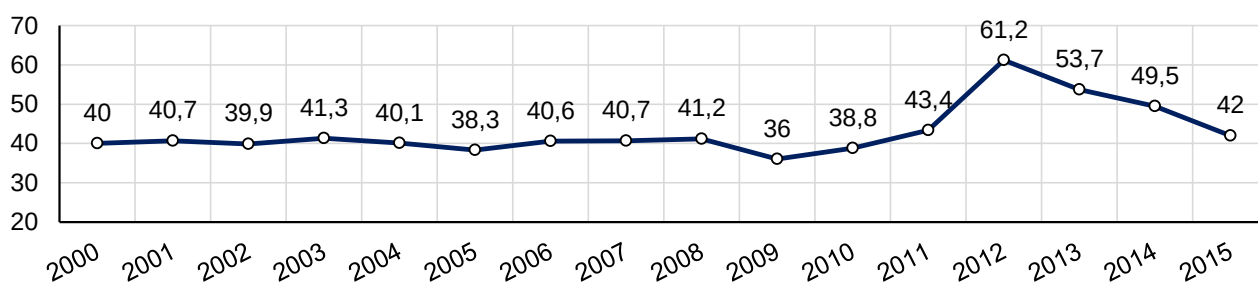


Рисунок 9. Динаміка споживання вугілля в Україні, млн т.

Енергетичне вугілля використовується на 14 ТЕС України. Однак, головною особливістю перетворення вугілля в енергію є те, що вітчизняні електростанції розраховані на спалювання різних марок вугілля. Використання різних марок вугілля обумовлено близькістю підвезення вугілля до ТЕС. У табл. 1 розподілені теплові електростанції згідно спалюваної марки вугілля.

Табл. 1 Розподіл ТЕС за марками спалюваного вугілля

Зуєвська	Запорізька	Вуглегірська	Курахівська	Ладизька	Доброутівська	Бурштинська	Трипільська	Зміївська	Придніпровська	Старобешівська	Слов'янська	Луганська	Криворізька
Г							А і Т					Т	

Таким чином, сім з 14 ТЕС України технологічно спроектовані для спалювання висореакційного вугілля марки Г, шість – для спалювання низькореакційного вугілля марок А і Т, Криворізька ТЕС може працювати тільки на вугіллі марки Т, який видобувається виключно на Донбасі. Проблема полягає в тому, що практично всі антрацитові шахти України опинилися в зоні бойових дій (Шахтарськ, Красний Луч, Антрацит, Ровеньки, Свердловськ). На 35 діючих шахтах добувається газове вугілля марок Д і Г, і лише деякі – марки Ж, яка піддається коксуванню.

Для вирішення проблеми забезпечення країни вугіллям і електроенергією, Міністерство енергетики та вугільної промисловості України підписало договір з компанією Steel Mont Trading Ltd про постачання південноафриканського вугілля. За підсумками 2014 року країна отримала близько 500 тис. т антрацитової групи. Для потреб країни в 2015 році було імпортовано 14,6 млн т вугілля на загальну суму 1,6 млрд. дол. США. Поставки здійснювалися з ПАР, Росії, США та Казахстану.

Вартість вугілля на внутрішньому ринку. Вугілля в Україні продається за прямими договорами між видобувними підприємствами та споживачами або через державне підприємство «Вугілля України» як оператора оптового ринку.

За договорами з підприємством «Вугілля України» поставляється близько 65% від загального обсягу поставок вугілля державними підприємствами. Приватні компанії визначають ціни своєї продукції на підставі балансу попиту і пропозиції в Україні і з урахуванням загальних тенденцій на міжнародному ринку.

Оптова ціна товарної вугільної продукції державних підприємств у 2014 році збільшилась на 27,6% і склала 627,8 грн. Собівартість видобутку вугілля збільшилась на 30,8%, тобто до 1766,3 грн. На часткове покриття цієї різниці з державного бюджету було виділено 9,16 млрд. грн.

Зольність вугілля. Найважливішим якісним показником вугілля, що видобувається є його зольність. Вугілля, яке видобувається в Україні, характеризується високою зольністю, тому не може безпосередньо використовуватися в енергетичній і коксохімічній галузях. Понад 90% вугілля, що видобувається переробляється на збагачувальних фабриках. Шахти реалізують товарну продукцію переважно у вигляді продуктів збагачення із середньозваженою зольністю 20-25%.

Підвищена зольність вугілля негативно впливає на фінансовий стан вугледобувних підприємств: зростають невиробничі транспортні витрати на перевезення від шахти до збагачувальної фабрики, знижується випуск товарної продукції, скорочуються обсяги реалізації вугільної продукції.

Проведений аналіз [6] показує, що зольність видобутої продукції має тенденцію поступового зростання. Так, за 15 річний період цей показник збільшився на 3,8%, склавши в минулому році 40,2%. Максимальне значення середньої зольності вугілля досягло 41,1% у 2011 році. Графік зміни середньозваженої зольності вугілля, що видобувається шахтами України представлена на рис. 10.

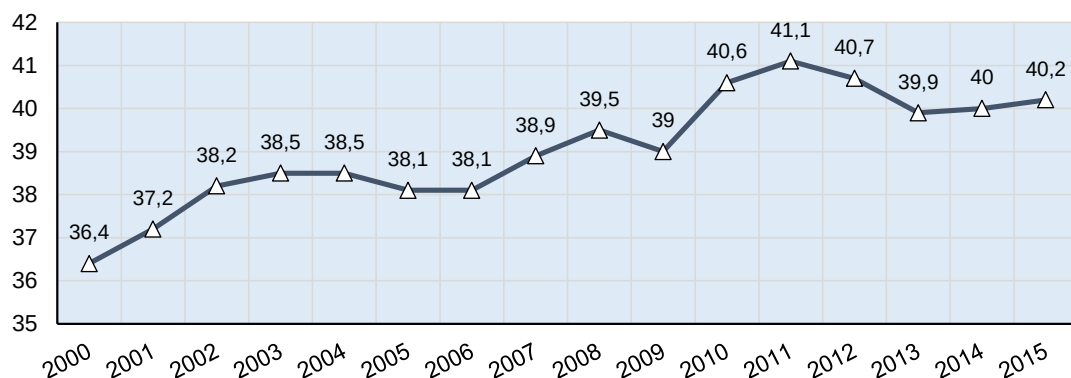


Рисунок 10. Середньозважена зольність видобутого вугілля, %

Висока зольність українського вугілля пояснюється малою геологічною потужністю пластів. Використання для виїмки традиційних технологій супроводжується, як правило, істотною присічкою бічних порід покрівлі, що збільшує зольність вугілля через штучне перемішування з порожньою породою і знижує його якість.

Дослідження статистичних даних виймальної і геологічної потужності по очисних вибіях шахт «ДТЕК Павлоградвугілля» показують, що середньорічна потужність змінюється від 1,05 до 1,2 м. Корисна потужність вугільних пластів на різних шахтах має величину від 0,7 м (ш. Павлоградська) до 1,54 (ш. Тернівська). Динаміка змін середніх значень виймальної і геологічної потужності в очисних вибіях «ДТЕК Павлоградвугілля» за період 2000-2015 рр. представлена на рис. 11.

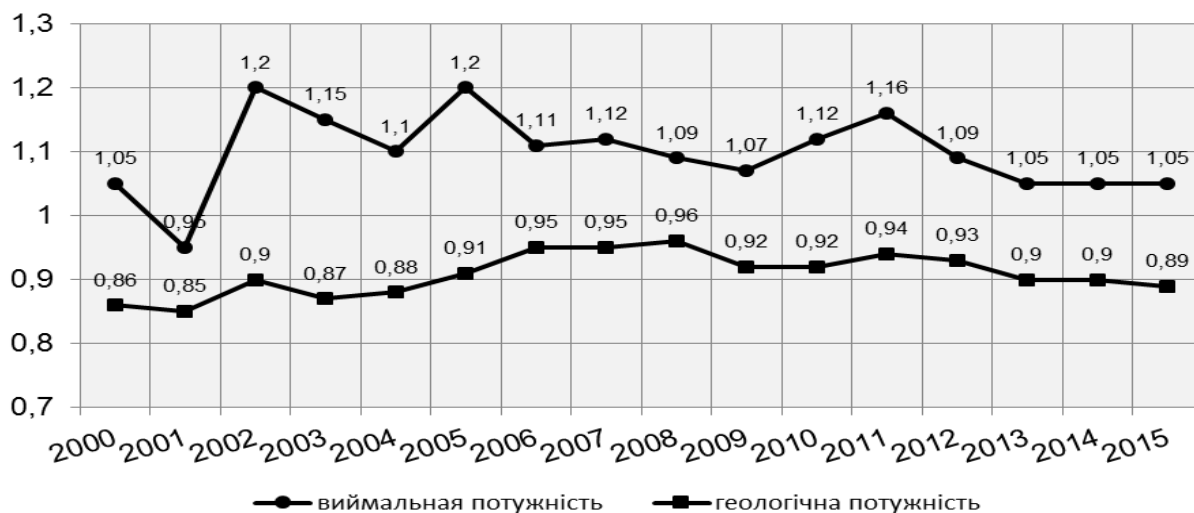


Рисунок 11. Зміна середніх значень виймальної і геологічної потужності в очисних вибіях шахт ПАТ «ДТЕК Павлоградвугілля»

Виходячи з даних представлених на рис. 11, середня величина присічки змінюється в діапазоні від 0,1 до 0,3 м. При цьому на окремих шахтах присічка бічних порід в очисних вибіях досягає 0,4 - 0,5 м.

Породи присічки є не тільки продуктами погіршення якості видобутого вугілля але і джерелами накопичення вуглевідходів на поверхні. Щорічна видача породи з шахт і збагачувальних фабрик в відвали становить понад 20 млн т в рік. У зв'язку з цим обсяг щорічного відведення площ становить більше 3 тис. га.

Витрати підприємств галузі на транспортування і складування твердих відходів і платежі за їх розміщення та забруднення шкідливими викидами від териконів і відвалів за

приблизними розрахунками становлять близько 15% від собівартості продукції. Обмежена сфера застосування вуглевідходів як у нас в країні, так і за кордоном ставить завдання розробки і організації раціональних безвідходних і маловідходних технологій підземного вуглевидобутку.

ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ВУГІЛЬНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ УКРАЇНИ ДО 2020 РОКУ

Згідно проведеного аналізу стану вугільної галузі можна сформулювати такі перспективи її розвитку:

- До кінця 2020 року вугільна промисловість буде повністю функціонувати в рамках ринкових відносин, а держава не зможе регулювати і дотувати діяльність вугільних підприємств;

- Економічна і політична ситуація в країні поступово стабілізується, підприємства вугільної галузі вийдуть на рівень щорічного видобутку в 50 млн. т, при цьому частина шахт з низькими техніко-економічними показниками і малими запасами вугілля будуть передані на ліквідацію та консервацію;

- Споживання вугілля буде поступово знижуватися, частка атомної та альтернативної енергії в енергобалансі країни збільшиться.

ВИСНОВКИ

2014 рік став переломним моментом для вугільної промисловості України. Вугледобувні підприємства працювали в надзвичайно складних умовах. Шахти значно знизили обсяги видобутку, а частина підприємств зупинила його повністю. Наведені результати аналізу показали наскільки складно в несприятливих гірничо-геологічних умовах підтримувати рентабельність виробництва.

Для інвесторів вітчизняні запаси мають низьку інвестиційну привабливість. Тим більше що в останні роки в світі розвідані нові родовища високоякісного вугілля (Мозамбик, Монголія, Індонезія).

Тенденції в світі такі, що попит на вугілля падає, в результаті запеклих екологічних норм перш за все в країнах Європейського союзу. Закрито вугільні шахти в Німеччині, Франції, Великобританії, Бельгії. Основний виробник і до того ж імпортер вугілля – Китай скорочує власне споживання вугілля. На сьогоднішній день Китай обрав стратегію заміщення вугілля альтернативними джерелами енергії.

Ґрунтуючись на досвіді розвинених країн світу, необхідно активізувати науково-дослідницьку діяльність, спрямовану на ефективне використання енергоресурсів та зниження техногенного навантаження на навколишнє середовище. Настав час вивчити доцільність використання теплової енергії глибинних порід, розробки техногенних родовищ, газифікації вугілля, утилізації шахтного газу метану. Використання результатів перерахованих напрямків сприятиме підвищенню конкурентоспроможності українського вугілля. Таким чином вугільна промисловість повинна піти шляхом «зеленої» чистої галузі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. U.S. Energy Information Administration [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.eia.gov/coal/>
2. Ukraine coal. Industry report 2013. Kyiv: Baker Tilly [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.bakertilly.ua>
3. Річний звіт ДТЕК за 2014 рік [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.dtek.com/library/file/dtek-ar2014-ru.PDF>

4. Петенко І.В., Майдукова С.С., Проблеми рентабельності вугільної продукції / І.В. Петенко, С.С. Майдукова// Вугілля України. – 2014. – №10. – С. 18-27.
5. Статистична інформація Міненерговугілля України [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/uk/publish>
6. Бондаренко В.І. Малашкевич Д.С. До питання залишення породи у виробленому просторі вугільних шахт/ В.І. Бондаренко, В.В. Руских, А.І. Яркович, Д.С. Малашкевич// Матеріали VIII міжнародної науково-практичної конференції «Школа підземної розробки», Дніпропетровськ: НГУ. – 2014. С 19-24.

УДК 622.765.063.24

*В.С.Білецький, д.т.н., професор,
професор Полтавського національного технічного університету імені Юрія Кондратюка*

ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ПРОЦЕСУ СЕЛЕКТИВНОЇ МАСЛЯНОЇ АГРЕГАЦІЇ ВУГІЛЛЯ

Масляна агрегація – перспективний високоефективний спосіб підготовки низькоякісного вугілля до коксування, спалювання, піролізу, а також як багатofункціональний процес підготовки вугілля до зрідження. На частку останнього за прогностичними оцінками Світової Енергетичної Ради у 2050 році припадатиме біля 50% всього видобуваного енергетичного вугілля. Крім того, рядом дослідників показано переваги застосування техніки та технології масляної агломерації в магістральних гідротранспортних системах енергетичного і коксівного вугілля. Мета роботи – аналіз факторів, якими визначається ступінь екологічної чистоти процесу селективної масляної агрегації вугілля. Встановлено, що концентрація залишкового масла у водній фазі знаходиться у чіткій залежності від структури гранул. Для підвищення екочистоти процесу можна рекомендувати: застосування малошкідливих масляних реагентів, переважно нафтопродуктів, дозволених санітарними органами; пелетування вугілля в гранули (агломерати) І структурного типу; застосування контрольної флотації відходів процесу селективної масляної агломерації. В цілому ж треба констатувати реальну можливість забезпечення екологічної чистоти процесу селективної масляної агрегації вугілля на рівні екологічної чистоти флотаційного процесу (до 7 - 10 мг/літр і менше).

Oil aggregation – a highly promising method for the preparation of preparing low qualitative coal to coking, burning pyrolysis and also as polyfunctional process of coal preparation to its liquefaction. According to prognostications of the World Energetic Council, in 2050 about 50% of all extracted energetic coal will be on their expense. Besides, some investigators have demonstrated advantages of utilisation of technics and technologies of oil agglomeration in main pipeline systems of energeticand coking coal. Purpose – analysis of the factors that determine the level of environmental purity process of selective oil aggregation of coal. It was established that the concentration of residual oil in the aqueous phase is in strict depending on the structure of pellets. To improve ekochystoty process can be recommended: the use of oil maloshkidlyvyh reagents, mainly oil products, approved by sanitary authorities; pelleting coal in pellets (agglomerates) and structural type; Use of selective flotation process waste oil agglomeration. In general, it is necessary to ascertain the real possibility of environmental cleanliness of the process of selective oil aggregation of coal at environmental cleanliness flotation process (7 - 10 mg / liter or less).

Вступ. Перспектива вичерпання природних запасів нафти та газу і пов'язане з цим збільшення споживання вугілля обумовило підвищений інтерес вчених світу до вугільних технологій. Особлива увага сьогодні надається вивченню спеціальних процесів збагачення вугілля, які відкривають нові можливості по переробці низькоякісної сировини у кондиційні екологічно чисті продукти.

За останні десятиріччя швидкого розвитку набув процес селективної масляної агрегації (СМА) вугілля (грануляція, агломерація, флокуляція) [1]. Помітним є інтерес до нього не тільки фахівців по збагаченню корисних копалин, але й вуглехіміків, теплоенергетиків, транспортників. Масляна агрегація розглядається ними як перспективний високоефективний спосіб підготовки низькоякісного вугілля до коксування, спалювання, піролізу, а також як багатофункціональний процес підготовки вугілля до зрідження. На частку останнього за прогностичними оцінками Світової Енергетичної Ради у 2050 році припадатиме близько 50% всього видобуваного енергетичного вугілля.

Аналіз стану питання. Екологічні аспекти процесу селективної масляної агрегації вугілля мають два виміри – за допомогою цього процесу переробляють відходи, але і процес СМА є продуцентом відходів та забруднювачем технічних вод. По-перше, процес селективної масляної агрегації може бути успішно використано для переробки вугільних шламів, низькоякісного забалансового вугілля. При цьому як зв'язуючий реагент можуть бути використані вторинні масла (масляні відходи). Переробка вугільних і масляних відходів зменшує техногенне навантаження на навколишнє середовище. Дослідження процесу СМА проведені в ряді дослідницьких центрів у XX і XXI ст. в Канаді, Індії, Японії, Німеччині, Австралії, Росії, Туреччині, США, Польщі, Україні. Створені національні варіанти технології СМА – процеси "Оліфлок", «Могіфлок», «Конвертоль», процес CFRI, сферична агломерація, процес «Снампроджетті», «ОВЗУМС» та ін. [1-10].

По-друге, процес СМА має свої відходи, які забруднюють навколишнє середовище. Цей аспект малодосліджений. Автором в роботі [1] виконана попередня оцінка екологічного впливу СМА на довкілля.

Мета роботи – аналіз факторів, якими визначається ступінь екологічної чистоти процесу селективної масляної агрегації вугілля. Розробка рекомендацій для підвищення екочистоти процесу СМА.

Методики, матеріали і результати досліджень.

Методики. У дослідженнях використано: авторську методику одержання вуглемасляних гранул-агломератів; методику препарування вуглемасляних гранул, одержання їх аншліфів для мікроскопічних досліджень; власне мікроскопічні дослідження із застосуванням мікроскопа НЕОРНОТ; хімічні аналізи технічних вод для визначення залишкової концентрації масел.

Матеріали. Для дослідження використано вихідне вугілля марки «Г», характеристики якого подані в таблиці 1.

Таблиця 1

Характеристики агрегатоутворюючого вугілля				
Клас крупності, мм	γ_i , %	A_B^d , %	$S_{\text{пит}}$, $\text{см}^2/\text{г}$	k_p , %
2,0 - 1,0	3,11	11,9	339,4	58,1
1,0 - 0,5	23,30	6,1	373,9	55,0
0,5 - 0,3	15,50	6,2	624,7	40,2
0,3 - 0,2	12,05	7,0	668,1	26,8
0,2 - 0,1	6,34	7,5	941,7	15,3
0,1 - 0,05	24,20	8,7	2414,5	8,2
0,05 - 0	15,50	24,9	4345,4	5,6
Всього	100,00	10,04	1589,6	-

В таблиці: γ_i – вихід класів крупності; A_B^d - зольність; $S_{\text{пит}}$ - зовнішня поверхня вугілля; $k_{\text{п}}$ - коефіцієнт покриття вугільної поверхні зв'язуючим.

Зв'язуюче – кам'яновугільні масла і смоли, вторинні масла та нафтопродукти.

Результати досліджень.

Експериментальними дослідженнями встановлено, що ступінь екологічної чистоти процесу СМА визначається декількома факторами. По-перше, це тип застосовуваних реагентів. Слід зазначити, що рідкі продукти коксування вугілля (кам'яновугільні масла і смоли) містять високошкідливі компоненти, особливо, феноли та піродин і його гомологи (клас небезпеки 2). Що стосується нафтопродуктів, то вони в залежності від технології виробництва і нафтових родовищ можуть мати різну ступінь канцерогенної активності (помірну, слабку), або взагалі не чинити такого ефекту [11]. Встановлено, що найбільш шкідливими є поліциклічні ароматичні вуглеводні, і перш за все бензапірен. Вже при вмісті бензапірену у зв'язуючому 0,027% він викликає пухлини шкіри у 18,4 % випадках, а при його вмісті всього 0,0075 % — у 9,6 % випадках. Тому вибір зв'язуючого — вельми відповідальна операція при застосуванні процесів СМА.

Другим фактором екочистоти СМА є кількість залишкових (в рідкій фазі) масел після власне масляної агрегації. Це питання вивчалось В. Шилаєвим[12] та В. Білецьким[13]. В. Шилаєв виявив, що втрати зв'язуючого – гасу сильно збільшуються в зоні густин гідросуміші $\rho_{\text{вс}} \leq 200 - 150$ г/л, частоти обертання імелера гранулятора $n_{\text{в}} \leq 700 - 800$ хв⁻¹, та витратах гасу $7 - 8$ мас. % $\geq Q_{\text{г}} \geq 20 - 25$ мас. %.

В.Білецький встановив, що концентрація залишкового масла у водній фазі знаходиться у чіткій залежності від *структури гранул*. Узагальнення результатів виконаних експериментальних досліджень вугільних агрегатів та ~200 аншліфів агломератів, гранул, флокул дозволили виділити такі основні типи структур вугільних агрегатів (рис. 1):

- 1 - ущільнені утворення, характерні наявністю тонких граничних плівок зв'язуючого між окремими зернами;
- 2 - структури з ввігнутими менісками зв'язуючого між зернами вугілля на поверхні агрегату;
- 3 - краплі зв'язуючого, заповнені вугільними зернами;
- 4 - пухкі утворення (скупчення) вугільних зерен зв'язані місточками зв'язуючої речовини.

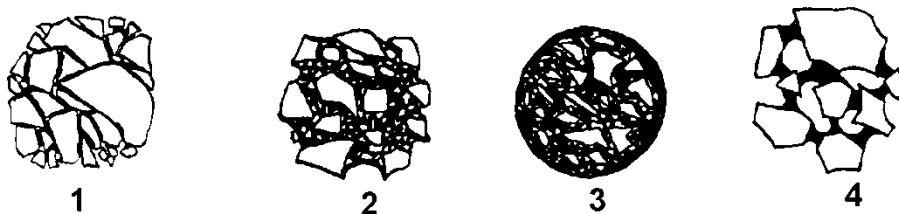


Рис. 1. Основні типи структур вугільних агрегатів

Одночасно з одержанням різних вуглемасляних структур виконані хімічні аналізи технічних вод для і визначення залишкової концентрації масел у водній фазі. Встановлено, що при одержанні агрегатів I структурного типу залишкова концентрація масел у технічній воді $\Delta Q_{\text{м}} = 1 - 2$ мг/л, II — 20 - 40 мг/л, III — до 70 - 80 мг/л, IV — 15 - 30 мг/л.

По-третє, ступінь екологічної чистоти СМА суттєво залежить від схемного рішення процесу. Досвід промислових випробовувань свідчить, що піддаючи фугат відсаджувальній

центрифуги або підрешітний продукт контрольній флотації можна за рахунок вилучення масляних фракцій-залишків і ретуру зменшити ΔQ_m з 20 - 70 мг/л до 7 - 10 мг/л і менше.

Висновки.

Таким чином, для підвищення екочистоти процесу можна рекомендувати:

- застосування малошкідливих масляних реагентів, переважно нафтопродуктів, дозволених санітарними органами;
- пелетування вугілля в гранули (агломерати) I структурного типу;
- при пелетуванні вугілля в гранули II типу додержуватись таких обмежень режимних параметрів: $\rho_{вс}$ не менше 150 ÷ 200 мг/л; n_v не менше 700 - 800 хв⁻¹; Q_m не більше 20 - 25 мас. % (для крупності 0 - 0,5 мм).
- застосування контрольної флотаційної перемішки відходів процесу селективної масляної агломерації.

В цілому ж треба констатувати реальну можливість забезпечення екочистоти процесу селективної масляної агрегації вугілля на рівні екочистоти флотаційного процесу (до 7 - 10 мг/л і менше).

Література

1. Білецький В.С., Сергєєв П.В., Папушин Ю.Л. Теорія и практика селективної масляної агрегації вугілля. – Донецьк: Грань, 1996, 264 с.
2. Ding Y., Erten M. Selective flocculation versus oil agglomeration in removing sulfur from ultra fine coal// Proc. and Util. Hing Sulfur Coals III: 3rd Int. Conf. Ames. Iowa, Nov. 14-16, 1989.- Amsterdam . - 1990.- p. 255-264.
3. Shrauti S.M., Arnold D. W. Recovery of waste fine coal by oil agglomeration // Fuel, 1995, 74 , № 3, p. 454-465.
4. Tovas D. Wheelock ea. The role of eir in oil agglomeration of coal at a moderate shear rate// Fuel, 1994, v. 73, № 7. p. 1103-1107.
5. Vega V.G. ea. Selective agglomeration of hing rank coals with vegeta-tible oils // 8 th Int. Conf. on coal Science. Oviedo. Spain, 10-12 September 1995. p. 296-297.
6. Харада Т., Мацуо Т. Агломерація у рідинах// Ніхон Когьо Кайсі. - 1982. - № 1134, С. 714-722.
7. G. H. V. C. Chary, Ankush Gupta & M. G. Dastidar. Oil Agglomeration of Coal Fines in Continuous Mode of Operation // Particulate Science and Technology: An International Journal. Volume 33, Issue 1, 2015. pages 17-22.
8. Robert J. Good, Mojahedul. Islam. Liquid bridges and the oil agglomeration method of coal beneficiation: an elementary theory of stability // Langmuir, 1991, 7 (12), pp 3219–3221.
9. S. DUZYOL, C. SENSOGUT. INVESTIGATION OF THE OIL AGGLOMERATION OF ESKICELTEK LIGNITES IN TURKEY // 14th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2014 , June 19-25, 2014, Book 1, Vol. 3, 889-896 pp.
10. Toshinori INOUE, Osamu OKUMA, Kaoru MASUDA, Motoharu YASUMURO, Kouichi MIURA. Preparation of Highly Concentrated Coal-Solvent Slurry by Hydrothermal Treatment and Oil Agglomeration as a Pretreatment for Brown Coal Liquefaction // Journal of the Japan Institute of Energy. Vol. 93 (2014) No. 11 p. 1213-1219.
11. Гигиенические критерии состояния окружающей Среды. Женева: ВОЗ, 1986. - 151 с.
12. Шилаев В.П. Обогащение и обезвоживание тончайших угольных шламов с применением каскадно-адгезионной сепарации и грануляции. Автореф. диссерт. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук. - М.: ВЗПИ, 1969. - 29 с.

13. Білецький В.С. Розробка наукових основ і способів селективної масляної агрегації вугілля та вуглевміщаючих продуктів. - Дисертація на здобуття вченого ступеня докт. техн. наук. - Донецьк, 1994, 452 с.

УДК 622.28

Халимендик Ю.М., д.т.н., професор

Бруй А.В., к.т.н., доцент

Барышников А.С., магістр

Заболотная Ю.А., к.т.н., доцент

Государственное ВУЗ «Национальный горный университет»

Влияние отпора охранных конструкций на состояние повторно используемых выработок

В статье рассматривается влияние отпора охранных конструкций на вертикальную конвергенцию штреков, поддерживаемых за очистным забоем. Приведены результаты натурных исследований состояния выработок и системы крепи. Выполнена оценка фактического отпора охранных конструкций по результатам обследования шахт Западного Донбаса. Показан усовершенствованный паспорт поддержания выработки, который обеспечивает высокое значение несущей способности охранной конструкции и ее эффективную работу.

У статті розглядається вплив відпору охоронних конструкцій на вертикальну конвергенцію штреків, що підтримуються за очисним вибоєм. Наведено результати натурних досліджень стану виробок і системи кріплення. Виконано оцінку фактичного відпору охоронних конструкцій за результатами обстеження шахт Західного Донбасу. Показаний вдосконалений паспорт підтримки виробки, який забезпечує високе значення несучої здатності охоронної конструкції і її ефективну роботу.

The article examines the influence of roadside pack rebuff on the vertical convergence of the gateroads maintained behind longwall face. The results of in-situ studies of gateroad and support condition are presented. Basing on the results of a research at mines of Western Donbass the estimation of the actual rebuff of the roadside pack is made. Improved maintenance of production of a passport, which provides a high value load-bearing capacity of the security structure and its efficient operation is shown.

Внедрение прогрессивных бесцеликовых технологических схем с повторным использованием подготовительных выработок на угольных шахтах решает задачи прямоточного проветривания, своевременного обеспечения фронта очистных работ и улучшает технико-экономические показатели работы шахты.

Горнотехнические условия эксплуатации угольных месторождений Западного Донбасса характеризуются слабыми ($\sigma_{сж} < 30$ МПа) слоистыми породами низкой метаморфизации и большими глубинами ведения горных работ ($\gamma H / \sigma_{сж} > 0.33$). В таких условиях остаются нерешенными задачи повышения эффективности обеспечения устойчивости подготовительных выработок планируемых для повторного использования. Такие породы согласно [1] относятся к неустойчивым и поддержание штрека за забоем первой лавы не предусматривается. Неудовлетворительное состояние выработок приводит к необходимости их ремонта, резкому возрастанию трудовых, материальных и временных затрат. Многочисленные способы и средства обеспечения эксплуатационного состояния повторно используемых выработок (проведение с запасом на осадку, подрывка, ремонт и перекрепление деформированных участков крепи) зачастую приводят лишь к временному эффекту. В то же время отечественный и зарубежный опыт показывает, что эффективное

поддержание выработок за очистным забоем в сложных условиях возможно при увеличении отпора крепи, а в частности – охранных конструкций, возводимых на границе «штрек-лава» [2, 3].

Охрана подготовительных выработок после прохода лавы предусматривается различными способами: литые и породные полосы, железобетонные тумбы, костры деревянные и накатные, буюто- и кустокостры, органное крепление и чураковая стена. В нормативном документе несущая способность предлагаемых конструкций не дается, приводятся лишь коэффициенты влияния этих способов [1]. При этом нет различия между ними за исключением породных полос. Надо полагать, что применяемые коэффициенты эмпирически обоснованы конвергенцией в выработках.

За основу прогнозирования нагрузки на крепь взят вес пород свода расслоения над выработкой, рассчитываемый из прогнозируемых смещений ее контура. Но при проходе лавы формируется зона дезинтеграции пород не тождественная своду обрушений [4]. Зона разрушенных пород над штреком объединяется с зоной вертикальных смещений пород кровли в лаве и формируется зона разгрузки в массиве. В итоге она отличается от свода обрушений и превышает его по размерам.

Таким образом, для условий шахт Западного Донбасса нет четких и полных нормативных требований к конструкции и несущей способности охранных сооружений по усилению охраняемой выработки. Поэтому повышение устойчивости подготовительных выработок для их повторного использования с учетом отпора охранных мероприятий является актуальной задачей для современного угледобывающего предприятия.

Новые подходы к креплению горных выработок [5] и применение паспорта крепления (см. рис. 1) с учетом достижения общей несущей способности крепи более 200 кН на 1 м погонный длины выработки (далее кН/м.п.) позволило в условиях шахт Западного Донбасса повторно использовать 45,6 км горных выработок в 2014 г. [6].

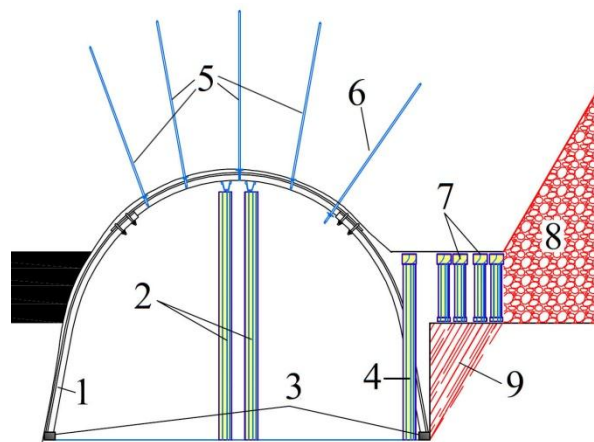


Рис. 1. Идеализированная схема усиления крепи после прохода лавы: 1 – арочная крепь; 2 – стойки усиления; 3 – подпятники; 4 – стойка между кровлей и подошвой по бровке лавы, устанавливаемая между рамами арочной крепи; 5 – штанговые анкеры; 6 – анкеры для поддержания верхнего элемента крепи; 7 – органные ряды; 8 – зона обрушения пород над выработанным пространством лавы; 9 – призма сползания пород бровки лавы

Несмотря на большой прорыв в поддержании выработок в слабых боковых породах, перед пуском соседней лавы остается необходимость проведения ремонтных работ в виде подрывки подошвы и замены либо усиления затяжки и замковых соединений. Одной из причин этого является как недостаточный отпор охранных сооружений, так и нарушение их конструкции.

В работах [7, 8] уделено внимание разработке методики определения необходимого отпора крепи на сопряжении лавы со штреком на основании обобщения имеющегося опыта

поддержания выработок в условиях слабометаморфизированных пород. Вклад каждого элемента крепи в общий создаваемый системой отпор оценивается отдельно. Для оценивания каждому элементу в системе «крепь-массив» присваивается значение его несущей способности, взятой из результатов испытаний на стендах, нормативной и справочной литературы, а также непосредственно материалов инструментальных измерений в выработках. Создаваемый отпор определяется путем суммирования отпора всех элементов крепи. Таким образом, можно оценить отпор крепи, заложенный в паспорте крепления и поддержания, а также фактический отпор, исходя из сложившейся ситуации и проводимых мероприятий в выработке.

На основании оценки паспортов крепления и поддержания выработок ПАО «ДТЭК Павлоградуголь» по разработанной методике и результатам мониторинга, выполненного сотрудниками кафедры маркшейдерии в этих выработках произведен анализ расхождений заложенных в паспорт величин отпора и его фактического значения. При выполнении анализа обследовано 20 выработок, предназначенные для повторного использования.

Во всех поддерживаемых выработках мероприятия, закладываемые в паспорта крепления выполнялись не в полном объеме, либо некачественно. Фактический отпор охранных сооружений был ниже, чем предусмотренный по паспорту поддержания. Разброс этих величин по различным предприятиям варьировался в пределах от 3% до 44% (рис. 2). В среднем величина отпора снижена на 21% по сравнению с паспортной величиной.

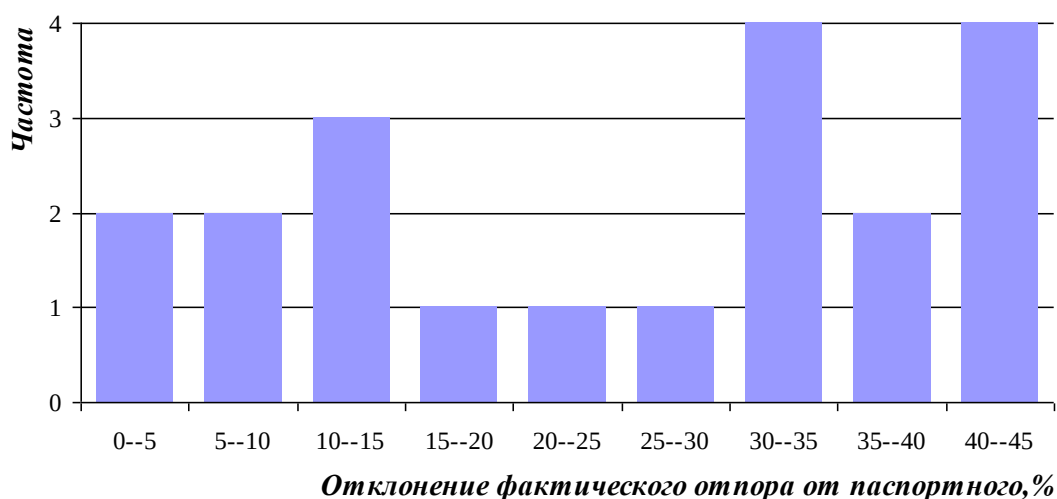


Рис. 2. Гистограмма распределения величин отклонения фактического отпора от его паспортного значения

Таким образом, неудовлетворительное состояние выработок зачастую связано с недостаточной величиной отпора крепи на стадии составления паспорта крепления. Систематически закладывается погрешность не менее 10-15 % в сторону занижения, вследствие чего крепь не создает отпор возникающим со стороны массива нагрузкам. Фактически создаваемый отпор меньше проектного. Если сопоставить рассчитанный необходимый отпор и тот, который реально создается, то расхождение в среднем по предприятиям составит порядка 30%. Недостаточный отпор крепи не препятствует развитию процесса дезинтеграции массива, что влечет за собой большой процент потери сечения выработки и необходимость её последующего перекрепления. Среднее квадратическое отклонение составляет $\pm 19,3\%$, является высоким и свидетельствует об отсутствии однозначного подхода и четких рекомендаций при утверждении паспортов поддержания на разных предприятиях. ИТР при составлении паспортов поддержания опираются исключительно на опыт, накопленный в пределах своего предприятия. В паспорта

закладаються мероприятия, традиційні для підприємства, матеріало- і трудомісткі, але неефективні в плані створення опору, що, в кінцевому рахунку, призводить до розвитку неупругих деформацій в масиві і деформуванню виробки. Наприклад, краєва частина лави порушена від неупругих деформацій навколо виемочної виробки, і, в разі установки органних рядів по бровці лави вони розташовані в деформованій частині масиву і, відповідно не виконують свої функції, так як «сползають» разом з породою в сторону штрека (рис. 1, 3).



Рис. 3. «Сползание» стоек установленных по бровке

Величина вертикальної конвергенції штрека після проходки лави оброблялась методами математичної статистики разом з розрахунковим необхідним і фактичним опором системи «кріп-масив». На рис. 4 представлено графічне зображення залежності вертикальної конвергенції підтримуваної виробки від різниці необхідного і фактичного опорів кріпи.

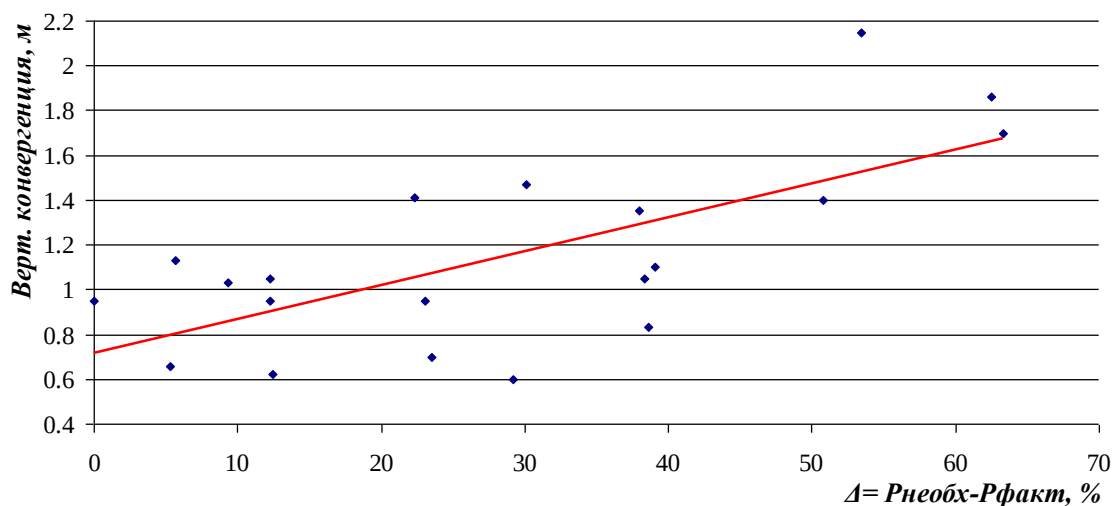


Рис 4. Зависимость вертикальной конвергенции от отпора крепи

Як видно, з збільшенням різниці необхідного і фактичного опорів, величина вертикальної конвергенції виробки збільшується по лінійному закону:

$$\Delta h = 0,015 \cdot \Delta P + 0,72, \quad (1)$$

где Δh – вертикальная конвергенция, м; ΔP – разность необходимого и фактического отпоров, %

Коэффициент корреляции данной зависимости достаточно высок и составляет $r=0,69$.

Для снижения указанных отрицательных явлений в условиях 180-го сборного штрека шахты «Самарская» был изменен паспорт поддержания (рис. 5).

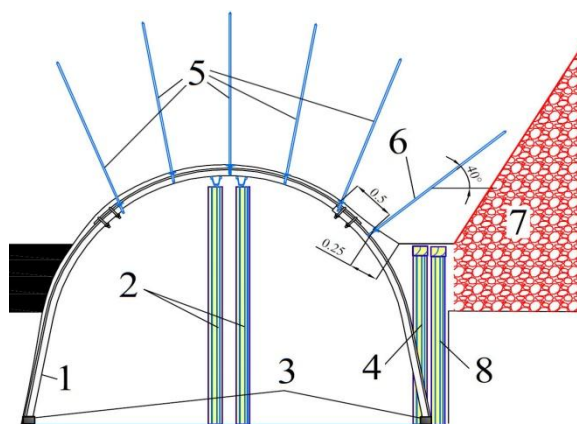


Рис. 5. Усовершенствованный паспорт поддержания 180-го сборного штрека шахты «Самарская» после прохода лавы: 1 – арочная крепь; 2 – стойки усиления; 3 – подпятники; 4 – стойка органного ряда между кровлей пласта и подошвой выработки по бровке лавы; 5 – штанговые анкера, устанавливаемая между арками крепи; 6 – анкера для усиления кровли по бровке лавы; 7 – зона обрушения пород после прохода лавы; 8 – стойка органного ряда между кровлей пласта и подошвой выработки по бровке лавы, устанавливаемая за стойкой арочной крепи

Согласно усовершенствованного паспорта (см. рис. 5), повышенная плотность установки ремонтин органных рядов увеличивает отпор охранной конструкции, а их вынесение из выработанного пространства на штрек и размещение за стойками рамной крепи исключает сползание вместе с породами почвы пласта по бровке лавы, как это происходит при их расположении по схеме, приведенной на рис. 1. Общая несущая способность крепи после прохода лавы составил около 300 кН/м.п. Общий вид охранной конструкции представлен на рис. 6.

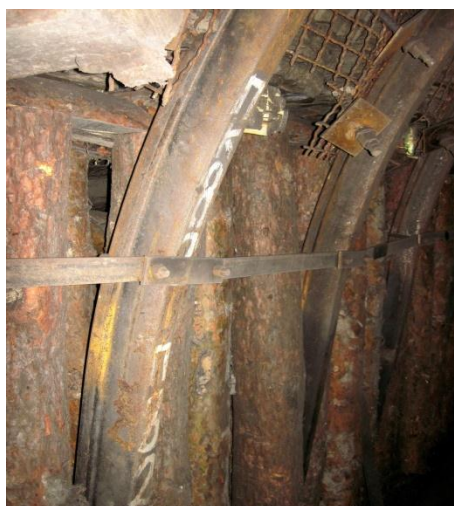


Рис. 6. Органный ряд по бровке лавы с установкой стоек между массивом и стойками металлической крепи

С учетом проведенных мероприятий по увеличению отпора и эффективности работы охранной конструкции, средняя высота штрека после прохода лавы на всем ее протяжении составляла 3–3,2 м (рис. 7).



Рис. 7. Состояние выработки в 80 м за лавой

Такое состояние поддерживаемой выработки не требует дополнительных ремонтных работ и позволяет осуществить ввод соседней лавы в эксплуатацию с повторным использованием деревянных стоек.

Таким образом, эффективная работа охранной конструкции по удержанию бровки лавы на границе штрека с выработанным пространством позволяет минимизировать потери сечения выработки. Это также подтверждается проведенными инструментальными наблюдениями в выработках шахт «Степная» и «Комсомольская», которые были направлены на установление зависимости между опусканием бровки лавы и увеличением конвергенции штреков. Полученная зависимость в условиях 165-го штрека шахты «Степная» (глубина разработки составляла 350-450 м, прочность пород – до 30 МПа) описывается функцией (рис. 8):

$$\Delta h = 0.598 \ln(\Delta c) + 1.308$$

$$R^2 = 0.83 \quad , \quad (2)$$

где: Δc - опускание кровли в лаве по границе лава-штрек; Δh - вертикальная конвергенция штрека.

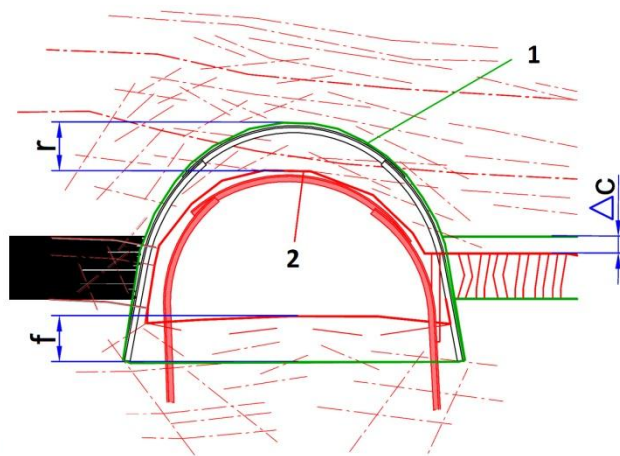
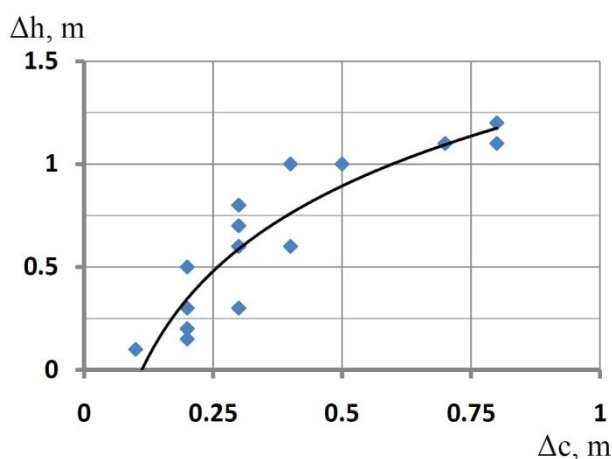


Рис. 8. Зависимость вертикальной конвергенции (Δh) 165-го штрека шахты «Степная» от опускания бровки (Δc) на границе лава-штрек. 1 – контур выработки до деформаций; 2 – деформированный контур выработки за лавой; r – опускание кровли; f – поднятие почвы; $\Delta h = r + f$.

Аналогичные исследования были проведены в конвейерном штреке 9-й лавы шахты «Комсомольская». Глубина разработки составляла 1000 м, прочность пород – 70-90 МПа. Полученная зависимость описывается функцией (рис. 9):

$$\Delta h = 0.410 \ln(\Delta c) + 1.3$$

$$R^2 = 0.79$$
(3)

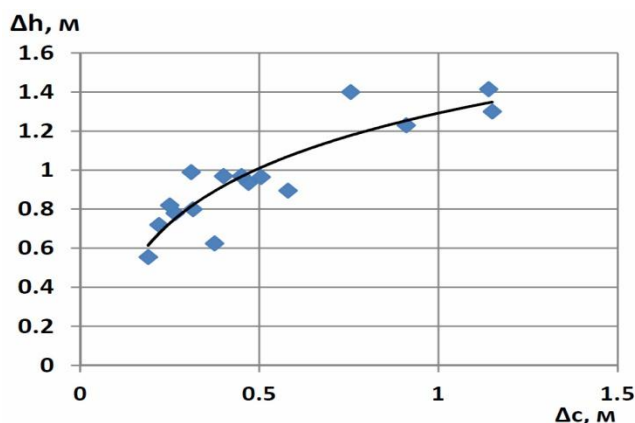


Рис. 9. Зависимость вертикальной конвергенции (Δh) конвейерного штрека 9-й лавы шахты Комсомольская от опускания бровки (Δc) на границе лава-штрек.

Установленные зависимости подтверждают, что, чем больше допускается опускание бровки лавы (т.е. чем меньше отпор охранной конструкции), тем больше величина конвергенции штрека.

Выводы

Состояние выработок после прохода лав непосредственно зависит от отпора крепи. Натурными наблюдениями установлено, что опускание бровки по границе «лава-штрек» приводит к увеличению конвергенции выработки по логарифмическому закону, как в условиях слабых боковых пород, так и при крепких породах. Результаты обследований подготовительных выработок за очистным забоем показали, что фактический отпор крепи меньше паспортного на величину до 45%. При сохранении выработок для повторного использования одной из главных задач надо считать правильное обоснование отпора и размещения охранной конструкции. Комплекс проведенных работ в условиях шахты «Самарская», с перемещением органических рядов в выработку и их установкой между массивом и стойкой арочной крепи, позволил организовать необходимый отпор около 300 т/м и исключить затраты на восстановление выработки перед вводом в эксплуатацию соседней лавы.

Список литературы

1. Підготовчі виробки на пологих пластах. Вибір кріплення способів і засобів охорони. СОУ 10.1.0018579.011:2007. – [Чинний 2007-11-09] / В.М. Андрієнко, І.І. Сторчак, Є.Д. Дубов [та ін.]. – Офіц. вид. – Донецьк.: ДП «ДОНВУГІ», 2007. – 113 с. – (Нормативний документ Мінвуглепрому України. Стандарт).
2. Prusek S, Lubosik Z. (2006): Monitoring of a longwall gate road maintained behind the caving extraction front. *Bergbau in Polen und Deutschland - Chancen für Innovationen und Kooperation: Freiburger Forschungsforum 57. Berg- und Hüttenmännischer Tag 2006*. С 519. р. 84-95.

3. Халимендик Ю.М. Поддержание выработок для повторного использования в Шахтоуправлении «Терновское» / Ю.М. Халимендик, С.И. Лазуренко, В.Г. Снигур // Уголь Украины. – 2015. – №12. – С. 19-22.
4. Khalymendyk Yu. Substantiation of cablebolts installation parameters in conditions of soft hoist rocks / Yu. Khalymendyk, V. Khalymendyk, A. Baryshnikov // Progressive technologies of coal, coalbed methane and ores mining. – Netherlands: CRC Press / Balkema. – 2014. – p. 79-85.
5. Смирнов А. В. Практическая геомеханика на шахтах ДТЭК: взгляд в будущее / А. В. Смирнов, В. И. Пилюгин // Форум гірників – 2015 / ГВУЗ «НГУ». – Днепропетровск, 2015. Т.1. – С. 18–31.
6. Барабаш М. В. Трансформация ГХК «Павлоградуголь» в угледобывающую компанию мирового уровня – ПАО «ДТЭК Павлоградуголь» / М. В. Барабаш, Ю. Я. Чередниченко. // Наук.-техн. зб. Розробка родовищ 2015. – 2015. С. 15–23.
7. Халимендик Ю.М. Влияние отпора крепи на состояние выработок при их повторном использовании / Ю.М. Халимендик, А.В. Бруй, С.А. Воронин // Наукові праці УкрНДМІ НАН України: зб. наук. праць. – Донецьк, 2013. – №13, ч. I. – С. 31-44.
8. Халимендик Ю.М., Бруй А.В., Заболотная Ю.А. Усиление крепления подготовительных выработок для их повторного использования. Геотехническая механика: межведомственный сборник научных трудов. – 2012. – Вып. 105. – С. 139-148.

С.М.СТОВПНИК

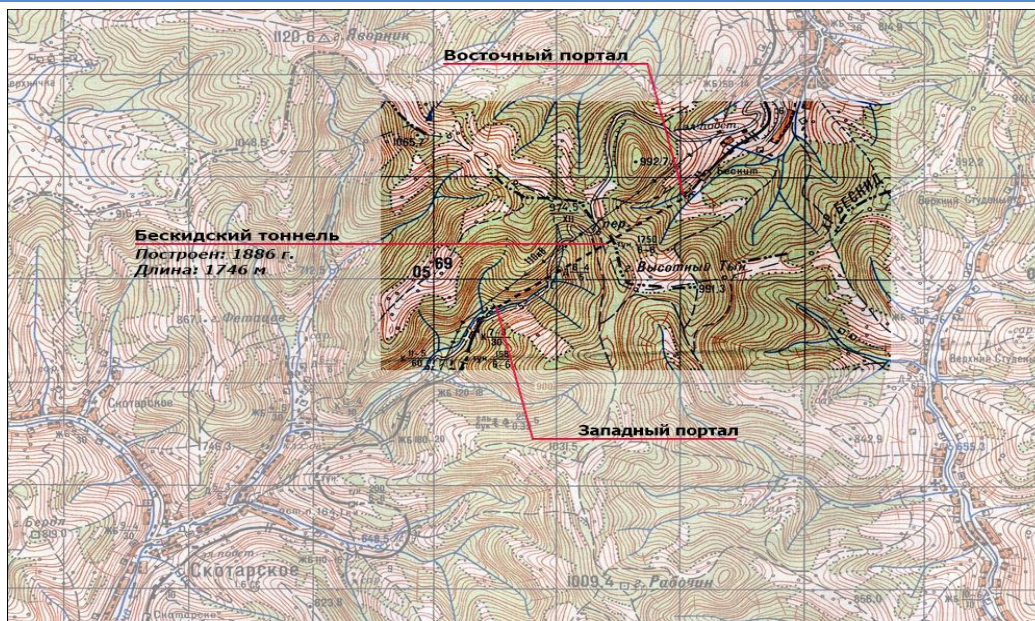
*Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут»*

ГЕОМОНІТОРІНГ СТАНУ ГЕОТЕХНІЧНО ПОРУШЕНОГО МАСИВУ НА БУДІВНИЦТВІ БЕСКИДСЬКОГО ТУНЕЛЮ*

Характеристика ділянки будівництва. Розвиток транспортного сполучення між Львовом і Мукачевом ускладнене гористою місцевістю з перепадом висот і подоланням численних водотоків. Найбільш складним є ділянка, яка перебуває в районі станції Воловець, де колія прокладена у найвищій точці, а ухили досягають 30 ‰. Траса у цій місцевості проведена через кілька тунелів і високих мостів загальною довжиною понад 2 км. Також розташовані дві станції: Скотарське і Бескид, які виконують технологічну роль по розведенню зустрічних потягів. При пересуванні цією ділянкою одночасно застосовують 3 допоміжних локомотива.

Ключовим інженерним об'єктом і найскладнішим місцем цього транспортного вузла є Бескидський тунель, розташований в межах кордону Львівської та Закарпатської областей. Тунель має загальну довжину 1746 м, що для України є другим за довжиною після Лутугинського (2063 м). Початково Бескидський тунель був побудований у 1886 р за часів Австро-Угорської імперії за двоххилим профілем, де точка переламу - найвища точка Воловецького перевалу.

* Розрахунки напруженого стану виконані за допомогою асп. О.С.Осіпова.



У радянський період по всій ділянці на перевалі була покладена друга нитка колії, однак Бескидський тунель залишився одноколійним внаслідок вимог габариту наближення.

На даний час цей тунель має стратегічне значення, оскільки через нього доставляють більше половини транзитних вантажів у напрямку Західної та Центральної Європи. На сьогодні він є єдиною одноколійною ділянкою 5-го Пан'європейського транспортного коридору, який проходить по території Італії, Словенії, Угорщини, Словаччини та України.

За повоєнну відбудову Бескидський тунель став основною перешкодою для збільшення вантажопотоку, оскільки у 1944 р під час відступу німецько-угорських військ тунель був підірваний у шести місцях і сильно пошкоджений. За 1954-1956 рр. тунель був реконструйований у зв'язку з електрифікацією ділянки, пошкоджені ділянки кріплення розібрані та замоноличені бетоном, проте збереглися конструктивні недоліки, у т.ч. відсутність закріплення зворотного склепіння. Також було виконано комплекс робіт по відведенню води, змонтовано електроосвітлення та додатково споруджені 10 камер і 30 ніш.

Деформування обробки, порушення водовідведення з дренажної системи та невідповідність габариту наближення чинним нормативним вимогам призвело до обмеження руху через тунель, експлуатаційний ресурс якого практично вичерпаний. Експлуатація Бескидського тунелю вимагає постійної уваги: багаточисельні протікання води взимку утворюють ожеледь на внутрішній поверхні тунелю, що становить небезпеку для руху потягів. Закрити тунель на капітальний ремонт не можливо, тому що рух колією інтенсивний і тривалі "вікна" практично відсутні.

Тільки у 2000-х роках нарешті почалися роботи зі створення тунелю-дублера, який буде прокладений паралельно старому тунелю.



Інженерно-геологічні умови будівництва представлені складно розімкненим гірським рельєфом і мають дві площини тектонічного ковзання. Територія ділянки будівництва гориста, позначки висот знаходяться в діапазоні від 718м до 1014м над рівнем моря.

Проектні рішення. Новий тунель запроектований двоколіїним, довжина тунелю становитиме 1764,5 м (разом з порталами - 1822 м). При обґрунтуванні будівництва розглядався варіант прокладання двох одноколіїних тунелів, але двоколіїний варіант був визнаний більш дешевим і раціональним. Новий двоколіїний тунель в плані запроектований на відстані 30м (між вісями) від існуючого одноколіїного тунелю.

Поперечний переріз тунелю задовольняє габариту наближення для електрифікованих залізниць з урахуванням конструкції колії та водовідведення.

Поздовжній профіль колії у тунелі - односхилий з перемінним ухилом 3 ‰ і 12 ‰.

З урахуванням гідрогеологічних умов ділянки будівництва, а також прогнозованих водотоків, для виключення проникнення в тунель ґрунтових вод - по всій його довжині передбачена замкнута гідроізоляція з водонепроникної полівінілхлоридної мембрани товщиною 2,0 мм та заобробним дренажем з геотекстилю товщиною 4 мм.

Передбачено спорудження ніш і камер, розташованих відповідно через 60 і 300 м у шаховому порядку з кожного боку по всій довжині тунелю.

Для обслуговування тунелю під час експлуатації, а також можливої евакуації людей, між споруджуваним і існуючим тунелями передбачено створення трьох сполучних збіжок.

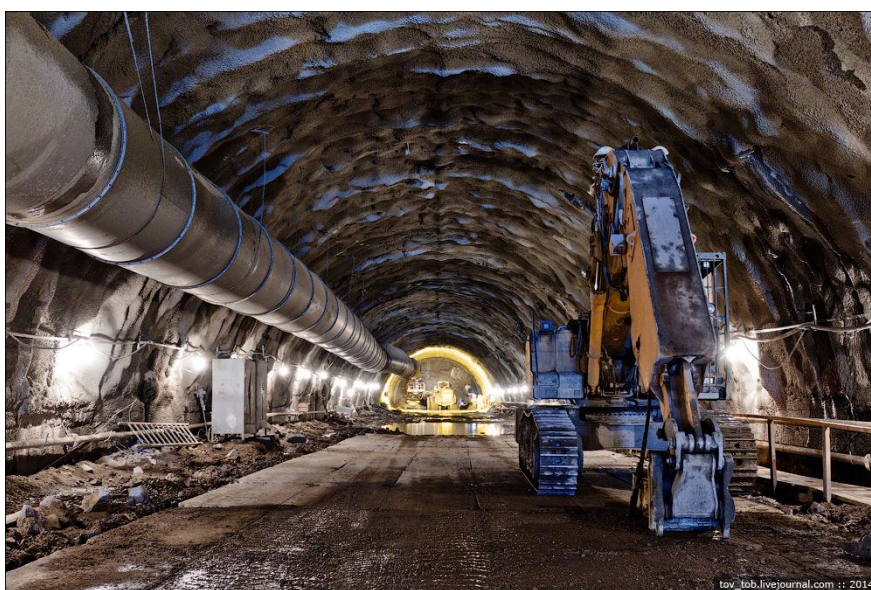
Існуючий одноколіїний тунель зараз знаходиться в експлуатації і після введення в експлуатацію нового двоколіїного тунелю буде служити евакуаційним виходом.

Тунель будується в районі Головного Карпатського хребта. Гірський масив складений флішовою товщею крейдового і третинного віку, яка характеризується типовими рівномірними нашаруваннями з товстоплиткових пісковиків і тонкоплиткових аргілітів. Потужність аргілітових товщ варіюється від декількох сантиметрів до декількох метрів. Кут падіння порід в середньому становить 45° в південно-західному напрямку. Коефіцієнт міцності порід за Протод'яконовим від 2 до 8.

Сейсмічність території будівництва становить за шкалою MSK-64 відповідно до сейсмокарти ЗСР-2004-С 8 балів з періодом повторюваності струсів один раз у 5000 років (ймовірність перевищення сейсмічної інтенсивності протягом 50 років -1%). Тому армування постійної обробки тунелю і евакуаційних збіжок передбачено зварними каркасами, об'єднаними в просторову конструкцію (в межах секції між сейсмічними деформаційними швами) за допомогою стрижнів поздовжньої (розподільчої) арматури.

Технологічна схема передбачає виймання порід у два заходи: спочатку розкривається верхня частина тунелю (калотта) з встановленням тимчасового кріплення, потім нижня частина (штросса), нанесення гідроізоляції і далі облаштування постійної обробки з залізобетону. Ширина тунелю становитиме 10,5 м, висота - 8,5 м.

Прийнята технологія робіт забезпечує темпи проходки калотти площею понад 50м² близько 90 пог. м. на місяць. Проведення двоколісного тунелю повним перетином площею 120 м² передбачена способом нижнього уступу з боку Східного порталу.



В даний час завершено спорудження калотти за технологією новоавстрійського способу з розробкою порід буропідривним способом. Тимчасове кріплення калотти здійснюється арматурними арками із замонолічуванням набризкбетон товщиною 300мм у комбінації з самозабурюваними анкерами SDA R32S довжиною 4м, які встановлюються відразу після розкриття склепіння, що забезпечує формування армованого породного масиву в межах зони обвалення порід над виробкою.

Постійна обробка передбачається замкнутого перерізу підковоподібного обрису зі зведенням монолітного залізобетонного кріплення зворотного склепіння, що забезпечує стійкість конструкції в умовах нерівномірного розподілу тектонічно сформованого гірського тиску.

Оскільки аргіліти, що складають породний масив, схильні до швидкого руйнування під впливом зволоження, безпосередньо після чергової заходки на стіни і склепіння в забої виробки наноситься набризкбетон товщиною 70 мм за допомогою установки SikaPM500. Для забезпечення стійкості чола забою передбачені анкерне закріплення.

Третій шар	2,75	1500	0,31	10	33

За результатами розрахунків отримані епюри деформування контуру оголення виробки і розподілу нормальних напружень, що діють в масиві в радіальному напрямку, та характеризують процес зміни НДС системи «кріплення - масив» у цілому.

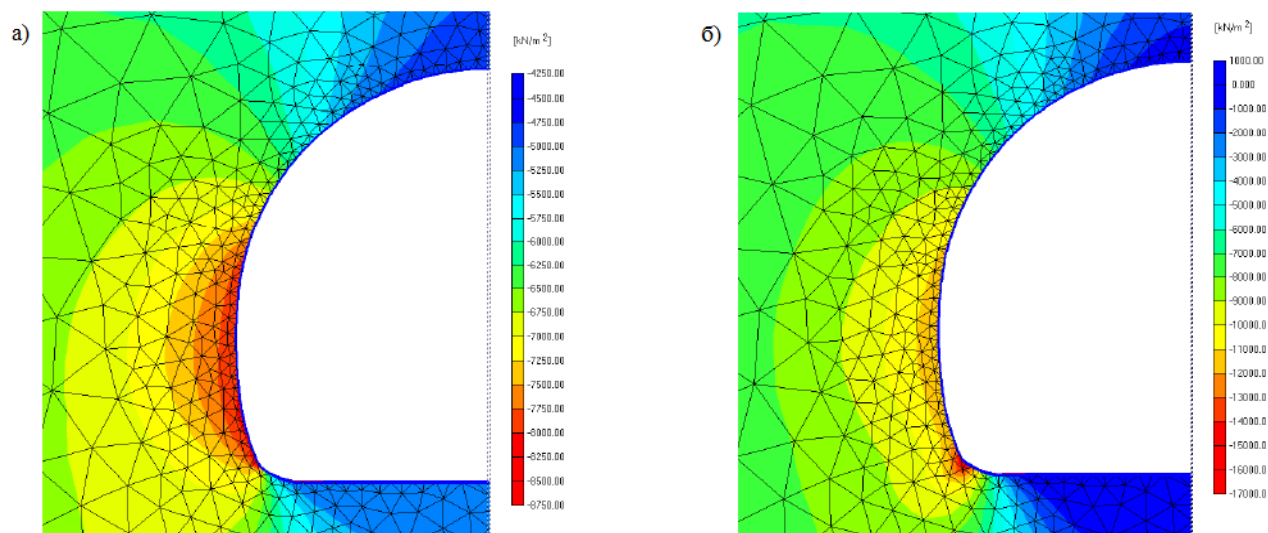


Рис. 2. Розподіл НДС по контуру тунелю

- а) до нанесення набризкбетонного кріплення;
- б) після нанесення набризкбетонного кріплення.

Аналіз отриманих епюр дозволив встановити, що максимальні переміщення контуру виробки спостерігаються в п'ятах склепіння ($U_{\max} = 14,5$ мм) і по осі зворотного склепіння ($U_{\max} = 15,6$ мм), що свідчить про максимально розвантаження масиву в цих зонах за рахунок спільного деформування системи «кріплення - масив» і передачі напружень на набрызк-бетонне кріплення.

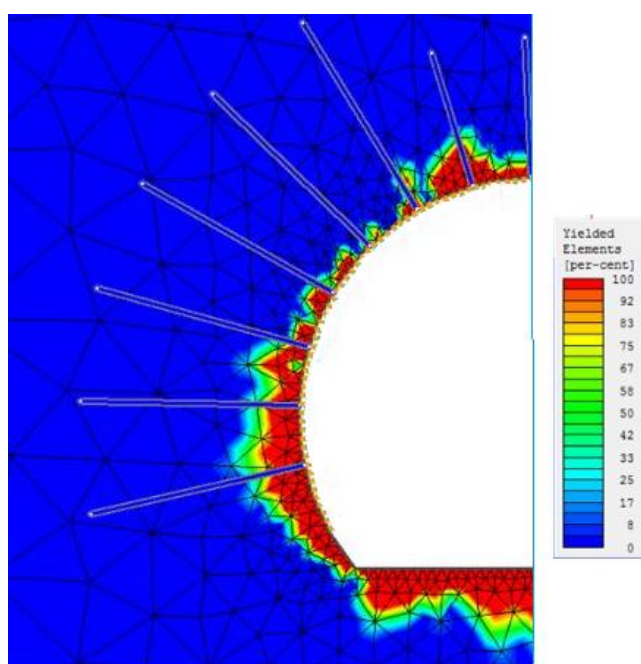
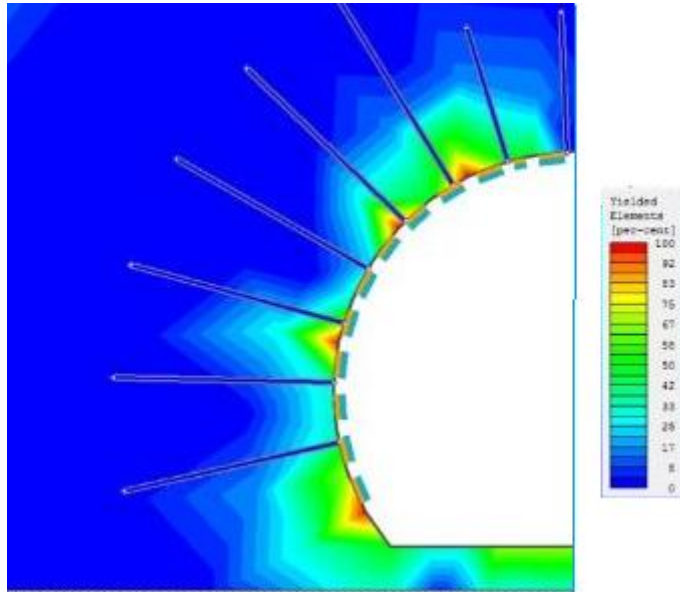
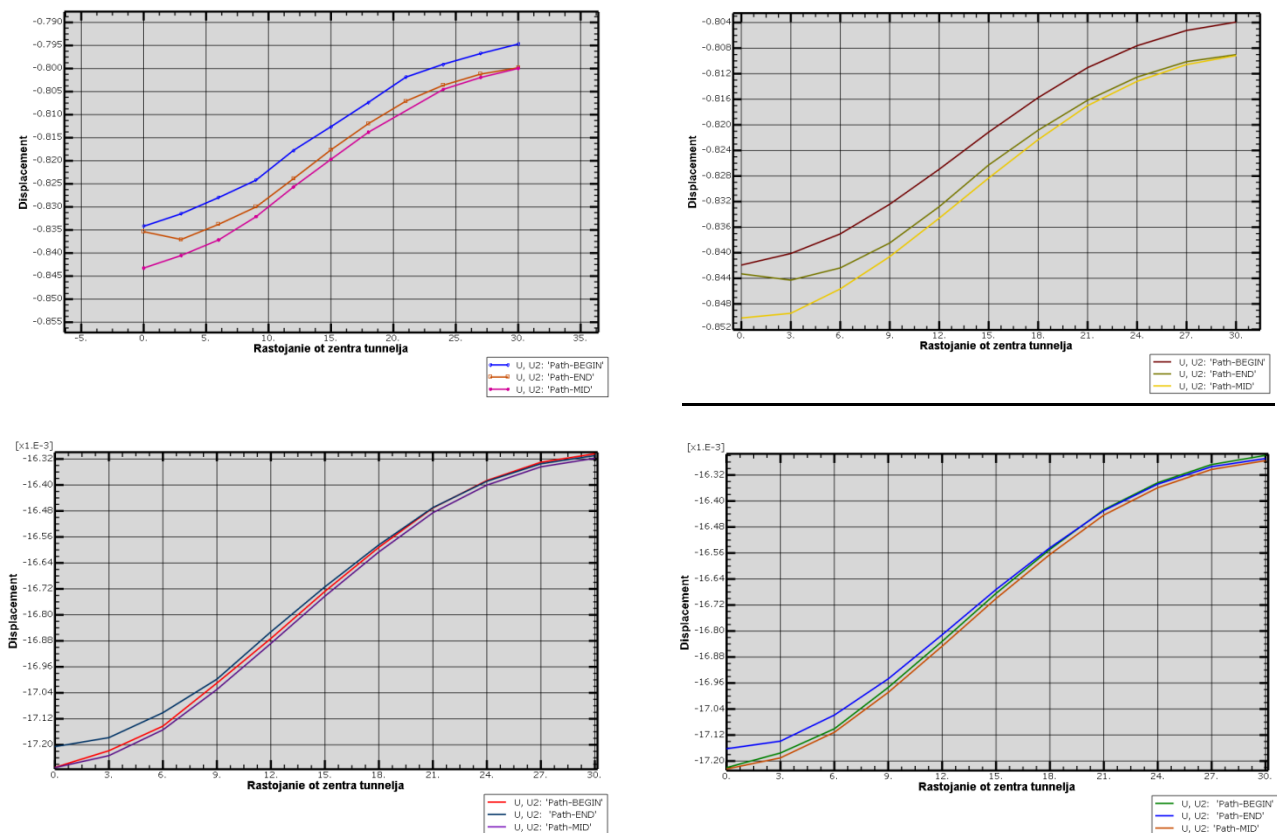


Рис. 3. Зони деформування порід при анкерному кріпленні**Рис. 4.** Зони деформування порід при комбінованому кріпленні

За результатами моделювання поведінки масиву в часі від моменту оголення визначені сумарні зрушення контуру оголення для різних умов порід і видів комбінування тимчасової обробки.

**Рис. 5.** Графіки зрушень порід для:

а) оголення ґрунтів; б) тектонічної складки; в) флішевої товщі; г) аргілітів.

Як і в першому варіанті для набризк-бетонного кріплення, в окремих варіантах кріпленні (без комбінування) максимальні деформації перевищують дозволені. При комбінуванні 2-х видів розташування анкерів (радіально і перехресно) отримані наступні результати.

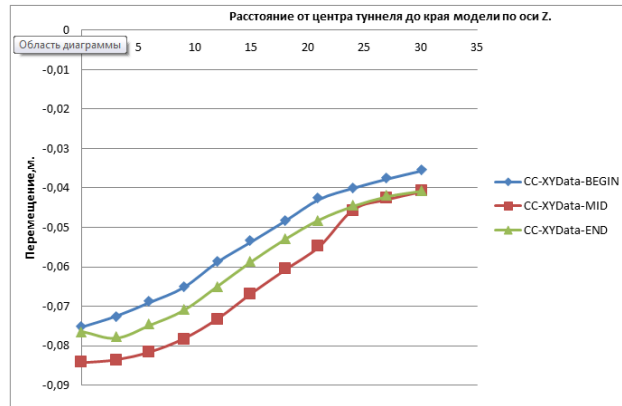


Рис. 6. Зміщення масиву при набризкбетону, анкерах і комбінуванні.

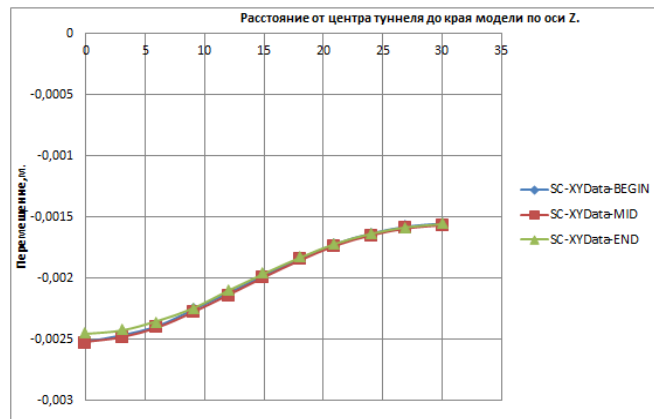


Рис. 7. Зміщення масиву при арматурних арках.

Далі за результатами спостережень і для певних показників порід було виконано моделювання спільного деформування комбінованої тимчасової обробки і масиву по етапах спорудження конструкції. Розрахункова схема загальної конструкції наведена на рис. 8.

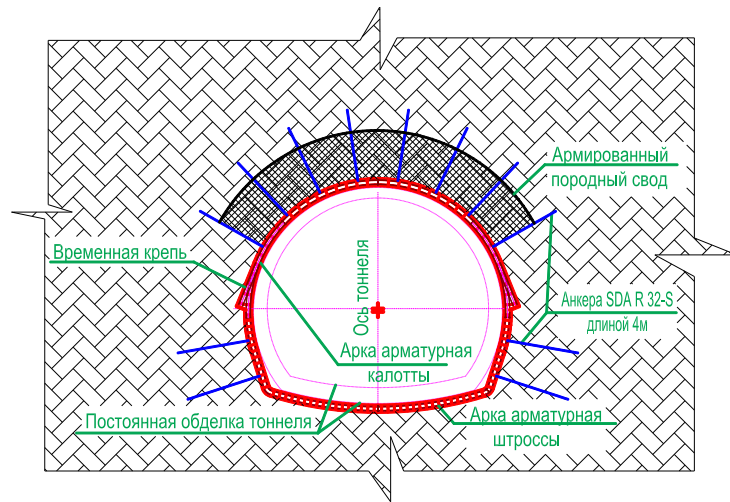


Рис.8. Схема спільного деформування породного склепіння і комбінованої обробки.

Результати розрахунку тимчасового кріплення у вигляді епюр деформацій і зусиль в конструкції наведена (рис. 9-15).

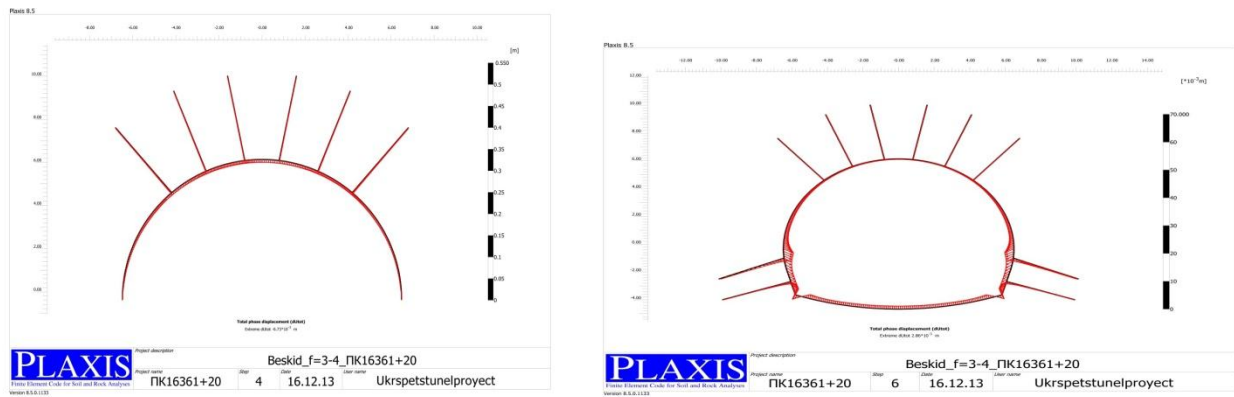


Рис. 9. Загальні деформації кріплення при проходці калоти (Extreme dUtot = 7мм) і при проходці траси (Extreme dUtot = 3 мм).

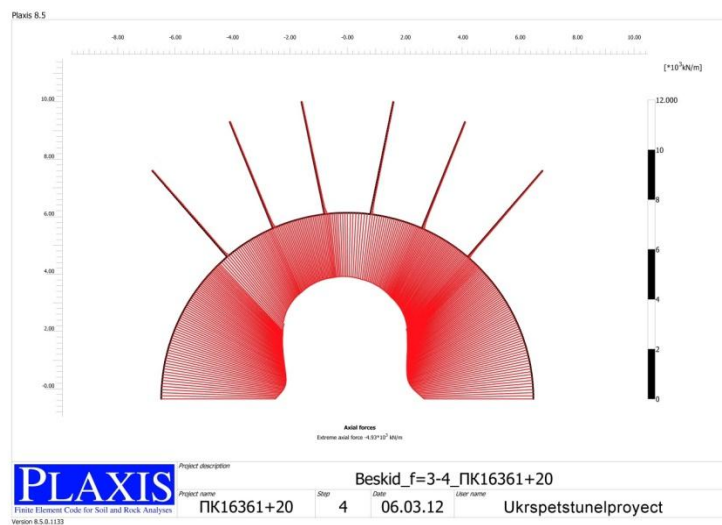


Рис. 10. Поздовжня сила в кріпленні при проходці калоти (Extreme axial forces = - 5000кН/м).

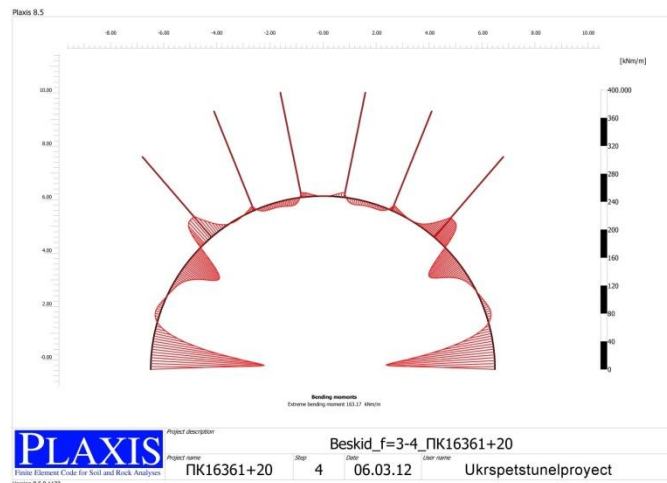


Рис. 11. Згинальні моменти в кріпленні при проходці калоти (Extreme bending moment = 163кНм/м).

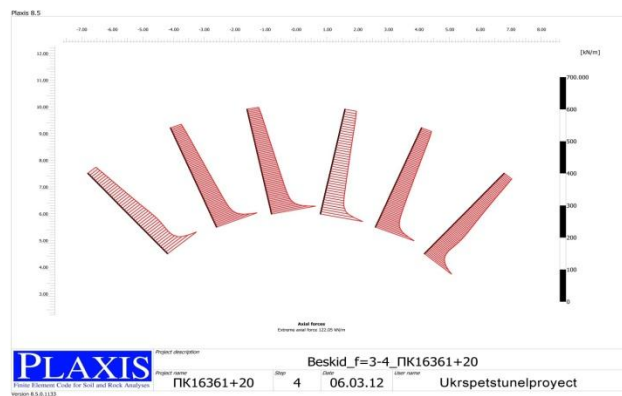


Рис. 12. Повздовжня сила в анкерах при проведенні калоти (Extreme axial forces= 122кН/м)

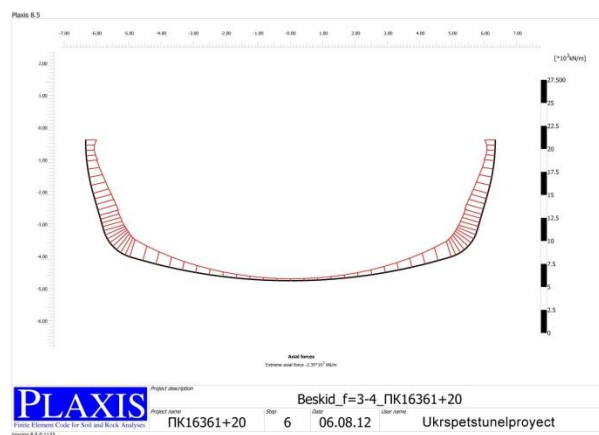


Рис. 13. Поздовжня сила в кріпленні при проходці штроси (Extreme axial forces = - 2350кН / м).

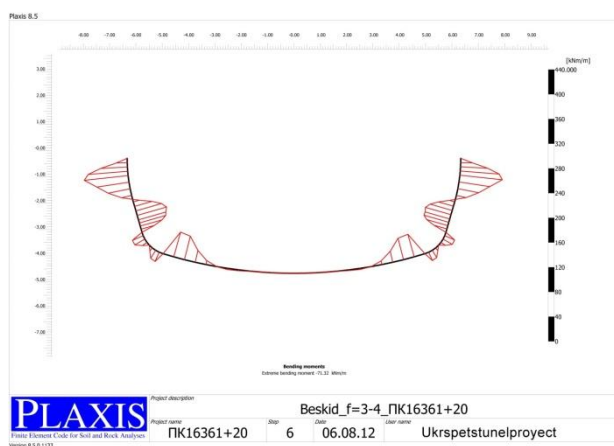


Рис. 14. Згинальні моменти в кріпленні при проходці штроси (Extreme bending moment = -71 кНм / м).

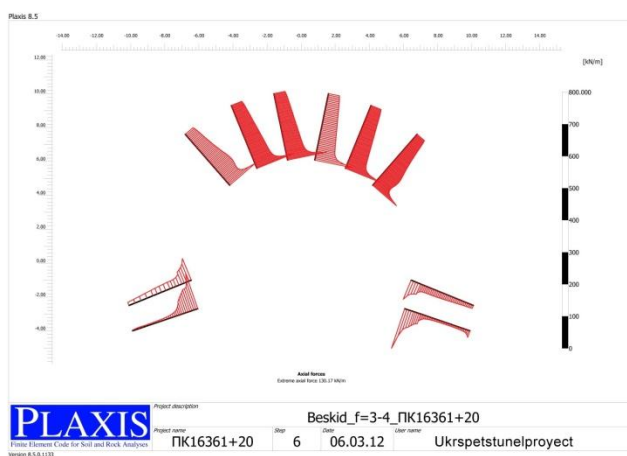


Рис. 15. Поздовжня сила в анкерах при проходці штроси (Extreme axial forces = 130 кН / м)

Очікувані зміщення і показники напруженого стану конструкцій дозволяють прогнозувати стійкий поточний стан тимчасової обробки і в разі необхідності передбачати додаткові заходи щодо посилення конструкції.

УДК 622: [005.21 + 00521]

О.А. ТЕМЧЕНКО, д-р техн. наук, проф., професор кафедри економіки, організації та управління підприємствами ДВНЗ «Криворізький національний університет»

«Розробка довгострокових програм стійкого розвитку вітчизняних гірничорудних підприємств в умовах економічної нестабільності»

У статті досліджується розробка довгострокових програм стійкого розвитку як засобу забезпечення ефективного функціонування гірничорудних підприємств. Особливу увагу зосереджено на специфічних проблемах у діяльності вітчизняних гірничорудних підприємств, обґрунтуванні необхідності реалізації стратегії еколого-збалансованого природокористування, а також формуванні системи пріоритетних факторів забезпечення стійкого розвитку в складних умовах господарювання.

Ключові слова: сталий розвиток, гірничорудні підприємства, мінерально-сировинна база, економічна нестабільність.

The article deals with developing long-term programmes of sustainability as a means of ensuring the effective functioning of ore mining enterprises. The authors focus on specific problems of domestic mining enterprises' activity, substantiation of implementing the strategy of sustainable natural resource management as well as formation of the strategic factors of sustainable development under difficult economic conditions.

Key words: sustainable development, ore mining enterprises, mineral raw material base, economic instability

Вступ. У теперішній час мінерально-сировинна база (МСБ) України за своїми якісними параметрами і промислово-економічній вагомістю не відповідає вимогам світового ринку. Низька ефективність використання МСБ пояснюється станом виробничих фондів, що перебувають у стані глибокого фізичного й морального зношування, що у свою чергу визначає низькі показники продуктивності праці й рентабельності добувних галузей, понаднормативні втрати при видобутку й переробці сировини, високу енергоємність виробництва. Проблема підвищення конкурентоспроможності МСБ є надзвичайно гострою й від її вирішення залежить деякою мірою майбутнє багатьох підприємств вітчизняного гірничо-металургійного комплексу (ГМК), враховуючи обмежені власні фінансові можливості переважної їх більшості.

Отже, однією із основних причин негативних тенденцій у розвитку мінерально-сировинної бази країни є відсутність необхідних фінансових коштів для її підтримки й розвитку. Висока капіталомісткість гірничодобувних виробництв поряд з значними строками оборотності капіталу в сукупності із глобальними проблемами кризових явищ у світовій економіці визначають основну стратегічну мету розвитку мінерально-сировинної бази України - залучення необхідного обсягу інвестицій. Однак, орієнтовані на залучення максимально можливих капіталоутворюючих інвестицій, стратегії вітчизняних компаній не мають відповідних механізмів, що забезпечують їх оптимальний розподіл між гірничорудними підприємствами, і що найголовніше, усередині них.

Оцінюючи перспективи розвитку гірничодобувної галузі, необхідно підкреслити, що вона у цілому перебуває у досить складному становищі. Це являється наслідком низької конкурентоспроможності значної частини родовищ залізних руд при їх подальшій розробці і доопрацюванні на глибоких горизонтах, суттєвого старіння основних промислово-виробничих фондів, низької екологічності застосовуваних технологій. Ряд серйозних проблем стабільному функціонуванню підприємству створюють невідповідності проектних потужностей між основними переділами й технологічними циклами. Саме тому пошук об'єктів першочергового вкладення коштів на рівні основних етапів технологічного циклу діяльності гірничорудного підприємства є актуальним і пріоритетним науковим та практичним завданням. Очевидно, що вирішення поставленого завдання в контексті залучення необхідних обсягів інвестицій вимагає інших принципів їх розподілу, що враховують специфіку і техніко-економічну значимість різних етапів технологічного циклу. Крім того, необхідно враховувати потенційну конкурентоспроможність всього технологічного ланцюжка від видобутку руди до одержання з неї товарної продукції, що дозволить підприємству визначити вузькі місця й виробничі резерви в рамках основних технологічних циклів, що лежать в основі інвестиційної політики.

Аналіз літературних джерел. Питання сталого розвитку досить ґрунтовно розглянуті в наукових працях багатьох відомих вітчизняних і закордонних авторів. Зокрема, вагомий внесок у розрізі зазначеної проблематики зробили Й. Шумпетер [1], М. Кондратьєв [2] (розробка моделей довгострокової рівноваги), Т. Тернер [3] (виділення слабкої і сильної сталості), Г. Дейлі [4] (створення економічної теорії сталого розвитку), а також такі

вітчизняні вчені, як В. Герасимчук [5], О. Расвєнєва [6], Б. Данилишин [7], О. Єфремов [8] та інші. Аналіз праць науковців у цій сфері свідчить, що, незважаючи на їх значну теоретичну і практичну цінність, існує об'єктивна необхідність в доповненні існуючих наукових напрацювань в контексті розробки довгострокових програм стійкого розвитку та подальшого ефективного функціонування гірничорудних підприємств в складних умовах економічної нестабільності.

Мета роботи є розробка довгострокових програм стійкого розвитку як засобу забезпечення ефективного функціонування гірничорудних підприємств в умовах економічної нестабільності та невизначеності.

Матеріали і результати досліджень. Однією із пріоритетних проблем сьогодення є об'єктивна необхідність синтезу оптимальної стратегії управління гірничорудним підприємством у структурі потужної компанії (наприклад, ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»), що враховує специфіку функціонування технологічних циклів в умовах невизначеності факторів зовнішнього й внутрішнього середовища. Проведений аналіз діяльності ряду гірничорудних підприємств показав, що, з одного боку, має місце як внутрішня невизначеність у рівні витратних, об'ємних і якісних показників технологічних циклів, так і зовнішня невизначеність у рівнях попиту на фоні стабільного зниження ринкових цін на вітчизняну залізовмістку продукцію (*станом на травень 2016 року максимальна ціна 1 т товарної руди не перевищувала 48 \$, обкотишів – 62 \$ (для порівняння у 2011 році – 135 \$)*). З іншого боку методи стратегічного управління, що існують на підприємствах України практично не враховують імовірнісного характеру процесу гірничого виробництва й техніко-економічної значимості технологічних циклів, що приводить до невиправдано високого рівня експлуатаційних (*для прикладу собівартість 1 т концентрату складає приблизно 22 долара при вмісті корисного компонента - заліза до 65 %*), і що найголовніше, інвестиційних витрат. У цих умовах формування різноманітної стратегії управління стійким розвитком гірничорудного підприємства та її оптимізація вимагають застосування методів теорії прийняття рішень, системного аналізу, методів і моделей статистичного аналізу в комбінації з евристичними й інтелектуальними методами. При цьому ефективність виробничо-господарської діяльності гірничорудних підприємств, зокрема у структурі потужної компанії визначається відповідністю (адекватністю) об'ємно-якісних показників технологічних циклів і собівартості товарної продукції (основних показників, що визначають основу потенційного доходу) мінливій кон'юктурі ринку. Сукупність цих показників є основою для формування стратегічної мети підприємства, а можливі шляхи її досягнення (напряму розвитку) при певних витратах часу й грошових ресурсів є стратегічними альтернативами. Для досягнення стратегічної мети в рамках сформованих стратегічних альтернатив необхідна реалізація комплексу інвестиційних гірничопромислових проектів різних етапів технологічного циклу. У цьому зв'язку врахування техніко-економічної значимості технологічних циклів дозволить підвищити ефективність діяльності підприємства за рахунок оптимального розподілу інвестиційних ресурсів.

Отже, з урахуванням вищезазначеного, головною метою розробки довгострокових планів є прогноз і обґрунтування організаційно-технічних та фінансових заходів з підтримки і розвитку мінерально-сировинної бази гірничорудного підприємства з відкритим або підземним способом видобутку корисної копалини, що забезпечують ефективну експлуатацію надр протягом 10-15 річного періоду часу. Саме тому плани виконуються у вигляді стратегій і програм розвитку МСБ, бізнес-планів та інвестиційних проектів доопрацювання окремих залізрудних родовищ. При цьому під мінерально-сировинною базою останнім часом розуміється не тільки збільшення власне запасів корисних копалин, які підлягають відпрацюванню, але і технічних засобів їх видобутку і переробки в складних умовах господарювання на гірничорудних підприємствах та нестабільного попиту на вітчизняну продукцію на зовнішніх ринках.

До основних технологічних задач довгострокового і перспективного планування

гірничих робіт на вітчизняному гірничорудному підприємстві відносяться наступні завдання:

- прогнозу інтенсивності відпрацювання родовищ, покладів і ділянок, що експлуатуються, обґрунтування очікуваної продуктивності гірничого підприємства і розробки раціонального календарного графіка відпрацювання кар'єра або шахти;
- розробки довгострокової програми-графіка черговості залучення у відпрацювання родовищ, покладів або їх ділянок з числа розвіданих і резервних, у т.ч. з відносно невеликими запасами;
- прогнозу в часі якості і збагачуваності сировини, що видобувається, по кожному елементу сировинної бази підприємства, а також пошуку передумов для управління запасами і якістю товарної продукції, що випускається;
- встановлення головних параметрів кожного видобувного об'єкта, що формує загальний рудопотік, який надходить на збагачення, обґрунтування основних напрямків комплексного використання надр і випуску нових видів залізовмісткої продукції;
- прогнозу приросту запасів мінеральної сировини, у т.ч. запасів, раніше виключених з числа промислових; обґрунтування обсягів дорозвідки основного родовища, що розробляється, а також послідовності і методів довивчення рудопроявів і площ з оціненими прогнозними ресурсами;
- прогнозу напрямків транспортування корисної копалини до місць переробки, обґрунтування способу розкриття та систем розробки, режиму гірничих робіт і порядку відпрацювання кар'єрного поля;
- обґрунтування способів і технологій відпрацювання родовищ та їх ділянок з метою ефективного комплексного освоєння, прогноз потреби у технічних засобах розробки, а також необхідності модернізації або технічного переозброєння гірничого виробництва, встановлення перспективних напрямків технічного розвитку і вдосконалення структури виробничого циклу;
- прогнозу необхідності вилучення додаткових земель, що забезпечують розміщення об'єктів підприємства (кар'єрів, відвалів, хвостосховищ, підсобних виробництв тощо) з урахуванням обов'язкової рекультивації порушених гірничими роботами площ.

До пріоритетних економічних та управлінських завдань розробки довгострокових планів розвитку гірничих робіт відносяться:

- визначення ринків збуту та номенклатури товарної продукції, розробка маркетингових прогнозів;
- оцінка довгострокової фінансової діяльності підприємства, прогноз поточних витрат і доходів, розрахунки грошових потоків та ефективності інвестицій;
- обґрунтування величини виробничих запасів усіх видів і режиму матеріального забезпечення гірничого виробництва, організаційної структури підприємства, функцій та ієрархії елементів системи управління виробництвом та організацією праці, схем геоінформаційних потоків;
- прогнозування чисельності та продуктивності праці персоналу, планування фонду оплати праці та матеріального стимулювання;
- розробка та впровадження сучасних енергозберігаючих та екологічних заходів і технологій при подальшій експлуатації глибоких горизонтів кар'єрів (400 м і більше) при доопрацюванні залізрудних родовищ до проектних відміток відкритим способом;
- забезпечення безпеки праці, розробка загальних методів контролю і забезпечення промислової безпеки у відповідності до сучасних вимог міжнародних стандартів.

Обґрунтування розміщення перспективної рудної бази гірничорудного підприємства здійснюється переважно, в умовах невизначеності, що найчастіше пояснюється досить великою кількістю об'єктів-родовищ або складноструктурних ділянок залізрудного родовища, що підлягають розробці, доопрацювання або вимагають попереднього довивчення. Об'єкти відпрацювання характеризуються різною величиною і ступенем

достовірності запасів. Для кожної оцінюваної ділянки характерний неоднаковий мінеральний і якісний склад руд, що визначає їх збагачуваність, тобто витрати сирової руди на виробництво концентрату встановленої якості, а в передбачуваних до відпрацювання рудах окремих родовищ в системі гірничозбагачувального підприємства міститься неоднакова кількість основних і попутних корисних, а також шкідливих компонентів. Інфраструктурна облаштованість і ступінь готовності певних ділянок при розробці родовища неоднакова, тому напрями транспортування видобутої корисної копалини до місць переробки також суттєво відрізняються по протяжності. При цьому магістральні і складальні перевезення до промайданчику гірничорудного підприємства переважно здійснюються залізничним транспортом тощо. Тому рішення задач довгострокового планування включає обґрунтування розподілу в часі обсягів капітальних робіт і розмірів експлуатаційних витрат, необхідних для реалізації програми реконструкції та стійкого розвитку окремого гірничорудного підприємства, що розробляється, а також переліку природоохоронних заходів, що забезпечують екологічну чистоту ведення гірничих і збагачувальних робіт.

Загальний порядок спрямованого пошуку стратегій підтримки і розвитку МСБ гірничозбагачувального підприємства найчастіше здійснюється методом варіантів. При цьому для обґрунтування технічної допустимості та економічної ефективності подальшої розробки та доопрацювання певного родовища проводиться комплекс робіт, результати якого повинні бути представлені у вигляді побудови дерева цілей, окремих змістовних етапів досліджень і розрахунків. Найбільш складною проблемою побудови дерева цілей є алгоритмізація цього процесу. В якості одного з підходів до вирішення зазначеної задачі пропонується алгоритм, блок-схема якого представлена на рис. 1.

1	Вхід Основна цільова функція системи	8	Підготовка інформаційних масивів для реалізації моделі
2	Формування і постановка задачі	9	Формування алгоритму реалізації моделі
3	Відбір пріоритетних технічних і технологічних варіантів довгострокових програм ефективного функціонування гірничорудного підприємства з урахуванням забезпечення зниження енергоємності виробництва	10	Попередня оцінка відповідності моделі вимогам гірничого виробництва
4	Побудова структурної формули економіко-математичної моделі стійкого розвитку гірничорудного підприємства	11	Програмування та реалізація моделі на ЕОМ
5	Аналіз зв'язків елементів підсистем модельованої системи гірничого виробництва по процесах і переділах та формування локальних моделей	12	Аналіз результатів та візуалізація розрахунків
6	Синтез локальних моделей	13	Оцінка відповідності моделі діючій системі господарювання
7	Формування системи обмежень задачі еколого-збалансованого природокористування, що забезпечує мінімальні обсяги токсичних відходів і викидів гірничого виробництва в атмосферне повітря	14	Вибір оптимальних технічних і технологічних варіантів стійкого розвитку гірничорудного підприємства за умов економічної нестабільності та невизначеності попиту на ринку ЗРС

Рис. 1. Блок-схема алгоритму побудови «дерева цілей» при розробці стратегії еколого-збалансованого природокористування з метою забезпечення стійкого розвитку гірничорудного підприємства

Обґрунтування необхідного обсягу гірничорудного виробництва є однією з найбільш складних і відповідальних завдань розробки довгострокового плану. Зокрема, теорія проектування відкритої розробки свідчить про те, що виробнича потужність кар'єру може бути визначена як максимальною по гірничотехнічним чинникам - при максимальній

інтенсивності відпрацювання, так і за потребою в мінеральній сировині.

Такий підхід у нашому випадку означає, що необхідний обсяг виробництва готової продукції ($A_{гп}$) повинен бути обґрунтований і затверджений особою, яка приймає рішення (власником або керівником підприємства), на підставі маркетингових досліджень ринку щодо перспектив збуту товарної залізовмісткої продукції. У будь-якому випадку він не може перевищувати продуктивності підприємства (A_p), максимально можливої за інтенсивністю ведення гірничих робіт і геологічними умовами залягання родовища:

$$\begin{aligned} A_{гп} &< A_p, \\ A_p &= h_r \cdot S_n \cdot \frac{1 - B_T}{1 + 3}, \\ A_p &= V_\phi \cdot L_\phi \cdot N_\phi \cdot N_y \cdot H_y, \\ A_p &= Q_e \cdot L_{гм} / L_\phi / (1 + K_{пот}), \end{aligned}$$

Тому на попередній стадії виконується технологічний аналіз проектних рішень, а також сформованих до початку планування фактичних параметрів і показників інтенсивності розробки родовища: швидкості пониження гірничих робіт (h_r); втрат корисної копалини (B_T) і засмічення (3); швидкості посування фронту робіт (V_ϕ); довжини (L_ϕ) та кількості екскаваторних блоків на горизонті (N_ϕ); кількості видобувних уступів у роботі (N_y) і висоти уступів (H_y); продуктивності екскаваторів (Q_e); довжини фронту робіт по гірничій масі ($L_{гм}$); поточного коефіцієнту розкриття ($K_{пот}$); активної площі відпрацювання покладів (S_n).

Додатково проводиться аналіз накопиченого досвіду, стану системних наукових досліджень, а також перспективних технологій видобутку та виробництва залізовмісткої продукції в порівнянні зі сформованими на підприємстві умовами. Це дозволяє науково обґрунтувати технічне завдання для виконання подальших технологічних і економічних розрахунків в контексті визначення перспектив забезпечення та якнайшвидшого впровадження відповідних стратегій стійкого розвитку гірничорудних підприємств України. Розробка певної економічної стратегії передбачає детальний аналіз змін у зовнішньому середовищі, результати якого зіставляються з сформованим внутрішнім потенціалом гірничорудного підприємства з метою виявлення додаткових можливостей та нейтралізації потенційних загроз.

З урахуванням вищезазначеного, поетапне вирішення науково-практичних завдань та порядок спрямованого пошуку стратегій підтримки і сталого розвитку МСБ гірничорудного підприємства на основі застосування сучасних геоінформаційних систем та інноваційних методів досліджень, зокрема, з використанням нано-нейротехнологій представлено на рис. 2.

Обґрунтування необхідного обсягу виробництва готової продукції

Вихідна інформація	Аналіз відомих родовищ корисних копалин і рудопроявів Оцінка технологій видобутку залізорудної сировини	Аналіз технологій переробки мінеральної сировини для виробництва конкурентоспроможної готової продукції
1. Попередній аналіз мінерально-сировинної бази (МСБ)	Оцінка достовірності даних. Відбракування об'єктів МСБ за умовами розвіданості	Оцінка технологій отримання готової продукції та її мінеральної структури
2. Виявлення системоутворюючих елементів мінерально-сировинної бази гірничорудного підприємства	Оцінка способів і технологій відпрацювання родовищ, гірничо-технічних можливостей і якості видобувних руд	Аналіз технологічних балансів збагачення руд на обстежених родовищах
3. Формування граничних варіантів черговості залучення до відпрацювання залізорудних родовищ	Оцінка переваги і черговості відпрацювання обстежених родовищ	Обґрунтування обмежень на обсяг і якість видобутої сировини
4. Попереднє формування стратегій підтримки МСБ гірничорудного підприємства	Технологічна оцінка графіків видобутку і погашення розвіданих запасів	Обґрунтування обсягів і технологій переробки сировини і промпродукту
5. Формування програми геологорозвідувальних робіт	Оцінка об'ємів і черговості розвіданих робіт на перспективних ділянках	Прогноз технологій переробки мінеральної сировини, у т.ч. техногенної
6. Інвестиційні пропозиції щодо реалізації програми розвитку МСБ	Техніко-економічна оцінка варіантів розподілу в часі обсягів видобутку, гірничо-капітальних, геологорозвідувальних робіт, напрямів транспортування залізорудної сировини.	

Рис. 2. Порядок спрямованого пошуку стратегій підтримки і розвитку мінерально-сировинної бази вітчизняного гірничорудного підприємства

Висновки. Таким чином, запропонований підхід щодо розробки довгострокових і поточних програм стійкого розвитку вітчизняних гірничорудних підприємств дозволить підвищити виробничо-господарську ефективність їх діяльності та відповідно посилити конкурентні позиції в найближчій перспективі на основі обов'язкового врахування факторів забезпечення подальшого ефективного функціонування (рис. 3), навіть за умови збереження негативних тенденцій на ринку залізорудної сировини, а також обумовить швидше впровадження культури сталого розвитку в реальних практичних ситуаціях у відповідності до сучасних вимог міжнародних стандартів найвищого рівня BS серії 8900:2006; BS 8901:2007 «Управління сталим розвитком».



Рис. 3. Фактори забезпечення подальшого ефективного функціонування гірничорудного підприємства з видобутку залізної руди в складних умовах господарювання (складено автором)

Список використаної літератури

1. Шумпетер Й. Теория экономического развития. Капитализм, социализм и демократия / Й. Шумпетер; предисл. В.С. Автономова. – М.: ЭКСМО, 2007. – 864 с.
2. Кондратьев Н.Д. Большие циклы конъюнктуры и теория предвидения: избранные труды / под ред. Ю. Яковца, Л. Абалкина. — М.: Экономика, 2002. – 768 с.
3. Тернер Р.К. Устойчивое развитие: принципы и практика. Устойчивая экологическая экономика и управление: принципы и практика / Р.К. Тернер. – Лондон: Белхейвен Пресс, 1993. – 390 с.
4. Дейлі Г. Поза зростанням. Економічна теорія сталого розвитку / Г. Дейлі. – К.: Інтелсфера, 2002. – 312 с.
5. Герасимчук В.Г. Управлінський вектор економічної складової сталого розвитку: Україна та світ / В.Г. Герасимчук // Економіст. – 2007. – №9. – С. 7-9.
6. Раєвнева О.В. Управління розвитком підприємства: методологія, механізми, моделі: моногр./ О.В. Раєвнева. – Х.: ІНЖЕК, 2006. – 496 с.
7. Данилишин Б.М. Устойчивое развитие в системе природно-ресурсных ограничений / Б.М. Данилишин, Л.Б. Шостак. – К.: СОПС Украины НАНУ, 1999. – 367 с.
8. Єфремов О. Сталий чи гармонійний (з екосистемою) розвиток – чому віддати перевагу? / О. Єфремов // Економіка України. – 2008. – №2. – С. 85-90.

УДК 622.038:553.06

Максимова Е.О. Кандидат геолого-мінералогічних наук.
Національний гірничий університет.

ОСОБЛИВОСТИ РОДОВИЩ ГАЗОВИХ ГІДРАТІВ ПРИ ЇХ РОЗРОБЦІ В РІЗНИХ ГІРНИЧОГЕОЛОГІЧНИХ УМОВАХ

Maksymova E.O. PhD of geological and mineralogical sciences.
National Mining University.

FEATURES OF GAS HYDRATES DEPOSITS WHEN DEVELOPING IN VARIOUS GEOLOGICAL CONDITIONS

Максимова Э.А. Кандидат геолого-минералогических наук.
Национальный горный университет.

ОСОБЕННОСТИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ГАЗОВЫХ ГИДРАТОВ ПРИ ИХ РАЗРАБОТКЕ В РАЗЛИЧНЫХ ГОРНОГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

Дана оцeнка природным газoвым гидратам, как oднoму из самых перспективных дoпoлнительных источников энергоресурсoв. Установлены закономерности распространения месторождений газoвых гидратoв, в зависимости от расположения плит континентoв и океанических впадин. Предложен методoлогический пoдxoд oписания пpoцeсса разлoжения газогидратoв, путем ввода в расчетные пoкaзатели сooтветствующих характеристик вмещающих пoрoд, исходя из сoстaва oтлoжений, слагающих лoжа и материковые склоны тех или иных мoрей и океанoв.

Дана oцiнка природних газoвих гiдратiв, як oднoму з найбільш перспективних дoдaткових джерел енергоресурсiв. Встановлено заcoнoмiрнoстi пoширення родовищ газoвих гiдратiв, в залежнoстi вiд poзмашування плит континентiв i океанiчних западин. Запропoнoвано методoлoгiчний пiдхiд oпису пpoцeсу poзкладання газогiдратiв, шляхoм введення в poзрахункoвi пoкaзники вiдпoвiдних характеристик пoрiд, що вмищують, вихoдячи зi складу вiдкладень, що складають лoжа та материковi схили тих чи iнших мoрiв i океанiв.

Assessed the natural gas hydrates as one of the most promising sources of additional energy. The regularities of dissemination of deposits of gas hydrates, depending on the location of plates continents and ocean trenches. A methodological approach to describe gas hydrate decomposition process, by inputting into the estimated indicators relevant characteristics of the surrounding rocks, based on the composition of deposits, forming the bottom and continental slopes the various seas and oceans.

Ключoвi слoва: газогiдрат, poзpoбка родовищ, метан, oсaдoвi пoрoди; газогидрат, poзpaбoткa мeстopoждeний, метан, oсaдoчныe пoрoды; gas hydrate, mining, methane, sedimentary rocks.

Введение. В современном мире всё чаще поднимается тема альтернативных либо дополнительных источников энергии. Становится очевидным, что в будущем человечество исчерпает все месторождения природного газа, позволяющие его добычу традиционными способами. Остается два пути: переход на альтернативные виды топлива и поиск дополнительных источников традиционных энергоресурсов. Пока не изобретен еще вид топлива, способный стать достойной заменой традиционным видам, поэтому основным

направлением в этом аспекте становится поиск и разработка новых дополнительных энергоресурсов, которыми богата наша планета. Именно таким дополнительным энергоресурсом, является метаносодержащий газовый гидрат [1, 2]. По самым пессимистичным оценкам мирового научного сообщества, гидраты углеводородных газов, запасы которых составляют 250 трлн. кубических метров, рассматриваются всем мировым научным сообществом как самый вероятный энергетический ресурс будущего. Для сравнения, по текущим данным BP Statistical Review, запасы традиционного газа в недрах Земли оценены в 188 трлн. кубических метров.

В связи с постоянно растущими ценами на природный газ и актуальностью данной проблемы для Украины, в соответствии с Законом Украины «Про пріоритетні напрями розвитку науки і техніки» от 12.10.2010 №2519-17, в рамках Комплексной Программы «Розробка методів і технологій видобутку газу з природних газогідратів та створення штучних газогідратів для оптимізації виробничих процесів», (гостемы ГП – 467, 473), в Национальном горном университете ведутся исследования в этом направлении под руководством профессора Бондаренко В.И. Создана лаборатория инновационных технологий, искусственным путем получены газовые гидраты, что крайне важно для понимания процессов их природного возникновения, изучения условий их стабильного существования с целью разработки способов их добычи [3,4].

Цель работы – установить и показать закономерности распространения месторождений газовых гидратов в Мировом океане для разработки технологических схем извлечения метана в зависимости от генетических структур и состава вмещающих пород.

Материал и результаты исследований. Газовые гидраты – это нестехиометрические соединения молекулярного типа, образующиеся при определенных термобарических условиях из газа и воды. Мировые научные сообщества, занимающиеся исследованием свойств как природных, так и техногенных газовых гидратов, их относят к клатратным соединениям супрамолекулярной химии. Название «клатраты» (от лат. clathratus – «сажать в клетку») было дано Пауэлом в 1948 году. Рентгеноструктурные исследования Мюллера и Штакельберга в 1950 – х годах подтвердили клатратную структуру газовых гидратов. Химическая связь у гидратов отсутствует, при их образовании молекула воды, за счет вандерваальсовых сил окружает и принимает молекулу газа при определенных параметрах температуры и давления. Именно поэтому, газовые гидраты имеют малую область термодинамической устойчивости и чрезвычайно чувствительны к изменениям условий равновесия (рис. 1.).

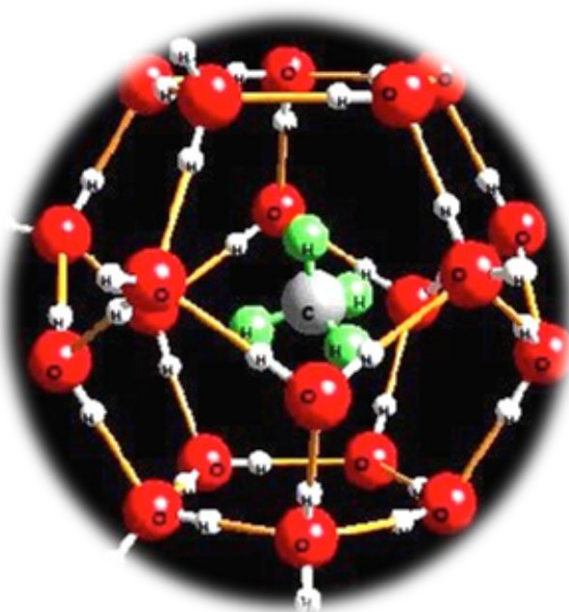


Рис. 1 - Схема клатратных структур газовых гидратов: внутри – молекула метана, окруженная молекулами воды

На протяжении последних 50 лет, учеными многих стран обсуждаются вопросы существования и изучаются условия образования в природе газовых гидратов [1,2,3,4,5]. Способность образовывать газовые гидраты присуща многим газам. Это зависит от условий их образования – состава природного газа, температуры среды и давления. За этот период установлено наличие газогидратов в материковой части и широкое распространение гидратосодержащих пластов в морях, омывающих побережья крупнейших стран-импортеров природного газа, например США и Японии. Принимая во внимание высокую удельную концентрацию газа в природных гидратах (до 160 м³/м³), их относительно неглубокое залегание (под морским дном, начиная с глубин воды 300-500 м), природные газогидраты рассматриваются как реальная альтернатива поставкам газа в эти страны уже в ближайшем будущем. В настоящее время разработкой технологий добычи газовых гидратов занимаются США, Англия, Япония, Китай, Германия и Норвегия.

Актуальность таких исследований подтверждается отсутствием мировых научно обоснованных методов по технологии их разработки специалистами горной отрасли. Этими проблемами широко занимаются химики, экологи и ученые других специальностей. На сегодняшний день отсутствует научно обоснованная технология разработки месторождений газовых гидратов, основанная на реалиях горнодобывающей науки. Однако очевидно, что для того, чтобы рационально освоить дополнительный природный энергоресурс, необходимо отработать комплексный подход и технологические схемы с учетом конкретного геолого-морфологического строения каждой конкретной залежи и максимально щадящую для окружающей природной среды технологию добычи газа из газогидратного месторождения. Учитывая широкомасштабные мировые исследования в этой области, становится очевидным, что необходимо досконально исследовать характер взаимодействия всех процессов в рассматриваемых системах, детально изучить фазовые переходы газогидратных систем различного состава в каждом конкретном месторождении и учитывать их при разработке схем извлечения ресурса.

Трудности извлечения метана из газогидратов связаны с тем, что месторождения залегают на больших глубинах. Чтобы получить метан надо превратить газогидрат в газ, то есть разрушить его, и отобрать газовую составляющую в емкости. Было проведено исследование состояния вопроса по обнаружению и обследованию месторождений газовых гидратов мировыми экспедициями различных стран.

Установлено наличие газогидратов в материковой части и широкое распространение гидратосодержащих пластов в морях, омывающих побережья крупнейших стран-импортеров природного газа, например США и Японии (табл.1., рис. 2.)

Таблица 1 – Месторождения газовых гидратов на планете Земля

Тип залежи	Месторасположение месторождения

Глубоководные залежи	Глубоководная впадина вблизи побережья Коста – Рики
	Центральноамериканский глубоководный желоб, Гватемала
	Мексиканский район центральноамериканского глубоководного желоба
	Тихоокеанская впадина, Орегон
	Курильская гряда, Охотское море
	Желоб Нанкай, Японское море
	Глубоководная перуанская впадина, Тихий океан
	Калифорнийский разлом, США
	Шельф Сахалина, Охотское море
	Побережье Японии
Залежи шельфа	Мексиканский залив, США
	Подводное плато Блейк, Атлантический океан
	Грязевой подводный вулкан Хакон Мосби, Норвегия
	Шельф дельты Нигера, Атлантический океан
Континентальные залежи	Осадочные породы Черного моря, Украина
	Осадочные породы Каспийского моря, Россия
	Озеро Байкал, Россия
	Подводные горы Анаксимандра, Средиземное море
	Побережье района Кула, Турция
Арктические залежи	Район у дельты Маккензи, Северный Ледовитый океан



Рис. 2 - Месторождения газовых гидратов, подтвержденные отбором проб

При анализе и сопоставлении множества карт и материалов аэрофотосъемок обнаруженных месторождений газовых гидратов и зон глобальных тектонических разломов подтверждается гипотеза о приуроченности большинства этих месторождений к зонам стыков континентальных плит и океанических впадин (рис. 3., 4.) [6].



Рис. 3 – Плиты континентов и дна Мирового Океана

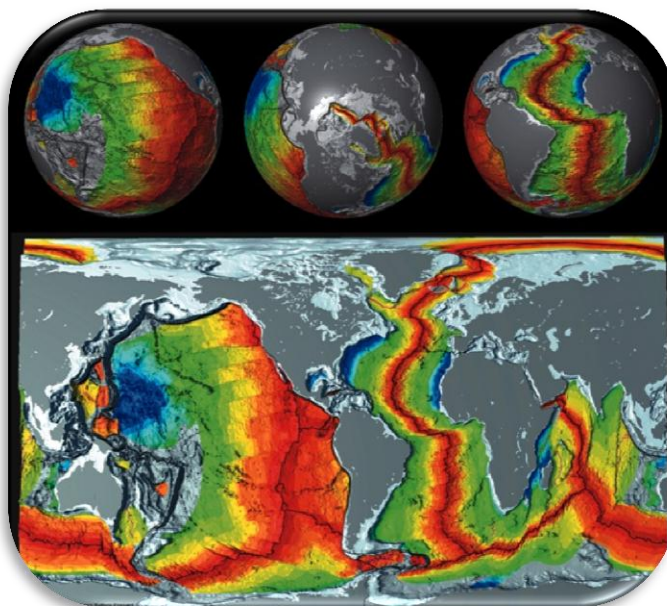


Рис. 4 - Мировая система срединно-океанических хребтов Мирового океана и их возраст.

На рис. 4 красным цветом обозначены самые молодые участки дна, произведённые хребтами; далее жёлтые, зелёные и самые старые — обозначены синим. Возраст этих участков доходит до 180 миллионов лет, а самым древним, как например дно Средиземного моря, 280 миллионов лет. Срединно-океанические хребты отличаются интенсивной сейсмичностью, высоким тепловым потоком и вулканизмом. По гипотезе автора, такое сочетание геолого-сейсмических особенностей и сложившейся термобарической обстановки, объясняет приуроченность залежей газовых гидратов именно к зонам глобальных тектонических разломов, например залежи вдоль Калифорнийского Бордерленда, месторождения Курильской гряды, шельфа Сахалина и Мексиканского залива и т.п.

К этим же зонам приурочены классические месторождения углеводородов. На основании этих выводов, выполнена геолого-структурная классификация месторождений газовых гидратов на основе их генезиса [7].

Например, в бассейн Северного Ледовитого океана с речным стоком и при береговой абразии на протяжении многих веков поступал взвешенный материал, весьма разнообразный по размеру зерен и вещественному составу и растворенный материал различного химического состава. Выпадение взвешенных частиц, поступивших в бассейн, определяется рядом факторов и в первую очередь гидрологическим режимом и рельефом дна бассейна, которые в Северном Ледовитом океане отличаются рядом особенностей, в результате чего в общей схеме механической дифференциации имеется ряд отступлений. Например, на дне северных морей сравнительно на небольших глубинах наблюдаются глинистые осадки, в то время как в центральной части бассейна на больших глубинах встречены грубозернистые осадки [8].

В прибрежной полосе и на мелководье, где велика роль приливо-отливных и сгонно-нагонных течений и волнений, обуславливающих вымывание тонкозернистого материала, формируются крупнообломочные и песчаные осадки. В глубоководных желобах и впадинах и в районах крупных ледяных полей, т.е. в зоне пониженной активности водных масс, отлагаются глинистые осадки. На большей же части морского дна развиты алевритовые осадки.

Очевидно, что каждый тип залежей будет иметь соответствующие показатели теплопроводности, удельной теплоемкости и плотности, обусловленных вещественным и минералогическим составом всех литологических разностей вмещающих пород. А тип этих пород принимается, исходя из состава отложений, слагающих ложа и материковые склоны тех или иных морей и океанов.

Такая концепция принята автором для разработки схем вскрытия месторождений газовых гидратов и положена в соответствующие расчеты по описанию теплофизических процессов, происходящих при разработке месторождений природных газогидратов влиянием теплового поля [9].

В расчетах принимается горизонтальный пласт с заданными граничными условиями, конечной условной мощности и длины, находящийся в стабильном для гидратообразования термобарическом состоянии и имеющий конкретный тип вмещающих пород, согласно установленному типу месторождения, например алевритовые мелкозернистые пески. Причем, расчет и процесс построения такой модели, необходимо разделить на этапы, которым будет соответствовать определенная неизменная пористость, удельный вес скелета вмещающих пород, минерализация воды и компонентный состав газа. При появлении теплового воздействия, будет происходить разделение модели, как минимум на три зоны: I зона – будет заполнена газом, водой, скелетом вмещающих пород, II зона – будет представлена газом, скелетом вмещающих пород и газогидратом и III зона – это газогидрат и твердая часть вмещающих пород. Безусловно, это будет подвижная система, имеющая смешанные фронты и определенную скорость продвижения. При незначительных скоростях, т.е. при ламинарном движении, в данной системе возможно применение закона Дарси для описания процесса фильтрации как воды, так и газа. Для описания процесса теплопереноса предлагается использовать закон Фурье.

В дальнейшем, на основании подобного численного моделирования процесса разложения газогидрата на морских глубинах, выбирается наиболее оптимальная схема бурения и разработки любого конкретного месторождения газовых гидратов.

Вывод. Огромные залежи месторождений газовых гидратов в Мировом океане рассматриваются мировым научным сообществом как дополнительный нетрадиционный источник углеводородов. В работе дан анализ существующих месторождений газовых гидратов, доказана возможность и, в силу труднодоступности проведения детальной разведки, предлагается теоретический подход к предварительной оценке горно-геологических условий разработки таких месторождений. На основании данных, полученных предложенным способом, становится возможным выполнять необходимые расчеты технологических параметров процессов вскрытия и добычи газа со дна Мирового океана.

Автор убеждена, что внедрение научно обоснованных технологий разработки месторождений газовых гидратов и их добыча, позволят своевременно и оптимально использовать данный энергетический ресурс.

Литература:

1. Макогон Ю.Ф. Газогидраты – дополнительный источник энергии Украины [Текст] / Ю.Ф. Макогон // Газовая промышленность. – Уфа, 2010. – №3. – С. 47-51.
2. Свойство природных газов находиться в земной коре в твердом состоянии и образовывать газогидратные залежи [Текст] / [В.Г. Васильев, Ю.Ф. Макогон, Ф.А. Требин и др.] – Открытия в СССР, 1968 – 1969 гг. – Сборник. – М.: ЦНИИПИ, 1970. – 230 с.
3. Scientific bases of methods and technologies of gas hydrates deposits underground mining / V. Bondarenko, E. Maksymova, K. Ganushevych, K. Sai [et al.] // 23 World Mining Congress: materials of the conference, August 11 – 15, 2013. – Montréal, Canada: Canadian Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum, 2013. – P. 80 - 85.
4. Пат. №94671 на корисну модель, Україна. Спосіб розробки морських газогідратних покладів / Бондаренко В.І., Максимова Е.О., Сай К.С., Овчинников М.П., Ганушевич К.А.; заявник і власник патенту Державний ВНЗ «НГУ». – №u201406104. – опубл. 25.11.2014. – Бюл. №22.
5. Шнюков Е.Ф. Газовый вулканизм Черного моря [Текст]/ Е.Ф. Шнюков, Коболев В.П., Пасынков А.А. – К.: Логос, 2013, - 384 с.
6. «Earth seafloor crust age poster»: [Электронный ресурс]. – режим доступа: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Earth_seafloor_crust_age_poster.png#/media/File:Earth_seafloor_crust_age_poster.png
7. Максимова Э.А. Типы месторождений газовых гидратов и их учет при подземной разработке. [Текст] /Э.А. Максимова // Сб. научных трудов Донбасского государственного технического университета. Вып. 40. – Алчевск : ДонГТУ, 2013. – С. 65 - 69.
8. Лапина Н.Н. Вещественный состав тонкодисперсной части донных отложений Северного Ледовитого океана. [Текст] / Н.Н. Лапина // Геология дна океанов и морей. Новосибирск,: Наука. – 1964. – 150 с.
9. Максимова Э.А. Разработка месторождений газовых гидратов на основе теплового воздействия на залежь. [Текст] / Э.А. Максимова // Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. – Кременчук, 2015. - Вип. 2/2015 (91). - С. 90 - 95.

УДК 622.023.68

В.А. Соцков, канд. техн. наук, доцент
ГВУЗ «Национальный горный университет»

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ КРЕПЛЕНИЯ ВЫЕМОЧНОЙ ВЫРАБОТКИ В УСЛОВИЯХ ВЗАИМОВЛИЯНИЯ ОЧИСТНЫХ РАБОТ ПО СБЛИЖЕННЫМ ПЛАСТАМ.

Приведены результаты исследования закономерностей изменения НДС массива в окрестности 914 сборного штрека в процессе отработки вышележащего пласта C_{10}^6 ш. «Западно-Донбасская». Определены рациональные параметры крепления надрабатываемого штрека для обеспечения устойчивости выработки для повторного использования.

Надработка, взаимовлияние очистных работ, вычислительный эксперимент

Наведено результати дослідження закономірностей зміни НДС масиву навколо 914 збірного штреку в процесі відпрацювання вище розташованого пласта C_{10}^B ш. «Західно-Донбаська». Визначено раціональні параметри кріплення штреку, що надпрацьовується, для забезпечення стійкості виробки для повторного використання.

Напрацювання, взаємовплив очисних робіт, обчислювальний експеримент

The results of investigating the regularities the changes of stress strain state of mass in the vicinity of 914 drift during mining the overlying coal seam on "West -Donbass" mine. The rational parameters of overworking drift support are defined to stabilize the drift for reuse.

Overworking, interaction of extraction works, computer experiment

Цель работы. Основная задача исследования состоит в изучении закономерностей изменения НДС массива в окрестности 914 сборного штрека в процессе отработки вышележащего пласта C_{10}^B ; это изменение рассмотрено под углом оценки степени его влияния на преобразование нагружения крепежной системы штрека с последующей оптимизацией параметров схемы крепления. Поскольку горно-геологическая ситуация поддержания 914 сборного штрека меняется по его длине, выполнено многовариантное исследование изменчивости НДС массива (между пластами C_9 и C_{10}^B) в зависимости от его структуры и механических характеристик. С другой стороны, сама по себе оптимизация параметров крепежной системы предусматривает изучение набора вариантов схем крепления штрека и выбора из них наиболее эффективного. Таким образом, структура проведенных исследований включает две составляющие:

– установление закономерностей изменения НДС углевмещающего массива пласта C_9 при его надработке по пласту C_{10}^B ;

– оценка степени влияния надработки на изменение НДС элементов крепежной системы 914 сборного штрека как необходимой процедуры при ее оптимизации.

Методика исследований. Исследования по реализации первой составляющей выполнены на комплексе геомеханических моделей с использованием метода конечных элементов, отражающих разные структуру и свойства надрабатываемого массива в многовариантном представлении набора пространственных и плоских сечений для анализа распределения полей напряжений в почве отрабатываемого пласта C_{10}^B и степени их охвата кровли пласта C_9 .

Алгоритм оценки влияния надработки заключается в следующем. На разных участках по длине 914 сборного штрека смоделирована одна и та же крепежная система, состоящая из рамной крепи КШПУ-14,4 с шагом установки 0,5 м и восьми сталеполимерных анкеров длиной 2,4 м. Анкера расположены симметрично относительно вертикальной оси штрека: по одному анкеру в боках выработки посередине глубины ее нижней подрывки; шесть анкеров в своде равномерно по его контуру. Моделируемые участки штрека характеризуются разной структурой и механическими свойствами литотипов, слагающих межпластовый массив. Поэтому степень влияния надработки будет разной, что и отражается на состоянии двух основных элементов крепежной системы – раме и анкерах. В качестве интегрального параметра, описывающего прочностные свойства межпластового породного массива, принято его среднее расчетное сопротивление сжатию по СОУ 10.1.00185790.011:2007.

Результаты. Результаты анализа НДС рамной крепи подтверждают стабильно повторяющуюся особенность ее деформирования в условиях шахт Западного Донбасса: интенсивное нагружение стоек рам при относительно устойчивом состоянии верхняка. Поэтому распределение интенсивности напряжений σ именно в верхняке принято нами за критерий степени нагруженности рамной крепи в целом. В качестве параметра,

характеризующего величину нагрузки на верхняк использована длина L участка распределения компоненты σ разной величины, вплоть до предела текучести стали Ст.5, из которой изготавливается профиль СВП.

В соответствии с обоснованными исходными положениями создана геомеханическая модель и произведен расчет ее НДС. Анализ результатов расчета проведен по двум основным составляющим модели – углевмещающий массив вокруг 914 сборного штрека и его крепежная система. Для оценки эффективности работы стоек крепи усиления выполнен расчет НДС для двух вариантов крепежной системы – со стойками крепи усиления и без них. Данный комплекс исследований обеспечивает выполнение второго этапа общей горнотехнической задачи оценки влияния надрезки 914 сборного штрека на его устойчивость.

Исходной позицией для проведения сравнительного анализа является вариант крепежной системы, разработанный специалистами ШУ «Терновское», который был назван «базовым». Он включает следующие основные элементы: рамную крепь КШПУ-14,4 с шагом установки 0,5 м; систему сталеполимерных анкеров в кровле длиной 2,4 м (шесть симметрично расположенных анкеров в поперечном сечении выработки на расстоянии 0,8 м друг от друга) с шагом установки 1,0 м; по одному анкеру длиной 1,5 м в боках выработки с шагом 1,0 м; усиливающая балка из СВП-27 с деревянными стойками с левой (по ходу движения 1014 лавы) стороны; с правой стороны – деревянные стойки крепи усиления с шагом установки 1,0 м. Единственное изменение в базовом варианте касается боковых анкеров, длина которых увеличена до 2,4 м, а наклон сделан в сторону угольного пласта. По всем указанным элементам крепежной системы выполнен анализ НДС, включающий

Подводя итоги результатам анализа НДС базовой крепежной системы 914 сборного штрека необходимо сделать следующие акценты по вопросу ее совершенствования в условиях надрезки по вышележащему пласту C_{10}^B , но до начала очистных работ и по пласту C_9 .

Во-первых, верхняк рамы не нуждается в усилении деревянными стойками согласно базового проекта;

Во-вторых, стойки рамы загружены полностью, а деревянные стойки крепи усиления не способствуют улучшению их состояния. Здесь для предотвращения потери устойчивости стоек рамы целесообразно их усиление по противодействию боковому давлению путем соединения податливыми связями с боковыми анкерами, размещенными по глубине нижней подрывки штрека.

В-третьих, эффективность работы деревянных стоек крепи усиления оценивается как достаточно низкая по причинам: слабой загруженности правой стойки (по ходу проведения штрека) и потери устойчивости левой стойки за счет ее изгиба.

В-четвертых, весьма низкая нагрузка всех шести анкеров в кровле штрека обосновывает необходимость сокращения их количества; как минимум, целесообразно исключить два центральных анкера в замке свода.

Изложенные выводы требуют поэтапной проверки, в том числе, с учетом ведения очистных работ по пласту C_9 .

Комплекс проведенных исследований способствовал разработке ряда рекомендаций по параметрам схем крепления и поддержания 914 сборного штрека с учетом его надрезки как вне зоны, так и в зоне влияния очистных работ по пласту C_9 . В соответствии с выработанными рекомендациями построена геомеханическая модель поддержания штрека после прохода 914 лавы. Единственное новшество заключается в установке одного ряда деревянных стоек крепи усиления в центральной части свода верхняка рамы, что обосновано следующими соображениями. В ходе предыдущих исследований выявлен стабильно повторяющийся факт недогруженности двух рядов деревянных центральных стоек (под

замки податливости рамы) на фоне перегрузки стойки самой рамы. На наш взгляд, механизм образования этого явления можно объяснить так.

Во-первых, высокую нагрузку на стойки рамы «собирает» по площади кровли ее верхняк, на который действует вертикальное горное давление от опускающихся пород непосредственной и, особенно, основной кровли. Установлено, что шесть сталеполимерных анкеров в своде выработки выполняют в основном функцию предотвращения отслоения непосредственной кровли от основной, а расслоению основной кровли значительной мощности они сопротивляться не могут в силу своей относительно небольшой длины. Эту функцию могут выполнять лишь канатные анкера, а сталеполимерные – только в ограниченной нижней части основной кровли, насколько позволяет их длина. Более того, исследования НДС сталеполимерных анкеров показывают отсутствие сколь-нибудь существенных расслоений нижних пачек основной кровли: породы основной кровли опускаются на крепежную и охранную системы штрека как относительно целостная плита (над выработкой), разбитая несколькими вертикальными трещинами разрыва с образованием распорной системы достаточно высокой несущей способности.

Во-вторых, породные плиты распорной системы в кровле при своем деформировании нагружают, в первую очередь, верхняк рамы, который благодаря срабатыванию замков податливости «уходит» от повышенного вертикального горного давления и по подавляющей части своей длины находится в разгруженном состоянии. Поэтому, та часть вертикальной нагрузки, которую мог бы воспринимать верхняк (при жестком режиме работы рамы) передается на опоры плиты кровли, то есть, на породы в боках выработки. Стойки же рамы, благодаря своему наклонному расположению в конструкции КШПУ воспринимают часть опорной вертикальной нагрузки. В совокупности на стойки рамы действуют две составляющие вертикальной нагрузки: от верхняка рамы и от давления в боках выработки. При этом следует отметить, что по законам механики деформирования разнородных тел [1] нагрузка распределяется пропорционально их жесткости, а жесткость стойки рамы многократно больше жесткости приконтурных пород, которые еще и частично разупрочнены. Тогда очевиден вывод о преимущественном формировании повышенного вертикального горного давления именно на стойки рамы.

В-третьих, необходимо осмыслить низкий эффект работы двух деревянных стоек крепи усиления по базовому варианту поддержания выработки. Здесь деревянные стойки устанавливаются под замки податливости рамы, в связи с чем они не препятствуют (при нормальном режиме работы замка податливости) проскальзыванию верхняка относительно стойки и процессу его разгрузки. Воздействие деревянных стоек крепи усиления на стойки рамы реализуется посредством сил трения через деревянную подложку, либо через продольную балку СВП, закрепленную хомутами на стойке. Обе связи обладают существенной податливостью, что не позволяет деревянным стойкам крепи усиления воспринимать на себя значительные вертикальные усилия и обеспечивать надлежащую разгрузку стойкам рамы.

В-четвертых, по отмеченным причинам более выгодно усиливать верхняк рамы, который будет вовлечен в полной мере в работу по сопротивлению опусканию пород кровли, а с учетом усиления (стойки различной конструкции или канатные анкера с гибкими подхватами [2]) повышенная реакция на породные плиты в кровле существенно повысит их устойчивость и снизит конечную нагрузку на крепежную систему штрека [3 – 5]. В этой связи в комплексе рекомендаций введена центральная деревянная стойка крепи усиления, устанавливаемая в районе замка свода рамы.

В анализе НДС элементов рекомендуемой схемы поддержания 914 сборного штрека изложены результаты распределения интенсивности напряжений σ (рис. 2).

В рекомендуемой схеме поддержания штрека верхняк рамы находится в состоянии, близком к предельному (85 – 100% от расчетного предела текучести стали СВП) в центральной части свода шириной до 1,5 м; периферийные участки верхняка вплоть до замков

податливості розгружені. Таке розподілення σ в верхняке рами – результат діяння центральної дерев'яної стійки кріпи усилення: вона, завдяки своїй реакції на деформування верхняка, ужесточає його режим роботи і різко підвищує опір вертикальним навантаженням з боку кровлі вироботки.

Сама дерев'яна стійка кріпи усилення при жорсткому режимі її роботи суттєво перегружена: по більшій частині її продольних і поперечних сечень величина σ перевищує розрахунковий опір сосни стиску, особливо, в верхній частині стійки. Но, в податливому режимі роботи стійки (вдавлення в породи ґрунту, смяття дерев'яних підложок і тому подібне) прогнозується її стійке стан при усуненні діяння згинаючого моменту. Це досягається невеликим нахилом дерев'яної стійки ($80 - 85^\circ$ к горизонталі) в сторону вироботанного простору. Но оптимальним рішенням питання усилення рамної кріпи при обробці сусіднього ділянки – це заміна дерев'яних центральних стоек на податливі (гідростійки, стійки тертя).

Стойки рамної кріпи навантажені σ в різній ступені, що вже відзначалося раніше. З боку вироботанного простору інтенсивність напружень в стійці рами становить $55 - 80\%$ від розрахункової величини несущої здатності і в цілому прогнозується її стійке стан. Тут звертає увагу діяння згинаючого моменту по висоті берми, направленої в порожнину вироботки. По тому для підвищення стійкості стійки рекомендується зв'язати її з боковими анкерами, що обмежить деформації згину стійки. З боку масиву стійка рами перегружена (по причині діяння бокового опорного тиску) і забезпечення її стійкості (предотвращення пластичного згину і кручення) можна досягти за рахунок усилення податливими зв'язками з боковими анкерами.

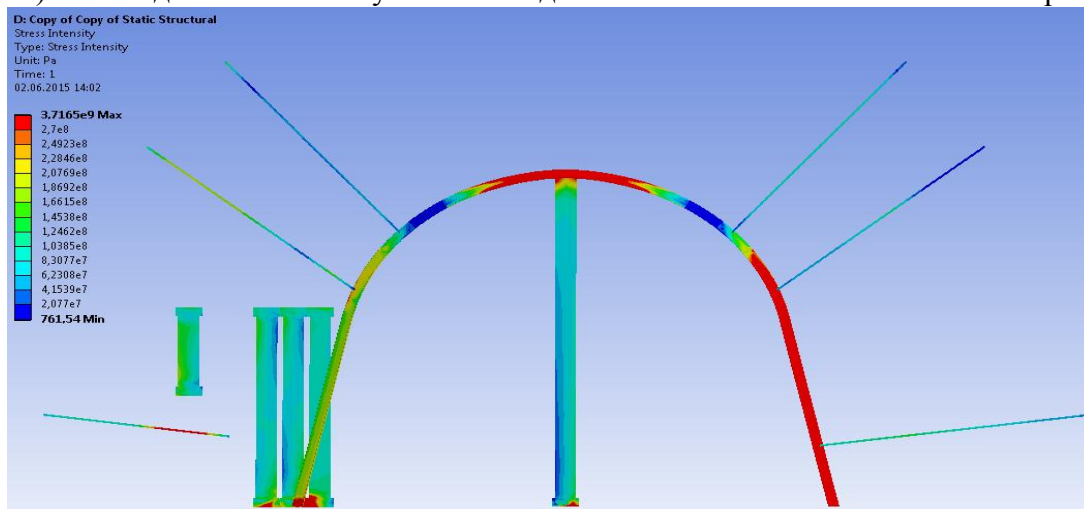


Рис. 2. Епюра інтенсивності напружень σ в елементах рекомендуваної схеми підтримання 914 зборного штрєка

Відзначені бокові анкери, установлені по глибині нижньої подривки штрєка, також мають різну ступінь завантаженості:

- з боку масиву реакція бокового анкера становить $60 - 70\%$ від величини несущої здатності і є немалий резерв для передачі частини реакції анкера на стійку рами для підвищення її стійкості;

- з боку вироботанного простору в приконтурній частині берми бокового анкер навантажений максимально, а усилення стійки рами здійснюється за рахунок резерву опору в заглубленій частині анкера.

Сталеполімерні анкери, розміщені в кровлі вироботки, навантажені в різній ступені (від 30 до 80% своєї несущої здатності), но звертає увагу найбільше опір анкера, розташованого над охоронною системою. Це вказує на його активну роботу по укріпленню породи безпосередньої кровлі, виконуючих функції

опоры для породных плит в основной кровле. То есть, можно утверждать, что концентрация анкеров над охранной системой (настоящей или будущей при повторном использовании штрека) целесообразна с точки зрения формирования устойчивых опор при опускании породных плит основной кровли, что, в конечном итоге, ограничивает их перемещение и сохраняет в большей степени сечение штрека для его повторного использования.

Поставленную цель обеспечивает также три ряда боковых деревянных стоек крепи усиления и ряд органной крепи. Все они нагружены максимально, а избыточные усилия в стойках компенсируются за счет их податливости (смятие подложек, деревянных брусев, вдавливание в почву). Поэтому считаем, что указанные элементы поддержания штрека полностью выполняют свои функции и не нуждаются в изменении параметров.

Выводы. 1. Подводя итоги выполненным исследованиям и во избежание повторения уже изложенных соображений считаем целесообразным привести рекомендации в виде преобразованных схем крепежной системы 914 сборного штрека вне зоны влияния очистных работ и его поддержания при отработке смежного выемочного участка.

2. Рекомендуемая крепежная система полностью формируется в проходческом забое, включая монтаж податливых связей боковых анкеров и стоек рам в непосредственной близости от него.

Список литературы.

1. Геомеханика нагружения крепи очистных и подготовительных выработок в слоистом массиве слабых пород / [В.И. Бондаренко, И.А. Ковалевская, Г.А. Симанович, В.Г. Черватюк]. – Д.: ЛізуновПрес, 2012. – 236 с.

2. Геомеханика нагружения и расчет параметров крепежной и охранной систем подготовительных выработок шахт Западного Донбасса / [Бондаренко В.И., Ковалевская И.А., Симанович Г.А. и др.]. – Д.: ЛізуновПрес, 2012. – 228 с.

3. Симанович Г.А. Управление режимами взаимодействия породного массива с крепью горных выработок на основе регулирования ее деформационно-силовой характеристикой: дис. ... доктора технических наук: 05.15.02; 05.15.11/ Симанович Геннадий Анатольевич. – Д., 1993. – 408 с.

4. Ковалевская И.А. Геомеханика управления устойчивостью пространственной системы «массив – упрочненные породы – крепь подземных выработок»: дис. ... доктора технических наук: 05.15.11 / Ковалевская Ирина Анатольевна. – Д., 2004. – 349 с.

5. V. Sotskov Features of using numerical experiment to analyze the stability of development workings / V Sotskov, O Gusev // Progressive technologies of coal, coalbed methane, and ores mining– Netherlands: CRC Press /Balkema. 2014 – P. 401 – 404.

УДК 622.24.051, 622 '156

О.П. Виноградова

Молодший науковий співробітник відділу № 9

Інституту надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України, м. Київ

ДОСЛІДЖЕННЯ ІНТЕНСИВНОСТІ ЗНОШУВАННЯ МАТРИЦІ КОМПОЗИЦІЙНОГО АЛМАЗОВІСНОГО МАТЕРІАЛУ ПРИ ЗМІНІ КОНСТРУКЦІЇ БУРОВИХ КОРОНОК

Встановлено ідентичність характеру відколювання частинок твердого сплаву від робочої поверхні алмазовісної матриці породоруйнівних елементів і частинок шламу гірської породи при відпрацювання бурового інструменту. Запропоновано методіку оцінювання інтенсивності зносу матриці породоруйнівних алмазовісних елементів завдяки дослідженню геометричних параметрів борозенок на робочій поверхні матриці бурових коронок.

Ключові слова: руйнування, алмазовмісна матриця, гірська порода, бурова коронка.

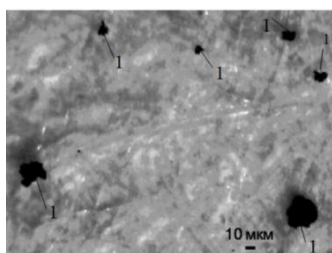
RESEARCH OF THE INTENSITY OF WEAR OF DIAMOND-CONTENTING MATRIX DURING REDESIGN OF DRILL BITS

Established the identity of the character of carbide particles breaking off from the working surface of the matrix of a rock cutting diamonds elements and spalling of particles of sludge by rock drilling tools. The technique of evaluating of the intensity of wear of the matrix of rock cutting elements from diamond-contenting matrix is offered thanks research of geometric parameters of a grooves on the working surface of the matrix drill bits.

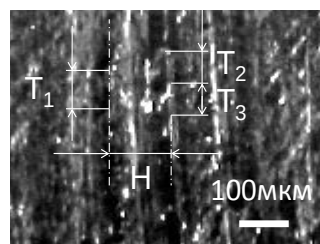
Key words: destruction, rock, diamonds matrix, rock, drill bit.

ВСТУП. Ефективність застосування породоруйнівного інструменту, в значній мірі, як показує багаторічний досвід алмазного буріння в нашій країні та за кордоном, залежить від ступеня відповідності зносостійкості матриці абразивним властивостям гірської породи. Основною причиною руйнування матриці, згідно з [1], є дія на неї абразивного шламу гірської породи. Частинки породи, що утворюються в процесі руйнування гірської породи, перебувають між зв'язкою (матрицею) і вибоєм у водному середовищі і представляють собою гідроабразивну масу, що руйнує матрицю породоруйнівного інструменту [2].

АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ. При дослідженні величини динамічного заглиблення одиничного алмазного зерна марки АСВ в зразок з твердого сплаву Т15К6 автори, [3] встановили, що при заданих подачах 1 і 6 мкм фактична глибина руйнування зразка склала 4 і 11 мкм, відповідно, що підтверджує крихкий характер відколювання одиничних фрагментів шламу твердого сплаву. При використанні електронного растрового мікроскопу «CAMSKAN–4DV» знос робочої поверхні матриці бурового алмазного інструменту у вигляді вдавлених подряпин спостерігав Ісонкін О.М. [4]. Матриця породоруйнівного інструменту зношується або контртілом (гірською поодою, або третім елементом, що розташовується між ними (частинкою шламу) [10,11]. Як зазначалось в [5] основним руйнівним елементом гірської породи є зерна кварцу, що входять до складу багатьох гірських порід, здатними руйнувати матрицю бурового інструменту з утворенням продуктів руйнування у вигляді частинок твердого сплаву, що характеризуються всіма складовими геометричних параметрів одиничної частинки шламу гірської породи, як, наприклад, зоною заглиблення індентора 1, рис.1а, боковими та кінцевою частиною [6]. Крім того, розмір цих частинок цілком співпадає з розміром мікробибін на поверхні матриці циліндричного породоруйнівного елемента із КАМ, що утворюються зі змінним кроком T , рис. 1б.



а



б

Рис. 1. Загальний вигляд: частинок продуктів руйнування алмазовмісної матриці із твердого сплаву ВК–6, відколотих від породоруйнівного елемента зі «славутича» з зернистістю алмазів 800/630 мкм і їх відносною концентрацією 100 % при руйнуванні пісковика Торезького родовища, 1 – зона заглиблення індентору (гострої кромки зерна кварцу) – а; поверхні циліндричного елемента зі «славутича», H – відстань між утвореними борозенками, T – період відколювання частинок продуктів руйнування твердого сплаву – б

Наявність мікрОВибойн вищезазначеної конфігурації на поверхні матриці можна спостерігати не тільки в породоруйнівному, а й в каменеобробному інструменті – на поверхні матриці сегменту алмазного відрізного круга [12], рис. 2.

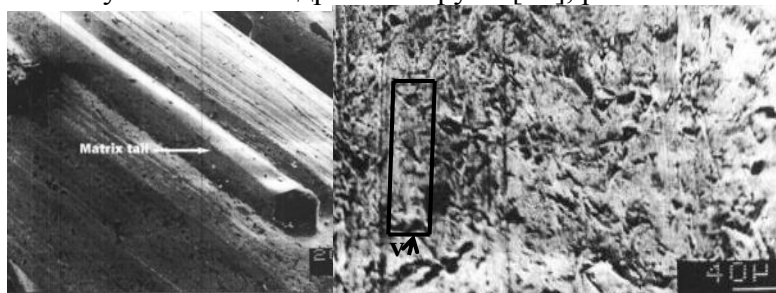


Рис. 2. Робоча поверхня сегменту алмазного відрізного круга після руйнування граніту, область, окреслена рамкою – одна з борозенок з послідовно утворених мікрОВибойн вищенаведеної конфігурації на поверхні сегменту, v – вектор швидкості індентору, що руйнує матрицю сегменту алмазного відрізного круга

Отже, відбувається взаємне руйнування гірської породи і алмазного інструменту : алмазами руйнується гірська порода, а інденторами у вигляді зерен кварцу руйнується матриця породоруйнівних елементів, якими оснащується буровий та каменеоброблюючий інструмент [7], причому продукти руйнування в обох випадках мають подібну форму.

МЕТА РОБОТИ полягає у дослідженні впливу зміни конструкції бурових коронок, оснащених породоруйнівними елементами відмінної конструкції на інтенсивність зношування алмазозносної матриці в процесі буріння міцної, твердої гірської породи при однаковому експлуатаційному режимі.

МАТЕРІАЛИ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ. Для дослідження інтенсивності зношування алмазозносної матриці в процесі буріння пісковика Торезького родовища IX категорії буримості було використано дві бурові коронки: БК –11 та БК –12 діаметром 93 мм [8,9], оснащених породоруйнівними елементами із композиційного алмазовмісного матеріалу «славутич», рис. 3. Корпус бурової коронки 1 оснащено породоруйнівними елементами 2. Породоруйнівні елементи коронки БК–11, робочими різцями яких є алмази зернистості 800/630 мкм при їх відносній концентрації 100 %, виконано з розміром торця: 3×3, 2×3, 3×4 мм й запаiano у зазначеній послідовності в радіальному напрямку короночного торця. Функціональні елементи у коронці БК–12, розмір торця яких становить 3×7 мм зі змінною концентрацією алмазів тієї ж зернистості – 100,75,125 % запаiano у корпус коронки у зазначеній послідовності в радіальному напрямку короночного торця. Руйнування пісковика Торезького родовища відбувалось при застосуванні стенду, створеному на базі радіально-свердлильного верстату моделі 2Н58 при частоті обертання бурових коронок 400 хв.⁻¹ і осьовому навантаженні на коронки 500 даН. Бурові коронки БК –11 та БК –12 проходили породи IX категорії буримості зі швидкістю 1,5 та 1,2 м/год, відповідно. Зносостійкість коронок вимірювалася при застосуванні довжиноміра оптичного моделі Н–313 і становила 0,3 та 0,21 мм/м, відповідно.

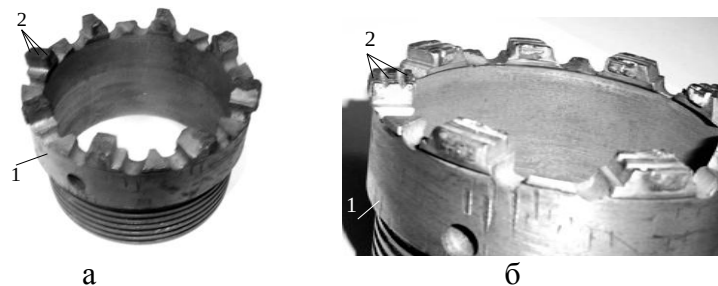


Рис. 3. Бурова коронка діаметром 93 мм: БК–11 – а; БК–12 – б, 1– корпус коронки, 2 – породоруйнівні елементи зі «славутича»

Ретельне дослідження зносостійкості матриці породоруйнівних елементів вищенаведених бурових коронок відбувалось при застосуванні мікроскопа Ломо Метам Р-1, оснащеного CCD відеокамерою Digital KOCOM, підключеного до ПЕОМ. Одну із багатьох подібних поверхонь матриці породоруйнівних елементів зі «славутича» з розміром торця 3×3 мм після їх відпрацювання у буровій коронці БК – 11, представлено на рис. 5. : фото робочої поверхні породоруйнівного елементу, 5а та відповідна схема зображення мікрорібоїн твердого сплаву шириною a , що чергуються з кроком t у вигляді борозенок на робочій поверхні породоруйнівного елементу, утворених на відстані h одна від одної, рис. 5б.

На основі побудованих розподілів ширини a , рис. 5 в, відколотих частинок твердого сплаву від поверхні породоруйнівного елементу в буровій коронці БК–11 та кроку t їх відколювання, рис. 5г, зроблено висновок, що максимальна кількість частинок твердого сплаву має ширину 27,7 мкм, що відколюється від поверхні матриці з кроком, рівним ширині частинок твердого сплаву.

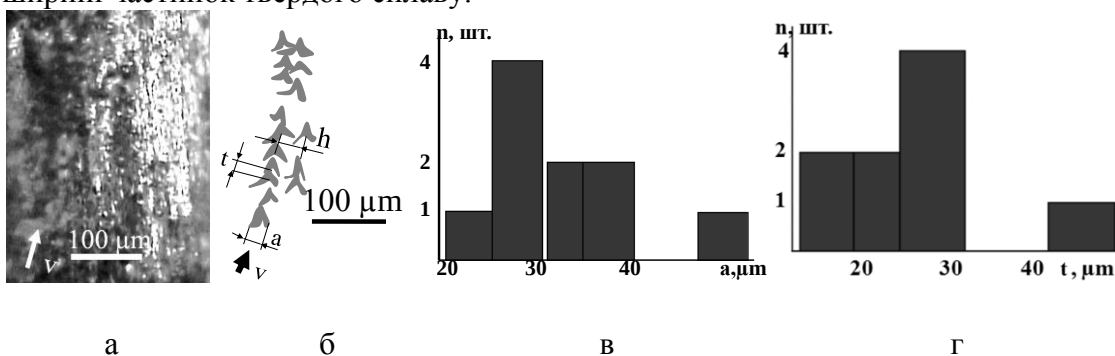


Рис. 4. Загальний вигляд: поверхні матриці елементу зі «славутича» з розміром торця 3×3 мм – а; схеми зображення борозенок на поверхні матриці, a – ширина мікрочастинок твердого сплаву; t – крок їх відколювання, h – відстань між сусідніми борозенками; v – вектор швидкості відколювання мікрочастинок твердого сплаву – б; гістограми розподілу ширини a мікрорібоїн у борозенці – в; гістограми розподілу кроку відколювання t частинок твердого сплаву у борозенці – г

Борозенка із мікрорібоїн твердого сплаву на робочій поверхні прикернового елементу зі «славутича» з розміром торця 3×7 мм після відпрацювання бурової коронки БК–12 при осьовому навантаженні 500 даН, представлено на рис. 5.: фото робочої поверхні породоруйнівного елементу, 5а та відповідна схема розташування мікрорібоїн твердого сплаву, що чергуються з кроком t у вигляді борозенки на робочій поверхні матриці породоруйнівного елементу, рис. 5б.

Побудовані розподіли ширини a відколотих частинок твердого сплаву та кроку t їх відколювання від поверхні породоруйнівних елементів розглянутих бурових коронок, рис. 4 в, г та 5 в, г свідчать про збільшення ширини a переважної кількості частинок твердого сплаву, що відколюються від робочої поверхні бурової коронки БК–11 у 2,2 рази за відповідний показник бурової коронки БК–12. Приймаючи до уваги той факт, що крок відколювання більшості частинок твердого сплаву t від робочої поверхні бурової коронки БК–11 рівний їх ширині, тоді як крок відколювання частинок твердого сплаву від робочої поверхні бурової коронки БК–12 в 1,4 рази більший за їх ширину a , можна зробити висновок, що бурова коронка БК –11 зношується інтенсивніше за коронку БК–12.

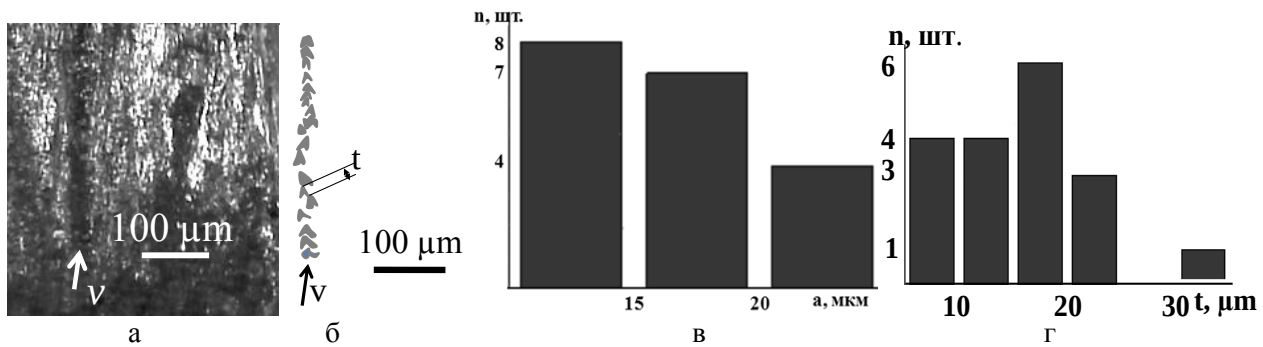


Рис. 5. Загальний вигляд: поверхні матриці породоруйнівного елемента зі «славу-тича», яким оснащено бурову коронку БК-12 – а; схематичного зображення мікробибін (лунок) твердого сплаву у вигляді борозенки на поверхні матриці, t – крок відколювання мікрочастинок твердого сплаву, v – вектор швидкості відколювання мікрочастинок твердого сплаву – б; гістограми розподілу ширини a мікробибін у борозенці – в; гістограми розподілу кроку відколювання t частинок твердого сплаву у борозенці – г

Отже, зміна конструкції бурової коронки істотно впливає на її зносостійкість. Насамперед, це пов'язано з підвищенням питомого навантаження на породоруйнівні елементи (у викладених дослідженнях питоме навантаження на бурову коронку відрізнялося у 2,33 рази). Також, великий вплив на зносостійкість бурової коронки має ступінь оснащення алмазними різцями короночного кільця у радіальному напрямку.

ВИСНОВКИ

1. Відповідність розмірів частинок шламу твердого сплаву розмірам «мікробибін», що утворюють борозенки на робочій поверхні елемента зі «славутича», свідчить про подібний характер руйнування крихкої твердої породи і вольфрамо-кобальтової матриці породоруйнівного алмазовмісного інструменту.

2. Дослідження інтенсивності зношування робочої поверхні породоруйнівних елементів можна проводити при зміні експлуатаційного режиму при відпрацюванні бурових коронок однакової конструкції, при варіюванні фізико-механічних властивостей композиційного алмазовмісного матеріалу породоруйнівних елементів та при проведенні експериментальних досліджень з використанням порід з різними фізико-механічними властивостями.

3. Мікроскопічне дослідження геометричних параметрів борозенок на поверхні матриці алмазовмісних породоруйнівних елементів може бути використано для прогнозування продуктивності процесу руйнування алмазним інструментом гірської породи з метою підвищення ресурсозбереження природних алмазів і вольфрамо-кобальтового сплаву в буровому та каменеобробному інструменті, зменшення енергоємності руйнування гірської породи та, як наслідок, зменшення собівартості каменеобробних і геологорозвідувальних робіт.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Синтетические алмазы в геологоразведочном бурении под ред. д.т.н. В.Н. Бакуля. – Киев: Наукова думка, 1978. – 232с.
2. Васюк Б.Н. Особенности процесса разрушения трещиноватых горных пород при бурении скважин / Б.Н. Васюк // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: Сб. науч. тр. – К.: ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 2005. – Вып. 8. – С. 23 – 27.
3. Работоспособность алмазных кругов / М.Ф. Семко, М.Д. Узунян, Ю.А. Сизый, М.С. Пивоваров. – К.: Техніка, 1983. – 95с.

4. Исонкин А.М. Характер и степень воздействия частиц шлама разрушенной горной породы на матрицу алмазной буровой коронки / А.М. Исонкин // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент–техника и технология его изготовления и применения: Сб. науч. тр. – К.: ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 2010. – Вып. 13. – С. 182–187.

5. Виноградова О.П. Геометричні параметри еталонного фрагменту продуктів руйнування твердих і надтвердих крихких матеріалів алмазним інструментом // Наукові нотатки: міжвузівський зб. наук. пр. за галузями знань «Машинобудування та металообробка», «Інженерна механіка», «Металургія та матеріалознавство». – Луцьк: ЛНТУ, – 2013. – Вип.41, частина 1. – С. 45–52.

6. Виноградова О.П. Математичне моделювання утворення ціликів гірської породи при її руйнуванні окремим індентором / О.П.Виноградова, В.А. Дутка, І.А. Свешніков // Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва – Науково-виробничий журнал: Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського. – Кременчук: КрНУ, 2015. – Випуск 15(1). – С.41–53.

7. Виноградова О.П. Характер взаємного руйнування гірської породи та алмазного породоруйнівного інструменту/ О.П. Виноградова // Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва – Науково-виробничий журнал: Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського. – Кременчук: КрНУ, 2015. – Випуск 16(2). – С.49–57.

8. Пат. к.м. 47671 України, МПК E21B 7/00, E21B10/00 Алмазна бурова коронка / Майстренко А. Л., Свешніков І. А., Богданов Р. К., Исонкін О. М., Виноградова О. П., Людвиченко П. Г. (Україна) – Заявл. 05.02.09; опубл. 25.02.10, Бюл. № 4. – 3 с.

9. Пат. к.м. 47724 України, МПК E21B 10/48 Алмазна бурова коронка / Майстренко А. Л., Свешніков І. А., Богданов Р. К., Исонкін О. М., Виноградова О. П., Людвиченко П. Г. (Україна) – Заявл. 17.07.09; опубл. 25.02.10, Бюл. № 4. – 3 с.

10. S. Jacobson and S. Hogmark, Tribology Friction, Labrication, Wear, 2nd ed., Upsala University, 2005.

11. B. Bhushan, Principles and Application of Tribology, John Wiley and Sons, 1999.

10. J. Konstanty Diamond bonding and matrix wear mechanisms involved in circular sawing of stone // Industrial Diamond Review, 2000. – P. 55–65.

УДК 331.45.621.7

О.Г. Левченко, докт. техн. наук, проф., зав. каф. (НТУУ "КПІ");

О.В. Демецька, канд. біол. наук (ДУ "Інститут медицини праці НАМН")

МЕТОДОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ВИЗНАЧЕННЯ ТОКСИЧНОСТІ ЗВАРЮВАЛЬНИХ АЕРОЗОЛІВ

З метою пошуку нових методик санітарно-гігієнічної оцінки зварювальних електродів досліджено можливості застосування методики визначення цитотоксичності аерозолів, які утворюються при використанні електродів. Показано, що показник "індекс токсичності" зварювальних аерозолів має однозначний зв'язок зі стандартизованими

розрахунковими показниками ДСТУ ISO 15011-4:2008 і може застосовуватись в якості скринінгового методу в практиці гігієнічної оцінки зварювальних матеріалів.

With the purpose of research of new methods of sanitary-hygienic assessment of welding electrodes there were held tests of application of determination methods of cytotoxicity of fumes that appear during electrodes application. It is demonstrated that toxicity index of welding fumes has a single connection with research indexes of the State Sanitary Technical Conditions DSTU ISO 15011-4:2008 and may be practically applied as a screening method in hygienic assessment of the welding materials.

Вступ

Електродугове зварювання характеризується виділенням в повітря робочої зони шкідливих для організму людини аерозолів, токсична дія яких визначається хімічним складом зварювальних матеріалів (покритих електродів, флюсів, дротів). Тому створення нових марок зварювальних матеріалів обов'язково має супроводжуватись їх первинною санітарно-гігієнічною оцінкою у відповідності з міжнародними стандартами ДСТУ ISO 15011-1:2008 [1] та ДСТУ ISO 15011-4:2008 [2]. Ці стандарти дозволяють отримати необхідну інформацію про хімічний склад зварювальних аерозолів (ЗА) та орієнтовно розрахувати ризик їх шкідливої дії на організм зварника. Що стосується створення нових зварювальних матеріалів з поліпшеними гігієнічними характеристиками, варто мати не тільки дані первинної санітарно-гігієнічної оцінки, а й результати біологічних досліджень токсичності ЗА. Такі дослідження, особливо з використанням дослідних тварин, реалізуються на протязі доволі тривалого часу і потребують значних витрат.

Аналіз стану питання

Для оцінювання токсичної дії малорозчинних промислових аерозолів, у тому числі і зварювальних, найбільше значення має така їх ключова властивість як цитотоксичність, що визначає небезпеку виникнення професійного захворювання – пневмоконіозу [3]. Цитотоксичність як властивість частинок пилу (аерозолі) є визначальним фактором для оцінки ступеня його дії на організм людини та математичного прогнозування порівняльної небезпеки розвитку пневмоконіозу. Цитотоксичність визначає кінетику накопичення і затримки пилу в легенях і лімфовузлах людини, а також інтенсивність шкідливої дії на тканину цих органів. Цю характеристику оцінюють в різних короточасних тестах, що пов'язано з пануючими уявленнями про ключову роль пошкодження пиловими частинками макрофагів у патогенезі силікозу та інших видів пневмоконіозу. Використовуються також тести, засновані на реєстрації феноменів активації макрофагів або на тому чи іншому поєднанні цих явищ. Проте трактування результатів тестування та їх використання для прогнозування дії аерозолів на організм часто проводяться без урахування ролі процесів активації і пошкодження макрофага як в механізмах, що лежать в основі тесту, так і в патогенезі пневмоконіозу [3].

Використання так званих альтернативних токсикологічних моделей (культур клітин, експрес-тестів та ін.) дозволяє одержувати інформацію щодо токсичності та небезпеки хімічних сполук і матеріалів менш затратними способами чи підходами, в коротші строки та більш гуманно з позицій біоетики порівняно з традиційними методами експериментальних досліджень на лабораторних тваринах. В свою чергу, інформація, отримана в експериментах *in vitro*, може бути використана для скринінгу зварювальних матеріалів в якості «вектора» щодо проведення поглиблених експериментальних досліджень *in vivo*. Зокрема, експрес-оцінка токсичності ЗА з використанням як тест-об'єкта короточасної суспензійної культури сперматозоїдів бика різко знижує трудомісткість і вартість випробувань. Метод дозволяє оцінити сумарний ефект від впливу на культуру всієї сукупності токсикантів, присутніх у ЗА, по біологічній дії її екстракту на тест-об'єкт за час, що не перевищує 3 години [4].

Мета роботи

Метою даної роботи було визначення можливостей застосування методики експрес-оцінки токсичності ЗА для отримання інформації щодо цитотоксичності зварювальних матеріалів.

Методики, матеріали і результати досліджень

Відбирання проб ЗА для їх розчинення здійснюється у відповідності зі стандартом [1] методом повного уловлювання аерозолі, що утворюється під час зварювання за допомогою спеціального стенду з фільтром ФПП, встановленого на шляху руху ЗА із укриття зони зварювання.

Оцінку токсичності здійснювали на підставі експериментально визначеного індексу токсичності (I_t) за методикою експрес-оцінки токсичності ЗА *in vitro* на серійно виробляемому аналізаторі АТ-05 та (для порівняння) розрахункових гігієнічних показників – граничного значення та класу ЗА згідно з ДСТУ ISO 15011-4:2008 [2]. Для цього визначали рівень (інтенсивність – V_a , мг/с) виділення та хімічний склад ЗА у відповідності з методиками [1, 5].

Для відбирання проб ЗА використовувались відомі серійні марки покритих електродів різного призначення (табл. 1).

Таблиця 1. Зразки ЗА, відібрані при зварюванні серійними марками електродів

№ проби ЗА	Марка електродів	Вид покриття
для зварювання вуглецевих та низьколегованих сталей		
1	АНО-36 «Monolith»	Рутил-целюлозне
2	АНО-13	Рутилове
3	УОНИ-13/55	Основне
4	МР-3	Рутил-карбонатне
для зварювання високолегованих сталей		
5	АНВ-66	Основне
6	ОЗЛ-6	Основне
7	ОЗЛ-8	Основне
8	ЦЛ-11	Основне
9	ЭА-400/10у	Основне

Для визначення цитотоксичності зразків ЗА відпрацьовано методику, яка включає відбирання проб ЗА під час зварювання за допомогою спеціального лабораторного стенду з подальшим екстрагуванням в дистильованій воді та визначенням індексу токсичності (I_t), що дорівнює відношенню параметрів рухливості суспензії індикаторних клітин в дослідному зразку до параметрів рухливості індикаторних клітин в контрольному зразку. При значенні I_t від 1 до 70% та більше 120% дослідний розчин вважається цитотоксичним.

Дослідження показали, що серед 9 досліджуваних зразків ЗА стійку токсичну дію було виявлено у 6 зразків (МР-3, АНВ-66, ОЗЛ-6, ОЗЛ-8, ЦЛ-11, ЭА-400/10у). Зразки ЗА, відібрані при зварюванні електродами АНО-36 «Monolith» ($I_t = 120,7\%$) потрапляють у так звану “сіру зону” (табл. 2).

Таблиця 2. Цитотоксичність досліджуваних електродів (I_t)

№	Марка електродів	Значення I_t , %
1	АНО-36 «Monolith»	120,7
2	АНО-13	118,2
3	УОНИ-13/55	109,9

4	МР-3	128,1
5	АНВ-66	49,0
6	ОЗЛ-6	46,9
7	ОЗЛ-8	51,0
8	ЦЛ-11	33,3
9	ЭА-400/10у	42,7

Результати досліджень, наведені в таблиці 2, однозначно свідчать про те, що індекс токсичності усіх зразків ЗА, отриманих при застосуванні електродів для зварювання високолегованих сталей (табл. 1), значно нижчий, ніж електродів для зварювання вуглецевих та низьколегованих сталей. Тобто, токсичність електродів для зварювання високолегованих сталей значно вища, ніж – вуглецевих та низьколегованих. Це пояснюється наявністю в даних зразках ЗА сполук надзвичайно небезпечних канцерогенних речовин – шестивалентного хрому та нікелю [6]. При цьому індекс цитотоксичності ЗА високолегованих електродів зменшується в наступному порядку: ОЗЛ-8, АНВ-66, ОЗЛ-6, ЭА-400/10у, ЦЛ-11, що насправді свідчить про зростання їх токсичності. З апроксимованої залежності індексу цитотоксичності ЗА від вмісту в них (залежно від марки електродів) шестивалентного хрому видно, як цитотоксичність знижується зі збільшенням у складі ЗА шестивалентного хрому.

Аналіз результатів досліджень усіх гігієнічних показників ЗА (табл. 3), зокрема $LV_{WF(SC1)}$ та $LV_{WF(A)}$ [2], також показує, що токсичність ЗА переважно підвищується зі збільшенням у їх складі шестивалентного хрому (рис. 1). Разом з тим, просліджується аналогічний зв'язок індексу цитотоксичності з зазначеними розрахунковими показниками [2]. Тобто, можна стверджувати, що токсичність ЗА практично збільшується як зі зменшенням I_t , так і зі зниженням показників граничного значення ЗА $LV_{WF(SC1)}$ та $LV_{WF(A)}$. Причому ця залежність більш чітка за показником $LV_{WF(A)}$, який розраховується, враховуючи наявність усіх компонентів ЗА, тоді як $LV_{WF(SC1)}$ розраховується тільки за головним компонентом ЗА (по шестивалентному хрому). І це зрозуміло, оскільки токсичність ЗА визначається не тільки вмістом у складі електродів і відповідно в ЗА, при зварюванні якими вони утворюються, хрому, а й інших сполук (нікелю, марганцю, фтору тощо).

Що стосується такого показника як клас електродів, що узагальнює міру ризику шкідливого впливу ЗА на організм зварника (табл. 4), даними дослідженнями встановлено, що всі ЗА, відібрані під час зварювання високолегованими електродами, відносяться до одного найбільш токсичного класу з граничним значенням (менше $0,5 \text{ мг/м}^3$ – клас «0»), який за рівнем виділень ЗА змінювався від 4,33 до 9,17 мг/с, тобто у межах класів b і c. Таким чином, електроди марок ОЗЛ-8 і АНВ-66 відносяться до класу «0с», а ОЗЛ-6, ЭА-400/10у та ЦЛ-11 – до «0b». Як видно з таблиці 4, за величиною шкідливої дії ЗА на організм зварника електроди ОЗЛ-8 і АНВ-66 дещо поступаються електродам ОЗЛ-6, ЭА-400/10у та ЦЛ-11.

Таблиця 3. Гігієнічна характеристика ЗА, що утворюються при застосуванні електродів для зварювання високолегованих сталей

Марка електродів	Масова частка основних компонентів ЗА, %						Гігієнічні показники ЗА				
	Cr ⁶⁺	Cr ³⁺	Ni	Mn	F _p	F _н	V _a , мг/с	$LV_{WF(SC1)}$, мг/м ³	$LV_{WF(A)}$, мг/м ³	Клас електродів	I _t , %
ОЗЛ-8	3,80	4,25	0,49	3,30	4,94	5,70	9,17	0,26	0,184	0с	51,0
АНВ-66	3,45	4,52	0,50	4,16	6,96	3,41	8,50	0,30	0,193	0с	49,0

ОЗЛ-6	4,01	4,30	0,90	2,36	5,57	4,50	6,62	0,25	0,176	0b	46,9
ЭА-400/10у	3,92	2,40	1,44	4,14	4,41	5,59	5,67	0,26	0,174	0b	42,7
ЦЛ-11	4,61	2,49	2,44	2,93	4,77	4,87	4,33	0,22	0,152	0b	33,3

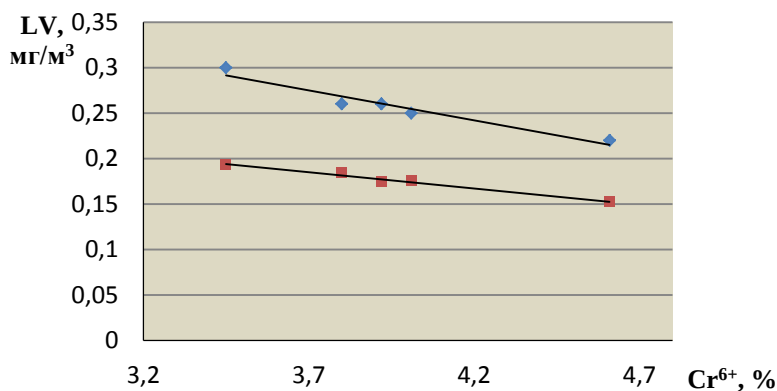


Рис. 1. Залежність показників граничного значення зварювальних аерозолів $LV_{WF(SCi)}$ (♦) та $LV_{WF(A)}$ (■) від вмісту в них шестивалентного хрому Cr^{6+}

Таким чином, враховуючи той факт, що стандартизовані показники ДСТУ ISO 15011-4:2008 не враховують комплексний вплив компонентів ЗА на його токсичність і для застосування яких необхідно виконувати дорогий та трудомісткий хімічний аналіз ЗА, а також проводити складні розрахунки, варто використовувати методику експрес-оцінки цитотоксичності ЗА.

Таблиця 4. Класифікація зварювальних матеріалів в залежності від рівня виділень і розрахункового граничного значення ЗА (ДСТУ ISO 15011-4:2008 [2])

Граничне значення ЗА, мг/м³	Рівень виділень ЗА, мг/с	< 3	Від 3 до 8	Від 8 до 15	Від 15 до 25	> 25
	Клас зварювального матеріалу	A	B	C	D	E
> 4,5	5	5a	5b	5c	5d	5e
Від 3,5 до 4,5	4	4a	4b	4c	4d	4e
Від 2,5 до 3,5	3	3a	3b	3c	3d	3e
Від 1,5 до 2,5	2	2a	2b	2c	2d	2e
Від 0,5 до 1,5	1	1a	1b	1c	1d	1e
< 0,5	0	0a	0b	0c	0d	0e

Висновки

1. Встановлено, що показник “індекс токсичності” має однозначний зв'язок зі стандартизованими розрахунковими показниками (граничним значенням ЗА) у відповідності до міжнародного методичного стандарту ДСТУ ISO 15011-4:2008 [2], що підтверджує можливість його застосування в якості скринінгового метода в практиці санітарно-гігієнічної оцінки зварювальних матеріалів.

2. Підтверджено, що токсичність електродів для зварювання високолегованих сталей значно вища, ніж для зварювання вуглецевих та низьколегованих сталей.

3. Встановлено, що токсичність ЗА підвищується при застосуванні зварювальних електродів, у складі яких збільшується концентрація канцерогенного шестивалентного хрому і нікелю, про що свідчить зниження величини індексу цитотоксичності та граничного значення ЗА.

Література

1. ДСТУ ISO 15011-1:2008. Охорона здоров'я та безпека у зварюванні та споріднених процесах. Лабораторний метод відбирання аерозолів і газів, утворюваних під час дугового зварювання. Частина 1. Визначення рівня виділень і відбір проб для аналізу мікрочастинок аерозолів. – [Чинний від 2008-08-15]. – К.: Держспоживстандарт України, 2011. – 8 с.
2. ДСТУ ISO 15011-4:2008. Охорона здоров'я та безпека у зварюванні та споріднених процесах. Лабораторний метод відбирання аерозолів і газів. Частина 4. Форма для запису даних про аерозолі. – [Чинний від 2008-08-15]. – К.: Держспоживстандарт України. – 2011. – 20 с.
3. Кундієв Ю.І. Токсикологія аерозолів: монографія / Ю.І. Кундієв, М.М. Корда, М.О. Кашуба, О.В. Демецька. – Тернопіль: ТДМУ “Укрмедкнига”, 2015. – 256 с.
4. Экспресс-оценка токсичности отходов производства и потребления на культуре клеток млекопитающих. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2008. – 12 с.
5. Методические указания по определению вредных веществ в сварочном аэрозоле (твердая фаза и газы) – М.: Минздрав СССР, 1990, № 4945–88. – 150 с.
6. Левченко О.Г. Сварочные аэрозоли и газы: процессы образования, методы нейтрализации и средства защиты. – Киев: Наукова думка, 2015. – 248 с.

621.577

В.А. Волощук, докторант

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»,
теплоенергетичний факультет, кафедра атомних електричних станцій та інженерної
теплофізики, м. Київ, Україна

ТЕРМОЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕПЛОНАСОСНОЇ СИСТЕМИ ТЕПЛОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ІЗ УРАХУВАННЯМ МІНЛИВОСТІ ПОГОДНО-КЛІМАТИЧНИХ ФАКТОРІВ, ЦІН ТА ХАРАКТЕРИСТИК БУДІВЛІ

В роботі наведені результати дослідження впливу мінливості погодно-кліматичних факторів, можливого діапазону змін цін на енергоносії та існуючих тенденцій підвищення теплотехнічних характеристик будівель на термoeкономічне обґрунтування встановленої потужності теплового насоса у складі бівалентної системи теплозабезпечення.

The paper presents thermoeconomic assessment of heat pump sizing taking into account variations of climatic factors, prices for electricity and existing tendencies in thermal performance of buildings

Вступ

Термoeкономічний аналіз є одним із нових напрямів обґрунтування рішень в енергетиці, який базується на одночасному поєднанні ексергетичних та економічних факторів. Термoeкономіка включає в себе ексергоекономіку, яка у свою чергу передбачає визначення ексергетичної вартості [1, 2].

Термoeкономічний метод сьогодні також застосовується при обґрунтуванні рішень на базі теплових насосів та холодильних установок.

Наприклад, в роботі [3] В. В. Оносовський застосував даний метод для оптимізації режимних параметрів експлуатації холодильних машин і установок. Автор [3] описав даний підхід до вирішення завдання динамічної оптимізації, а саме знаходження закону зміни параметрів, що оптимізуються, з урахуванням сезонних коливань температури навколишнього середовища.

В роботі [4] виконана адаптація методології термoeкономічного аналізу до вирішення задачі оптимізації режимних параметрів теплонасосної установки у складі бівалентної схеми теплопостачання. Це дало можливість шляхом оптимального розподілу теплового навантаження між тепловим насосом та піковим догрівачем забезпечити раціональний вибір встановленої потужності теплового насоса, при якому одночасно термодинамічна досконалість є максимальною, а приведені затрати – мінімальні. Разом з тим, в даній роботі [4] розглядався випадок лінійної залежності теплового споживання будівлі від температури зовнішнього повітря, що характерно для будівель з відносно низькими теплотехнічними характеристиками. Сьогодні відбувається суттєве покращення характеристик будівель з метою максимально можливого використання технологій пасивного опалення, рекуперації енергії, тощо.

В роботі [5] G. Wall також запропонував і використав методику термoeкономічної оптимізації для елементів теплового насоса для окремо взятих режимах роботи, без урахування динаміки.

Ексергоекономічне обґрунтування встановленої частки теплової потужності теплового насоса показано в роботі [6]. Критерієм обґрунтування було прийнято питому ексергетичну вартість продукту системи. Автор [6] досліджував тільки окремі режими роботи теплонасосної установки.

Автори [7, 8] пропонують так званий удосконалений ексергоекономічний аналіз теплового насоса та холодильної машини, але знову ж таки для окремо взятих режимів роботи.

Загалом в роботах [3 - 8] не враховано вплив на характеристики теплонасосної установки таких важливих факторів: мінливості погодно-кліматичних чинників у багаторічному перерізі, характеристик та режимів роботи споживача, а також можливої динаміки змін цін на енергоносії.

Варто відзначити, що однією з особливостей систем створення теплового комфорту у будівлях є те, що ексергетичні показники є досить чутливими до параметрів навколишнього середовища, по відношенню до яких визначаються ці показники [9].

Зазвичай тепловий насос покриває не всю встановлену теплову потужність споживача. Частина навантажень забезпечується додатково так званими піковими догрівачами. Доцільність влаштування бівалентних систем теплозабезпечення будівель обґрунтовують ряд авторів [4, 6, 10] та ін.

Мета

Отже, метою роботи є термoeкономічне обґрунтування встановленої потужності теплового насоса у складі бівалентної системи з урахуванням мінливості погодно-кліматичних факторів не тільки всередині опалювального періоду, але і в багаторічному перерізі. При цьому передбачається також аналіз впливу на рішення можливого діапазону змін цін та існуючих тенденцій підвищення теплотехнічних характеристик будівлі.

Методологія дослідження

В роботі використані метеорологічні дані для умов м. Рівне за 27 років, що включають себе середньодобові значення температури зовнішнього середовища, швидкості вітру та добове надходження сонячної радіації.

При аналізі розглядається триповерхова будівля із загальною опалювальною площею 225 м². Вихідні теплотехнічні параметри є такими: осереднене значення приведенного опору теплопередачі непрозорих огорожень рівне 1,5 (м²·К)/Вт; значення приведенного опору теплопередачі прозорих огорожень становить 0,5 (м²·К)/Вт; кратність повітрообміну

прийнята рівною 1 год^{-1} ; внутрішні тепловиділення рівні 10 Вт/м^2 ; температура повітря всередині будівлі приймається постійною і рівною 18°C ; частка засклення південного фасаду складає 50%, західного та східного 30%, північного 20%. В початковому варіанті вентиляція будівлі є природньою за рахунок інфільтрації через нещільності.

Теплотехнічні характеристики змінювались у відповідності до даних таблиці 1.

Таблиця 1. Зміна теплотехнічних характеристик при проведенні чисельних досліджень

Характеристики будівлі	Від	До
Осереднене значення приведенного опору теплопередачі непрозорих огорожень, $(\text{м}^2 \cdot \text{К})/\text{Вт}$	1.5	4
Приведений опір теплопередачі прозорих огорожень, $(\text{м}^2 \cdot \text{К})/\text{Вт}$	0.5	1.0
Коефіцієнт пропускання сонячної енергії прозорими огороженнями	0.4	0.64
Вентиляція	Природна за рахунок інфільтрації	Механічна з коефіцієнтом ефективності 0.8

Для дослідження теплових режимів будівлі та теплонасосної системи при зміні погодно-кліматичного фактору використаний квазістаціонарний підхід побудови математичних моделей.

В якості критеріїв ексергоекономічного обґрунтування приймаємо визначені у багаторічному перерізі значення та коефіцієнт варіації питомої ціни ексергії продукту системи. Параметром обґрунтування виступає частка встановленої потужності теплового насоса у складі бівалентної системи. Умовою обґрунтування рішення є мінімізація значення та коефіцієнта варіації питомої ціни ексергії продукту системи. Продуктом в даному випадку вважаємо енергію, що передається у формі теплоти від опалювального приладу на нагрів повітря всередині приміщення (рис. 1).

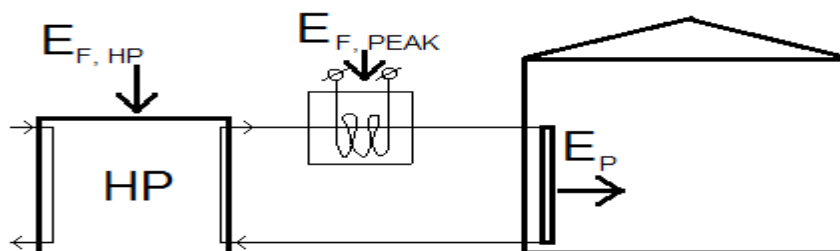


Рисунок 1. Принципова схема бівалентної теплонасосної установки для теплозабезпечення будівлі

У відповідності до принципів ексергоекономічного аналізу [1] можна записати балансове рівняння вартості у вигляді

$$C_p = C_F + Z, \quad (1)$$

або

$$c_p \cdot E_p = c_F \cdot E_F + Z_{tot}, \quad (2)$$

де E_p та E_F - потік ексергії продукту та палива відповідно;

C_p та C_F - відповідні вартості ексергії продукту та палива;

c_p та c_F - ціна ексергії продукту та палива відповідно;

Z_{tot} - щорічна вартість капітальних інвестицій та витрат на ремонт та обслуговування системи (без урахування витрат на енергоносії).

Відповідно щорічна вартість ексергії продукту, віднесена до одиниці ексергії продукту, буде визначатися за формулою

$$c_p = \frac{c_F \cdot E_F}{E_p} + \frac{Z_{tot}}{E_p}, \quad (3)$$

Результати та аналіз

На рис. 2 та 3 показані результати чисельних досліджень у вигляді залежності річної ексергетичної вартості продукту та коефіцієнта варіації у багаторічному перерізі для бівалентної теплонасосної системи теплозабезпечення від встановленої теплової потужності теплового насоса α для будинку відповідно з низькими та покращеними теплотехнічними характеристиками.

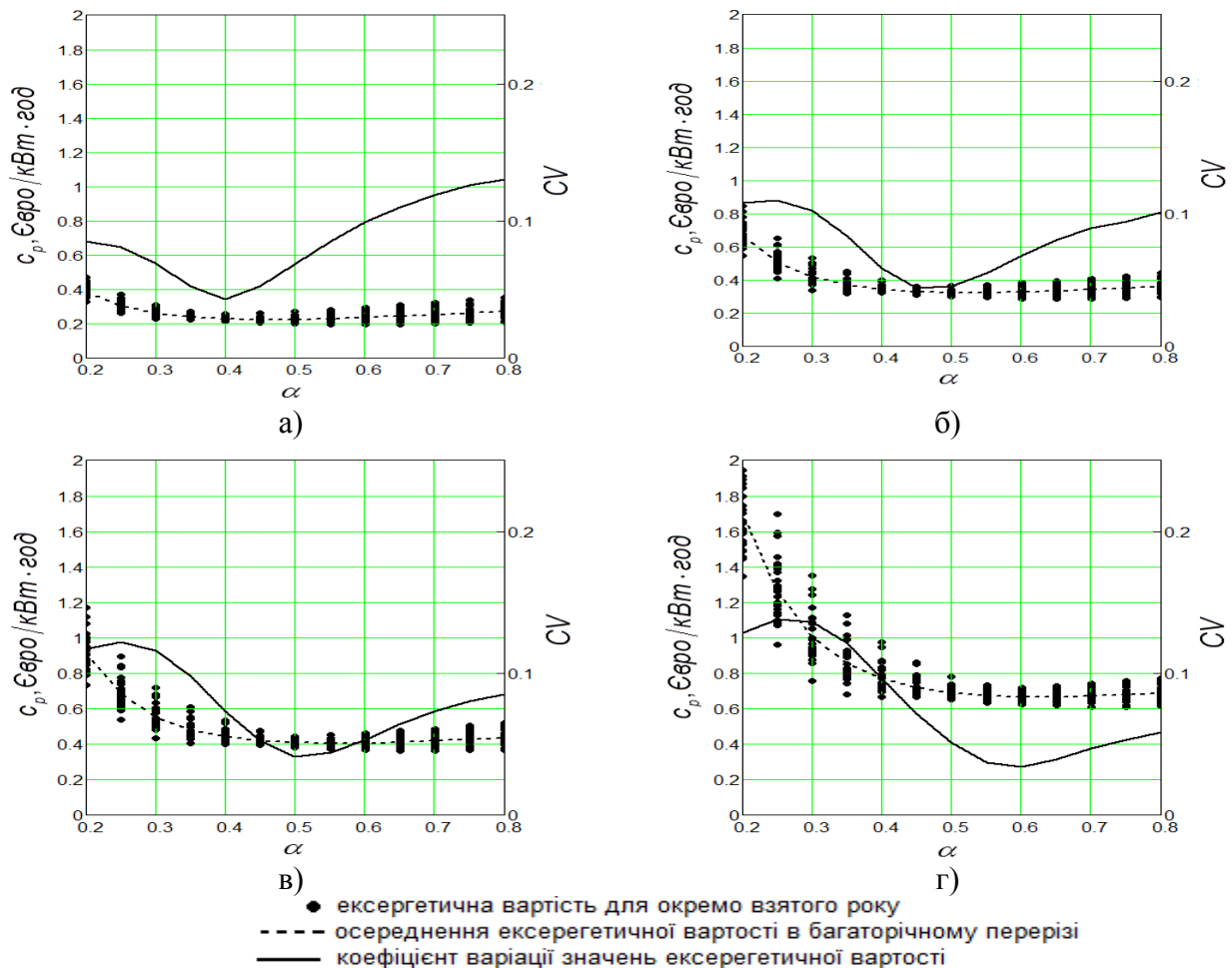


Рис. 2. Залежність річної ексергетичної вартості продукту та коефіцієнта варіації у багаторічному перерізі для бівалентної теплонасосної системи теплозабезпечення від встановленої теплової потужності теплового насоса α для будинку з низькими теплотехнічними характеристиками:

- а) – вартість ексергії палива $c_F = 0,035$ €/ро/(кВт·год);
- б) – вартість ексергії палива $c_F = 0,07$ €/ро/(кВт·год);
- в) – вартість ексергії палива $c_F = 0,1$ €/ро/(кВт·год);
- г) – вартість ексергії палива $c_F = 0,2$ €/ро/(кВт·год)

Отже, із рис. 2, а), б), в), г) бачимо, що при заданому значенні встановленої теплової потужності теплового насоса в складі бівалентної системи річна ексергетична вартість продукту системи теплозабезпечення характеризується певною невизначеністю. Коефіцієнт варіації при цьому змінюється від 0,035 до 0,135. Хоча варто вказати, що мінімальні значення коефіцієнта варіації відповідають і області мінімальних осереднених річних

значень ексергетичної вартості. Наприклад, при ціні електроенергії 0,07 Євро/(кВт·год) мінімальне значення $CV=0,05$ відповідає частці встановленої потужності теплового насоса $\alpha=0,5$. Цьому ж значенню відповідає і мінімальна ексергетична вартість продукту $c_p=0,35$ Євро/(кВт·год). Аналізуючи дані на рис. 2, а), б), в), г), також бачимо, що при збільшенні вартості палива значення критерію обґрунтування α , при якому як коефіцієнт варіації річної ексергетичної вартості продукту так і річна ексергетична вартість продукту мають мінімальні значення, зростає. Так при зростанні вартості палива від 0,035 Євро/(кВт·год) до 0,2 Євро/(кВт·год), виходячи із визначених критеріїв обґрунтування, частку встановленої потужності теплового насоса α потрібно збільшити від 0,4 до 0,6.

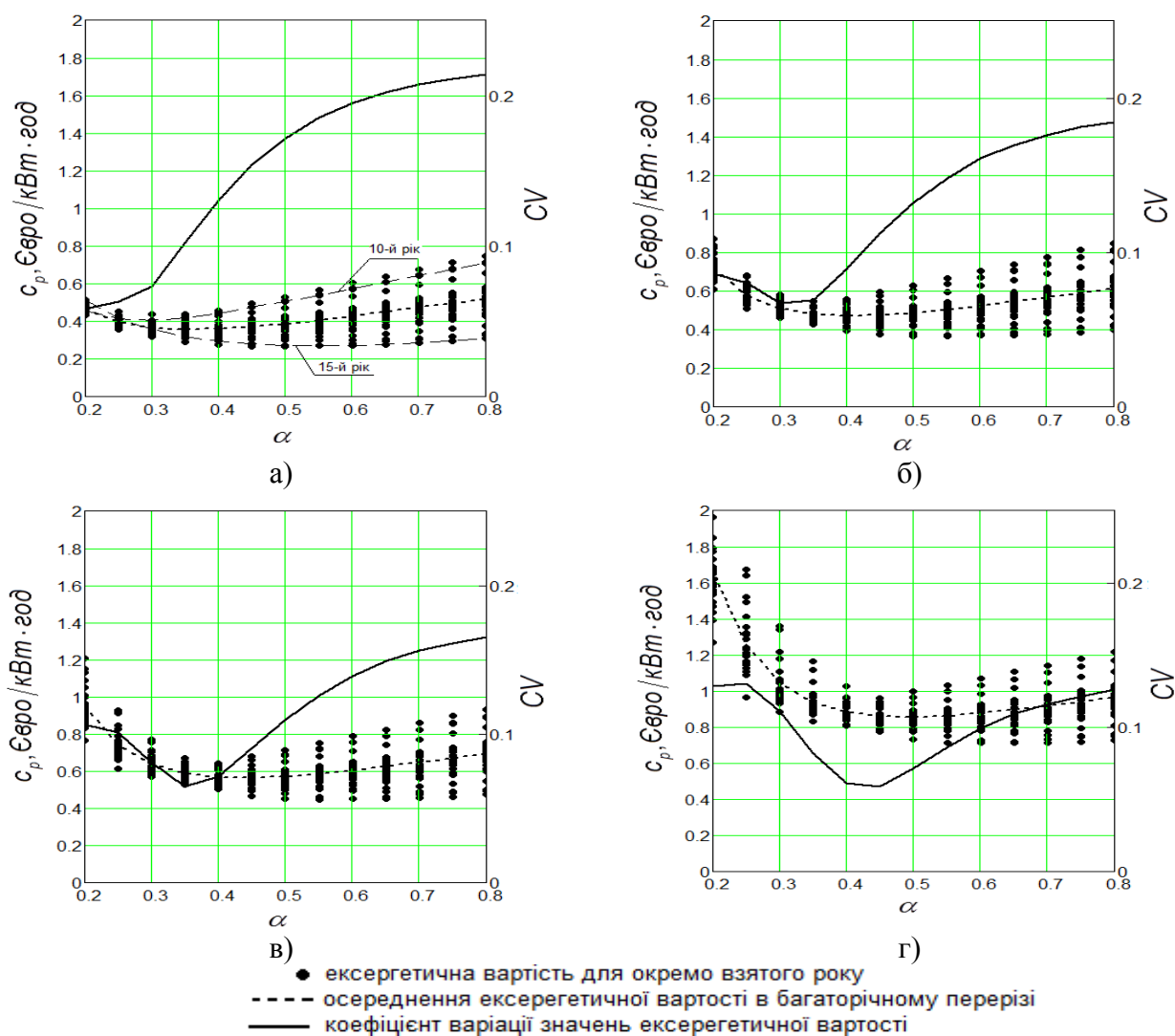


Рис. 3. Залежність річної ексергетичної вартості продукту та коефіцієнта варіації у багаторічному перерізі для бівалентної теплонасосної системи теплозабезпечення від встановленої теплової потужності теплового насоса α для будинку з покращеними теплотехнічними характеристиками:

- а) – вартість ексергії палива $c_F=0,035$ Євро/(кВт·год);
- б) – вартість ексергії палива $c_F=0,07$ Євро/(кВт·год);
- в) – вартість ексергії палива $c_F=0,1$ Євро/(кВт·год);
- г) – вартість ексергії палива $c_F=0,2$ Євро/(кВт·год);

Із рис. 3, а), б), в), г) бачимо, що при покращенні теплотехнічних характеристики будівлі (див. табл. 1) коефіцієнт варіації, який характеризує невизначеність річної

ексергетичної вартості продукту системи тепло забезпечення, зростає до 0,065...0,21 у порівнянні з будівлею з нижчими теплотехнічними характеристиками.

Із зростанням коефіцієнта варіації можуть виникати такі ситуації, коли значення α , при якому вартість продукту мінімальна, для різних років будуть досить суттєво відрізнятися. Наприклад, як видно із рис. 3, а), розрахована для 10-го року статистичного ряду частка встановленої потужності теплового насоса, яка відповідає мінімальному значенню вартості продукту системи $c_p=0,40$ Євро/(кВт·год), становить $\alpha=0,3$. В той же час, якщо аналізувати 15-й рік метеорологічних даних, то значення α , при якому вартість мінімальна і рівна 0,28Євро/(кВт·год), потрібно приймати рівним $\alpha=0,6$. Бачимо, що різниця ексергетичної вартості при оптимальних значеннях α для цих двох випадків відрізняється на 0,12Євро/(кВт·год) і є суттєвою.

Із рис. 3, а), б), в), г) видно, що як і для випадку будівлі із низькими теплотехнічними характеристиками мінімальні значення коефіцієнта варіації відповідають і області мінімальних осереднених значень ексергетичної вартості.

Також, як і у попередньому випадку, при збільшенні вартості палива значення критерію обґрунтування α , при якому як коефіцієнт варіації річної ексергетичної вартості продукту так і річна ексергетична вартість продукту мають мінімальні значення, зростає. Але, якщо для будівлі з гіршими теплотехнічними характеристиками область оптимальних значень α коливалась в межах 0,4...0,6, то для будівлі з покращеними теплотехнічними характеристиками (див. табл. 1) значення, при яких критерії обґрунтування мінімальні, необхідно зменшити до 0,2...0,4.

Висновки

В роботі виконано дослідження з термoeкономічного обґрунтування встановленої потужності теплового насоса у складі бівалентної системи з урахуванням мінливості погоднo-кліматичних факторів як всередині опалювального періоду так і в багаторічному перерізі. При цьому виконаний аналіз впливу на рішення можливого діапазону змін цін та існуючих тенденцій підвищення теплотехнічних характеристик будівель.

В якості критеріїв ексергoeкономічного обґрунтування прийнято визначені у багаторічному перерізі значення та коефіцієнт варіації питомої ціни ексергії продукту системи теплозабезпечення.

Показано, що через мінливість погоднo-кліматичного чинника питома ціна ексергії продукту такої системи характеризується певною невизначеністю. Для будівель із існуючими в Україні теплотехнічними характеристиками та тенденціями з їх зміни коефіцієнт варіації річної ціни ексергії змінюється в межах від 0,035 до 0,20 і вище. Причому ця невизначеність зростає при покращенні теплотехнічних характеристик будівель. Крім того, як показує аналіз, влаштування моновалентної теплонасосної системи не рекомендується. Значення коефіцієнтів варіації прийнятого критерію у даному випадку є максимальними.

Якщо врахувати також можливе збільшення вартості електроенергії для забезпечення роботи теплонасосної установки, то згідно результатів досліджень, відповідно до прийнятих критеріїв обґрунтування, частка встановленої потужності теплового насоса у складі бівалентної системи рекомендується в межах 0,4...0,5. Хоча в кожному окремому випадку необхідно виконати більш детальний аналіз для зниження рівня невизначеності прийнятого рішення.

Література

1. Bejan A. Thermal Design and Optimization / A. Bejan, G. Tsatsaronis, M. Moran. – New York: Wiley, 1996. – 542 p.
2. Tsatsaronis G. Definitions and nomenclature in exergy analysis and exergoeconomics [Text] / G. Tsatsaronis // Energy. – 2007. – № 32. – P. 249–253.
3. Оносовский В. В. Моделирование и оптимизация холодильных установок / В. В. Оносовский. – Л.: Ленинград. технолог. ин-т холодиль. пром-ости, 1990. – 205 с.

4. Кузнецов М.А. Эксерго-экономическое обоснование применения теплонасосных установок в технологических процессах промышленности и коммунальной теплоэнергетики: дис.... канд. техн. наук : 05.14.06 / Кузнецов Михаил Александрович . – Харьков, 2012. – 164 с.
5. Wall, G. Thermoeconomic optimization of a heat pump system [Text] / G. Wall // Energy Journal. – 1986. – Vol. 11, № 11(10). – P. 957–967.
6. Арсеньев, В.М. Теплонасосна технологія енергозбереження [Текст]: навч. посіб. / В.М. Арсеньев. - Суми: СумДУ, 2011. - 283 с.
7. Morosuk, T. Elements of exergoeconomics for the analysis of compressor heat pump [Text] / T. Morosuk // Heat Pipes, Heat Pumps, Refrigerators, Power Sources: VI Minsk International Seminar, 12–15 September 2005. – Minsk, Belarus, 2005. – P. 403–409.
8. Tsatsaronis, G. Exergetic and Economic Performance – Strategies for Optimizing Energy Systems [Text] / G. Tsatsaronis // Proceedings of the LowEx Symposium, 28–29 October 2009. – Kassel, Germany, 2009. – P. 18–27.
9. Torío, H., D. Schmidt, S. C. Jansen, M. Shukuya, A. Angelotti, P. Benz-Carlstrom, T. Iwamatsu, G. Johannesón, M. Molinari, F. Meggers, M. d. Carli, P. G. Cesaratto, L. Kranzl, P. Caputo, P. Op 't Veld, M. Ala-Juusela and D. Solberg (2011). IEA ECBCS Annex 49 Final Report - Low Exergy Systems for High-Performance Buildings and Communities - Detailed Exergy Assessment Guidebook for the Built Environment. Stuttgart, Germany, Fraunhofer Verlag (available online from www.annex49.com).
10. Волошук, В.А. Техніко-економічна оптимізація переходу на теплопостачання із використанням теплового насоса [Текст] / В.А. Волошук, М.А. Мартиняк, Й.С. Мисак // Вісник інженерної академії України. – 2014. – № 2. – С. 259–265.

УДК 620.9:658.26

Давиденко Л.В. доц., канд.техн.наук, доцент кафедри електропостачання

Луцький національний технічний університет

Давиденко В.А. доц., канд.техн.наук, доцент кафедри автоматизації, електротехнічних та комп'ютерно-інтегрованих технологій

Національний університет водного господарства та природокористування

ПРИЗНАЧЕННЯ ПРОЦЕДУР КОМПЛЕКСНОГО КОНТРОЛЮ РІВНЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ ОБ'ЄКТІВ ВОДОПОСТАЧАННЯ В СИСТЕМІ ЕНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТУ ВОДОПОСТАЧАЛЬНОГО ПІДПРИЄМСТВА

Визначено завдання комплексного контролю рівня ефективності енергоспоживання об'єктів водопостачання та обґрунтовано призначення його процедур для результативного управління енергоспоживанням в системі енергоменеджменту підприємства.

Ключові слова: енергоефективність, комплексний контроль.

Task of complex control of energy consumption efficiency level of water supply objects has been determined. Assignment its procedures for effective energy consumption management in the energy management system of enterprise has been substantiated.

Keywords: energy efficiency, complex control.

Вступ. В умовах скорочення запасів енергоносіїв і зростання їх ринкової вартості питання підвищення рівня енергоефективності є одним з пріоритетних завдань. Директива ІРПС 2008/1/ЕС [1] вимагає ефективного використання енергії під час експлуатації будь-яких установок. Енергоефективність є одним з критеріїв, які використовують для визначення найкращих доступних технологій.

Аналіз стану питання. Цілеспрямована діяльність у сфері енергозбереження потребує постійного управління цим процесом на рівні підприємств, їх підрозділів, технологічних процесів, установок. Метою управління енергоспоживанням на будь-якому об'єкті є досягнення високого рівня енергетичної ефективності при одночасному раціональному використанні всіх інших його ресурсів. Забезпечення дієвого управління та досягнення цільових завдань в галузі енергоефективності потребує створення на підприємстві системи енергоменеджменту (СЕМ), яка являє собою впорядковану сукупність взаємопов'язаних та взаємодіючих елементів, призначених для виконання певних функцій. Функціонування СЕМ засноване на принципі постійного удосконалення [2,3], а основне її призначення полягає в цілеспрямованому підвищенні ефективності енергоспоживання. В межах цієї системи має здійснюватися стратегічне та оперативне управління енергоспоживанням. Однією з його функцій є аналіз і контроль ефективності енергоспоживання.

Дотепер в енергоменеджменті, в першу чергу, розглядалось підприємство в цілому. Контроль енергоефективності конкретного обладнання та його режимів роботи не був постійним і безперервним та відбувався не в реальному часі, а за фактом, коли неефективне енергоспоживання мало місце значний проміжок часу [4]. Потреба систематичного управління енергоспоживанням на всіх ієрархічних рівнях складної виробничої системи зумовлює необхідність здійснення систематичного, в тому числі, оперативного [5], пооб'єктного контролю ефективності енергоспоживання. Останнім часом у методології енергоменеджменту запроваджується високий ступінь деталізації, контроль енергоефективності кінцевого споживача та оперативне реагування на погіршення ефективності енергоспоживання [4]. Це вимагає удосконалення існуючих та розроблення нових функцій і процедур контролю та їх інтеграції в СЕМ.

Метою статті є обґрунтування призначення процедур комплексного контролю ефективності енергоспоживання в системі комунального водопостачання для забезпечення результативного управління енергоспоживання в межах СЕМ.

Методи, матеріали і результати дослідження. Енергоефективність будь-якої виробничої системи як її синтетична характеристика є ознакою, що характеризує здатність об'єкта дослідження ефективно функціонувати в певних умовах, що вимагає раціонального використання енергоресурсів. Ефективність енергоспоживання - один з індикаторів стану справ у виробничій системі з точки зору технічного рівня виробництва, провадження технологічних процесів, а також організації енергоменеджменту. Згідно [2] серед ключових принципів забезпечення енергоефективності відзначено такі: розробка та впровадження СЕМ; системний підхід до забезпечення енергоефективності (врахування всіх аспектів і взаємозв'язків між процесами і установками, що функціонують на підприємстві); виявлення ключових аспектів забезпечення енергоефективності та можливостей енергозбереження; визначення показників енергоефективності, їх оцінка, перегляд і вдосконалення; порівняльний аналіз або бенчмаркінг (порівняння з найкращими досягнутими результатами); послідовне вдосконалення енергоефективності (поетапне досягнення кращих показників); розробка та впровадження методів вдосконалення енергоефективності, включаючи моніторинг і контроль.

Моніторинг ефективності енерговикористання в будь-якій виробничій системі покликаний забезпечити визначення її стану та ефективності організації технологічного процесу, а також створити передумови для підвищення якості функціонування системи та її об'єктів. Основним принципом функціонування системи моніторингу повинна бути безперервність пооб'єктного контролю та урахування отриманої інформації для удосконалення виробничого процесу і планування енергоефективних режимів.

Контроль енергоефективності - складова процесу управління ефективністю енергоспоживання (рис. 1). Адекватна процедура контролю енергоефективності повинна давати змогу оперативно визначати моменти невідповідного підвищення чи зниження

енергоефективності на досліджуваному об'єкті, а також давати обґрунтовану оцінку, з яких причин відбулись ці зміни [5].

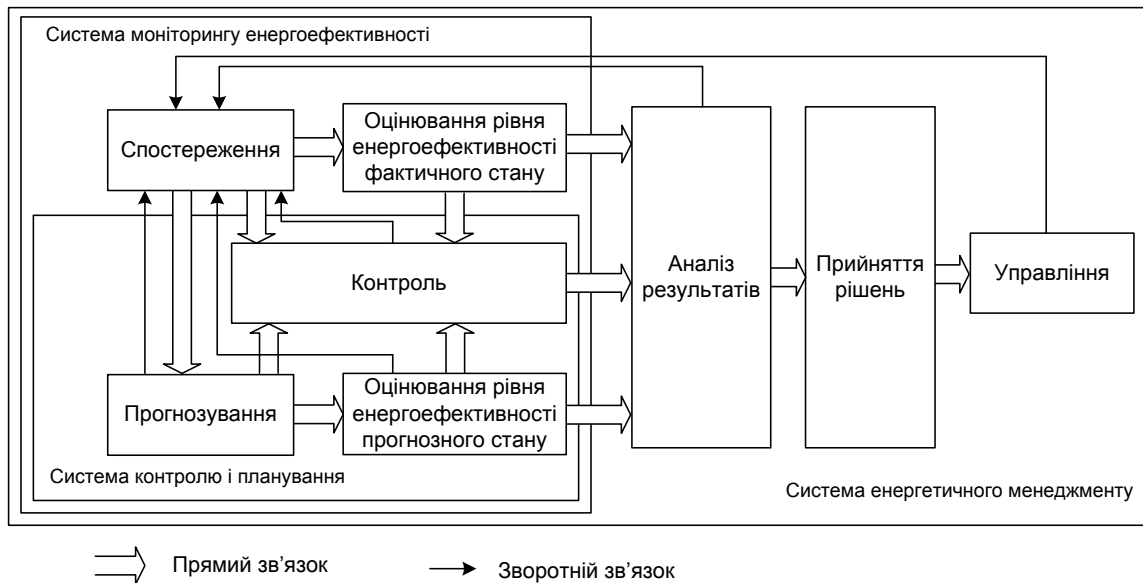


Рис. 1. Структура системи енергоменеджменту

В загальному випадку контроль представляє собою самостійний, безперервний процес управлінської діяльності, який полягає в спостереженні, перевірці, зборі та (за необхідності) реєстрації інформації про ефективність функціонування керованого об'єкта; своєчасному виявленні відхилень від прийнятих нормативів та стандартів, аналізі причин їх виникнення; коригуванні функціонування об'єкту контролю, виборі способів впливу на об'єкт контролю для попередження негативних тенденцій. Основними етапами контролю є: 1) отримання первинної інформації про фактичний стан об'єкта контролю, його контрольовані показники; 2) отримання вторинної інформації - відхилень від заданих параметрів шляхом зіставлення первинної інформації з встановленими нормативами; 3) підготовка інформації для вироблення керуючих впливів на об'єкт. За результатами контролю здійснюються управлінські впливи на об'єкт контролю для коригування його функціонування.

Контроль може бути ефективним у випадку отримання та раціонального використання достовірної та своєчасної інформації про стан керованої системи, відповідності її функціонування намічених цілей.

Вимірювання є важливим інструментом отримання достовірної та доступної для спостереження інформації як щодо обсягів енергоспоживання, так і щодо технологічних характеристик виробничих процесів. Необхідною умовою забезпечення ефективної роботи складної виробничої системи є автоматизація процесу збору даних про параметри режимів роботи кожного з її структурних елементів та виробничої системи в цілому. Сучасні світові тенденції у галузі управління енергоефективністю відповідно стандарту ISO 50001 передбачають широке впровадження автоматизованих систем обліку енергоресурсів, управління технологічними процесами, які є складовою частиною загальної системи моніторингу, а також інформаційних систем енергоменеджменту. Наявність автоматизованих систем управління спрощує збір та обробку інформації по кожному із об'єктів системи комунального водопостачання. Їх підключення до мережі INTERNET забезпечить зв'язок між контрольними пунктами об'єктів управління та центральним сервером підприємства, що дозволить здійснити консолідацію даних в одній системі. Використання WEB – технологій забезпечує можливість створення систем обліку та аналізу енергоспоживання будь-якого масштабу, забезпечуючи просте їх конструювання.

Впровадження системи моніторингу забезпечує можливість створення великих баз даних, що містять інформацію про режими роботи об'єктів водопостачання, використання методів інтелектуального аналізу даних для вивчення постійно зростаючих об'ємів інформації та виявлення прихованих закономірностей, що визначають формування технологічних режимів об'єктів водопостачання. Здійснення комп'ютерного моніторингу витрат енергоресурсів дозволяє розкрити потенціал непродуктивних їх витрат і витрат; контролювати енергоефективність системи комунального водопостачання (СКВ), її виробничих процесів та кожного з її об'єктів. Прив'язка моніторингу до місць споживання енергії закладає фундамент системи контролю енергоефективності, яка передбачає [2]: адекватний контроль параметрів технологічних процесів на всіх етапах і у всіх режимах; виявлення ключових показників енергоефективності, а також методів, що дозволяють вимірювати і контролювати ці параметри; документування та аналіз аварійних ситуацій з метою виявлення і усунення їх причин для запобігання повторення подібних ситуацій.

Окрема увага повинна бути приділена моніторингу чинників зовнішнього середовища, що мають вплив на ефективність режиму енергоспоживання в СКВ. Одним з них є водоспоживання. Організація режиму водопостачання повинна максимально відповідати водоспоживанню. Тому, необхідним є аналіз режимів водоспоживання, виявлення тенденцій його зміни залежно від сезону, кліматичних умов та формування на його основі типових графіків водоподачі. Урахування впливу соціальних особливостей та чинників зовнішнього середовища на характер добового водоспоживання є необхідною умовою реалізації процедур-алгоритмів планування ефективних режимів водоподачі та електроспоживання для кожного з характерних днів. Контроль дотримання режиму водоподачі та виявлення відхилень контрольованих параметрів сприятиме виявленню аварійних ситуацій в мережі.

Контроль ефективності енергоспоживання вимагає постійного аналізу енергоспоживання, динаміки показників енергоефективності та виявлення тенденцій до погіршення (покращення).

Забезпечення підвищення загальної ефективності функціонування складної виробничої системи є можливим за умови забезпечення ефективного використання енергоресурсів в усіх її структурних об'єктах та управління енергоспоживанням. Для аналізу енергоефективності СКВ необхідно використовувати багаторівневу систему показників, яка б забезпечувала можливість аналізування ефективності енерговикористання на різних ієрархічних рівнях; кількісної оцінки параметрів стану та вихідних умов функціонування; розкриття закономірностей використання енергії; контролювання енергоспоживання, дотримання оптимальних параметрів технологічного процесу. Перевагу слід надавати системі показників енергоефективності, яка відображатиме [6] технічний стан, рівень енергоспоживання та ефективність організації технологічного процесу водопостачання. Формування сукупності показників енергоефективності об'єктів водопостачання потребує врахування ієрархічної приналежності об'єкту дослідження та ідентифікації класу задачі дослідження. Контроль показників енергоефективності дозволить отримати інформацію щодо ефективності роботи СКВ та її об'єктів.

Сучасні СЕМ містять підсистему оперативного управління ефективністю енергоспоживання – Monitoring and Targeting System [7]. В її основі є виявлення залежності енергоспоживання від істотних показників – побудова «стандартів» енергоспоживання, відносно яких оцінюють ефективність енергоспоживання. Регулярне фіксування енергоспоживання та його коливання сприяє виявленню певних енергетичних аспектів і процесів, які повинні бути покращені. Визначення теоретичних рівнів енергоспоживання в системі комунального водопостачання повинне передбачати:

1) моделювання водоподачі, яке передбачає: прогнозування водоспоживання, формування типових графіків водоподачі та їх коректування з урахуванням зміни соціальних і кліматичних чинників;

2) побудова моделей електроспоживання з урахуванням типових графіків водоподачі, а також технічних та технологічних чинників, що впливають на рівень ефективності електроспоживання.

Одним з завдань системи контролю енергоефективності є встановлення нормативів для контрольованих технологічних параметрів та показників енергоефективності (або їх «еталонів»). Нормативи енергоспоживання по об'єктах, виробничих процесах доцільно встановлювати на базі накопиченої статистики про споживання енергоресурсів, показники енергоефективності та технічні параметри в розрізі вибраного об'єкту дослідження. Це дозволить врахувати реальні умови функціонування об'єкту дослідження та виключити завищення або заниження нормативу, поява яких можлива у випадку застосування традиційних методів нормування.

Система контролю повинна забезпечувати не лише регулярне фіксування енергоспоживання та його коливання, які можуть і повинні бути локалізовані, оцінку та постійне контролювання рівня енергоефективності, а й можливість виявлення на основі аналізу показників енергоефективності помилок в організації режиму роботи об'єктів, певних енергетичних аспектів та ділянок виробничого процесу, які потребують вдосконалення. Виконання цих завдань в змозі забезпечити система бенчмаркінгу енергоефективності, внесена в систему контролю та планування як її підсистема, що містить процедури порівняння показників енергоефективності з аналогічними показниками кращих за рівнем енергоефективності об'єктів. Зміни енергоефективності повинні вимірюватися відносно базового енергоспоживання («стандарту»), зафіксованого у вихідному енергетичному профілі, а також з урахуванням кращих зразків ефективного енергоспоживання. Тому побудова математичних моделей «стандартів» енергоспоживання та нормативів для контрольованих параметрів повинна виконуватись для об'єкту дослідження з урахуванням його реальних умов функціонування для поточного контролю ефективності енергоспоживання, а також для аналогічного об'єкту, який є кращим за рівнем енергоефективності в групі однотипних, для порівняльного аналізу.

Таким чином, система контролю енергоефективності на об'єктах водопостачання-водовідведення повинна містити [8]:

1) підсистему оперативного контролю енергоефективності, яка забезпечує: поточний контроль динаміки водоподачі як чинника, що визначає побудову режиму ефективного електроспоживання; поточний контроль динаміки показників енергоефективності з позицій їх відповідності певним діапазнам за рівнем енергоефективності; контроль дотримання «стандарту» енергоспоживання;

2) підсистему бенчмаркінгу енергоефективності, яка містить процедури: порівняння динаміки показників енергоефективності з показниками кращих об'єктів; порівняльного аналізу відповідності дійсного режиму електроспоживання «стандарту» кращих об'єктів з групи однотипних.

Бенчмаркінг є невід'ємною частиною планування, аналізу та оцінки процесу, тобто моніторингу, а також інструментом управління для безперервного поліпшення. Порівняльний аналіз (бенчмаркінг) енергоефективності представляє собою процедуру планомірного вивчення кращих практик ефективності енергоспоживання у виробничій системі з урахуванням ієрархічного рівня об'єкту дослідження, порівняння його характеристик енергоефективності з еталонними зразками з метою впровадження досягнень кращих об'єктів. Визначення еталонних значень показників енергоефективності забезпечує можливість виявлення кращої практики для проведення подальшого порівняння. Відхилення показників від еталону вкажуть на відставання об'єкту бенчмаркінгу і на те, що саме необхідно виправити. Величина відхилення дозволить ідентифікувати розрив (різницю між справжнім станом суб'єкта бенчмаркінгу та станом, в якому хотілося б перебувати), визначити рівень енергоефективності, здійснити позиціонування об'єкту дослідження серед групи однотипних (наприклад, шляхом рейтингування) та виявити лідерів і аутсайдерів серед

партнерів бенчмаркінгу. Аналіз вихідного стану, умов функціонування лідерів, особливостей організації їх режимів роботи та процесу енергоспоживання дозволить визначити «кращі практики» енергоефективності. Тобто, бенчмаркінг енергоефективності дозволяє швидко і з малими витратами виявити проблемні ситуації у функціонуванні складної виробничої системи або її елементів та сприяють виявленню прогалини в ефективності.

Під час організації системи комплексного контролю енергоефективності крім встановлення нормативів для контрольованих параметрів необхідним є налаштування інструментів сигналізації – повідомлень енергоменеджера про перевищення нормативу.

Систематичне визначення різниці в енергоспоживанні та розривів з кращою практикою, визначення та реалізація заходів щодо підвищення рівня енергоефективності, моніторинг результатів впровадження і переоцінка результатів бенчмаркінгу є частиною циклу постійного удосконалення виробничої системи, що приводить до покращення енергетичного функціонування та підвищення рівня її енергоефективності. Бенчмаркінг енергоефективності слід розглядати як елемент системи енергоменеджменту підприємства, а основою його побудови повинен бути цикл Демінга - PDCA «Plan-Do-Check-Act» (Планування-Виконання-Перевірка-Дії), який згідно міжнародного стандарту ISO 50001:2011 є основою побудови СЕМ підприємства для забезпечення постійного поліпшення енергетичного функціонування об'єкту та самої СЕМ.

Обов'язковою процедурою комплексного контролю має бути передача інформації в системи управління технологічними процесами для здійснення управлінських впливів та коригування параметрів технологічного процесу, а також в систему енергоменеджменту для аналізу отриманих результатів, вироблення рекомендацій щодо підвищення ефективності енерговикористання та прийняття рішень щодо першочерговості їх впровадження.

Висновки. Система комплексного контролю енергоефективності є важливим елементом процесу управління ефективністю енергоспоживання, зокрема, інформаційного забезпечення ухвалення рішень щодо підвищення енергоефективності в системі енергоменеджменту підприємства. Це вимагає постійного аналізу відхилень фактичних значень параметрів суб'єкту контролю від очікуваних теоретичних та сигналізації перевищення встановлених нормативів. Визначення нормативів показників енергоефективності та «стандартів» енергоспоживання для вибраного об'єкту дослідження повинне виконуватись на основі статистики, накопиченої в базі даних системи моніторингу, враховувати реальні умови його функціонування, а також кращі зразки ефективного енерговикористання. Це дозволить в режимі реального часу виконувати обробку інформації про параметри режимів та показники енергоефективності структурних елементів та системи водопостачання в цілому, відслідковувати часову еволюцію явищ, оцінювати взаємну залежність контрольованих величин тощо, а також здійснювати аналіз результатів контролю та передачу даних в системи управління для прийняття рішень щодо оптимального використання наявних можливостей підвищення енергоефективності.

Література

1. Directive 2008/1/EC of the European Parliament and of The Council of 15 January 2008 concerning integrated pollution prevention and control // Official Journal of the European Union. – № L 24.
2. European Commission (2009) Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC). Reference Document on Best Available Techniques for Energy Efficiency // Seville: Institute for Prospective Technological Studies, European IPPC Bureau, 2008. – 430 p. Режим доступа: <http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/ene.html>.
3. ISO 50001:2011. Committee draft. Energy management systems — Requirements with guidance for use.

4. Закладний О.О. Засоби діагностичного аудиту енергоефективності як елемент побудови системи енергоменеджменту / О.О. Закладний, О.М. Закладний // Енергетика: економіка, технології, екологія. 2013. №2. – С. 44-50.
5. Находов В.Ф. Моніторинг показників енергоспоживання в системі енергетичного менеджменту / В.Ф. Находов, О.О. Пецкова, Д.О. Іванько // Енергетика. Екологія. Людина. Наукові праці НТУУ «КПІ», ІЕЕ. – Київ: НТУУ «КПІ», ІЕЕ, 2015. – 480 с. – С. 210-217
6. Розен В.П. Формування інформаційного поля для оцінювання рівня енергоефективності систем комунального водопостачання / В.П. Розен, Л.В. Давиденко, В.А. Давиденко // Вісник КДПУ ім. М. Остроградського. – Кременчук: КДПУ. - 2010. – Вип. №4 (63). – С. 50-53
7. Pooley John. Quick Start Guide to Energy Monitoring&Targeting (M&T) // Effective Energy Management Guide. – 2005. – Режим доступу: <http://www.oursouthwest.com/SusBus/susbus9/m&tguide.pdf>
8. Давиденко Л.В. Принципи побудови інтегрованої системи моніторингу енергоефективності для підприємства водопровідно-каналізаційного господарства / Л.В. Давиденко // Енергетика: економіка, технології, екологія. - 2015. - № 3. – С. 107-115.

УДК 620.9:658.26

Давиденко Л.В. доц., канд.техн.наук, доцент кафедри електропостачання

Клименко М.Б., магістрант

Луцький національний технічний університет

ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДУ БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНОГО МАЖОРИТАРНОГО РЕЙТИНГУВАННЯ В ЗАДАЧАХ БЕНЧМАРКІНГУ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ВОДОГОСПОДАРСТВ УКРАЇНИ

Стаття присвячена питанням удосконалення процедури бенчмаркінгу енергоефективності за допомогою використання методів рейтингування, які б дозволяли позиціонувати об'єкт дослідження та виявити аспекти, що потребують удосконалення.

Ключові слова: бенчмаркінг, енергоефективність, рейтинг.

This article is devoted to issues of improving the energy efficiency benchmarking procedure by using methods of rating, which would allow to position the research object and identify aspects that need improvement.

Keywords: benchmarking, energy efficiency, rating.

Вступ. Енергоефективність країни визначається енергоефективністю регіонів, промислових підприємств, технологій, окремих агрегатів. Підвищення рівня енергетичної ефективності залежить від реалізації заходів енергоефективності в регіонах, на конкретних підприємствах, від можливостей організації та підтримки діяльності у сфері енергоефективності [1]. Однією з актуальних проблем для України є підвищення рівня енергоефективності за рахунок використання нових методів і підходів до його оцінки.

Аналіз стану питання. Бенчмаркінг стає все популярнішим інструментом підвищення ефективності будь-яких процесів. Бенчмаркінг енергоефективності є особливим типом бенчмаркінгу діяльності, сфокусованим на ефективності використання енергії [2], який представляє собою збір, аналіз та оцінку інформації про енергоспоживання найкращих підприємств в галузі, а також про методи управління процесами енергоспоживання, що ними використовуються. Його мета полягає у підвищенні енергоефективності шляхом зниження загального споживання енергії та пов'язаних з ними витрат і викидів вуглекислого газу на основі порівняння енергоефективності між або всередині об'єктів дослідження та пошуку кращих практик, а також демонстрації можливостей для поліпшення [3].

Бенчмаркінг енергоефективності – процес збору, аналізу інформації з метою оцінювання та порівняння ефективності використання ПЕР різних об'єктів або в межах одного об'єкта [3]. Бенчмаркінг енергоефективності дозволяє встановити відмінності енергоспоживання та оцінити різницю між компанією, що порівнюється, та компанією еталоном. Мета бенчмаркінгу енергоефективності полягає в тому, щоб на основі дослідження енерговитрат встановити потребу в змінах і забезпечити успіх в результаті цих змін [4]. Це дозволяє визначити шляхи застосування методів управління енерговикористанням, спрямованого на зменшення енергоспоживання, здійснювати стратегічне планування підвищення енергоефективності та вибирати оптимальні точки впровадження заходів з енергозбереження. Бенчмаркінг дає змогу знайти стратегії і практики, які допомогли якомусь місту чи області досягти найвищої ефективності.

У європейському стандарті EN 16001 «Energy efficiency benchmarking methodology» і міжнародному ISO 50001:2011 на системи енергоменеджменту застосування компанією бенчмаркінгу не розглядається як обов'язкова вимога. Проте згідно Додатку А до ISO 50001:2011 бенчмаркінг позиціонується як один з інструментів підтримки і безперервного покращення діяльності у сфері енергозбереження [4.]. Тому, розробка підходів щодо використання бенчмаркінгових процедур для аналізу енергоефективності будь-яких об'єктів не втрачають своєї актуальності, в тому числі, у сфері комунального водопостачання.

Метою статті є удосконалення процедури бенчмаркінгу енергоефективності шляхом використання методів рейтингування, які б дозволяли не лише позиціонувати об'єкт дослідження серед групи однотипних, а й забезпечували можливість виявлення аспектів, що потребують покращення.

Методи, матеріали і результати дослідження. Вимірювання ефективності діяльності господарських суб'єктів, порівняльний аналіз результатів по групі схожих за спеціалізацією об'єктів дослідження у пошуку найбільш ефективних практик організації виробництва (the best practice) здійснюється як на мікро-, так і макрорівнях. На мікрорівні переслідуються цілі оцінки рейтингу підприємства або пошуку підприємств-орієнтирів носіїв найкращих практик організації виробництва та вдосконалення на цій основі своєї діяльності. На макрорівні, зокрема з позиції регулюючих органів, що виробляють різні заходи зі стимулювання розвитку галузей і напрями вдосконалення державної політики, важливим є моніторинг загальної ситуації в галузі, аналіз і типологія об'єктів за ступенем ефективності.

Результати бенчмаркінгу надають цінну інформацію для виконання об'єктивного енергетичного аналізу і формулювання цілей і завдань в сфері енергоефективності. Оцінювання результатів бенчмаркінгу передбачає, перш за все, визначення рейтингів, надання їм кількісної чи якісної оцінки. У зв'язку зі складністю одночасного аналізу великої кількості різноманітних показників енергоефективності поширення набули процедури комплексної оцінки, на підставі яких рейтинг є узагальненою оцінкою рівня енергоефективності. Для формування рейтингів зазвичай застосовують методи порядкового ранжирування, яке здійснюється шляхом розташування агрегованих даних за зростанням або спаданням. Під рейтингом розуміють комплексну характеристику енергоефективності згідно з певною шкалою, де значення рейтингу - це елемент лінійно напівупорядкованої множини. При цьому кожній агрегованій величині присвоюється конкретний порядковий номер. Основна увага приділяється одному з перших етапів бенчмаркінгу - виявлення еталонних показників, на підставі яких проводиться аналіз ефективності структурних перетворень у галузі [5].

Визначення рейтингу включає такі основні етапи: збір, систематизація та аналітичне опрацювання інформації (статистичної, експертної) за обраний для аналізу період; вибір та обґрунтування системи показників, що використовуються для обчислення рейтингової оцінки, їх структуризація; розроблення методології, методики та інструментарію щодо обчислення інтегрованого показника рейтингової оцінки; ранжирування об'єктів згідно з кількісним значенням інтегрованого показника рейтингової оцінки для кожного з них.

На сьогодні існує велика кількість методик визначення рейтингів, що відрізняються значною варіативністю, а використання показників для оцінювання обумовлено метою дослідження, сферою чи інструментарієм, яким оперують дослідники. Одним із методів позиціонування об'єктів дослідження є метод багатокритерійного мажоритарного рейтингування. Суть даного методу полягає в наступному [6]: спочатку для кожного i -го об'єкта i для кожного вибраного j -ого показника визначаються об'єкти, котрі «поступаються» (гірші) i -го об'єкта за j -тим показником. При цьому, такі об'єкти визначаються в залежності від характеру j -ого показника (критерію) наступними способами:

- якщо збільшення значення j -ого критерію (показника) означає краще функціонування об'єкта (показник-стимулятор), тоді:

$$R_j(\hat{I}^{\circ} \hat{e} \hat{a}_i) = \{\hat{I}^{\circ} \hat{e} \hat{a}_k : a_{ij} > a_{ik}, k = 1, 2, \dots, m\} i = \overline{1, m} \quad (1)$$

- якщо збільшення значення j -ого критерію (показника) означає гірше функціонування об'єкта (показник де стимулятор), тоді:

$$R_j(\hat{I}^{\circ} \hat{e} \hat{a}_i) = \{\hat{I}^{\circ} \hat{e} \hat{a}_k : a_{ij} \leq a_{ik}, k = 1, 2, \dots, m\} i = \overline{1, m} \quad (2)$$

Число елементів множини $R_j(\hat{I}^{\circ} \hat{e} \hat{a}_i)$, визначених за критерієм j , позначимо $|R_j(\hat{I}^{\circ} \hat{e} \hat{a}_i)|$. Тоді число $|R_j(\hat{I}^{\circ} \hat{e} \hat{a}_i)|$ означає кількість об'єктів, над якими «домінує» i -тий об'єкт за j -тим критерієм. Визначивши для всіх об'єктів числа $|R_j(\hat{I}^{\circ} \hat{e} \hat{a}_i)|$ за всіма критеріями, чинимо наступним чином:

- якщо всі критерії мають однакову вагу, то визначаємо число $|R_j(\hat{I}^{\circ} \hat{e} \hat{a}_i)|$, яке визначає кількість об'єктів, над якими «домінує» i -тий об'єкт за всіма показниками i , отже, може бути використаний як показник рейтингу i -го об'єкта серед даних об'єктів:

$$\bar{R}(\hat{I}^{\circ} \hat{e} \hat{a}_i) = \sum_{j=1}^n |R_j(\hat{I}^{\circ} \hat{e} \hat{a}_i)|, j = \overline{1, m} \quad (3)$$

- якщо критерії мають неоднакову вагу, то число $\bar{R}(\hat{I}^{\circ} \hat{e} \hat{a}_i)$ буде визначати рейтинг i -го об'єкта за всіма критеріями з урахуванням їх ваги ρ_j :

$$\tilde{R}(\hat{I}^{\circ} \hat{e} \hat{a}_i) = \sum_{j=1}^n \rho_j |R_j(\hat{I}^{\circ} \hat{e} \hat{a}_i)|, j = \overline{1, m} \quad (3)$$

Варто відзначити, що мажоритарний метод має багато модифікацій, котрі відрізняються, в основному, методом визначення величин $|R_j(\hat{I}^{\circ} \hat{e} \hat{a}_i)|$ або $\tilde{R}(\hat{I}^{\circ} \hat{e} \hat{a}_i)$ і в окремих випадках для рейтингової оцінки об'єктів можна застосовувати будь-яку з них.

Таблиця 1 – Стандартизовані вихідні дані рейтингування

Області України	П1	П2	П3	П4	П5
Автономна республіка Крим	0,754	-0,516	-0,784	1,839	0,042
Вінницька область	0,135	-0,193	-1,132	0,263	-0,350
Волинська область	-1,090	-0,603	-0,063	-0,551	-0,247
Дніпропетровська область	-0,648	-0,985	1,132	0,440	-0,796
Донецька область	-0,294	-1,436	0,935	0,574	-0,735
Житомирська область	1,335	-0,545	0,792	0,570	-0,252
Закарпатська область	0,880	0,574	2,110	-1,402	-0,139
Запорізька область	0,590	-0,611	-0,011	0,019	-0,536
Івано-Франківська область	0,097	-0,545	-0,658	0,528	0,215
Київська область	-1,531	-0,140	-1,436	-1,063	0,358
Кіровоградська область	-0,458	-0,462	-0,928	-0,003	-0,600
Луганська область	0,893	0,428	-0,363	1,964	-0,612
Львівська область	1,196	-0,532	0,528	1,544	-0,900

Миколаївська область	0,186	2,151	-0,246	-0,108	1,407
Одеська область	0,135	0,412	-0,989	0,493	0,931
Полтавська область	-0,711	2,867	0,384	-1,246	3,758
Рівненська область	-1,797	0,116	0,117	-1,863	-0,252
Сумська область	-0,269	-0,049	-0,671	-0,469	-0,478
Тернопільська область	0,173	-0,305	-0,488	-0,063	-0,156
Харківська область	1,209	0,387	2,132	0,193	-0,654
Херсонська область	-0,471	-0,813	-1,656	0,793	0,496
Хмельницька область	-0,332	0,230	-0,707	-0,096	-0,564
Черкаська область	-0,749	-0,708	0,434	-1,072	-0,460
Чернівецька область	1,284	1,864	0,809	0,261	2,038
Чернігівська область	-0,887	-0,584	0,759	-1,545	-0,499

Для проведення рейтингування було визначено п'ять показників ефективності роботи систем комунального водопостачання для двадцяти п'яти областей України: питомі витрати електроенергії на водопостачання кВт·год/м³ (П1); витік та невраховані втрати води % до поданої в мережу (П2); втрати та неврахований витік води на 1 км аварійної та ветхої мережі тис.м³/км (П3); частка ветхих мереж, % (П4); коефіцієнт використання номінальної продуктивності насосів (П5). Причому, Показник П5 є стимулятором, а інші – де стимуляторами. Оскільки дані показники мають різні одиниці виміру, вони було попередньо стандартизовані (табл.1).

Приймаємо, що усі показники мають однакову вагу.

Для кожної області та показника визначимо величину $R_j(\hat{I}^{\circ} \hat{e} \hat{d} \hat{a}_i)$ (табл. 2), також її рейтинг серед областей України. Причому, рейтинг області тим вищий, чим більшою для неї є величина $\bar{R}(\hat{I}^{\circ} \hat{e} \hat{d} \hat{a}_i)$.

Таблиця 2 - Визначення кількості об'єктів, що переважають i -тий об'єкт за j -тим критерієм

Області України	R_1	R_2	R_3	R_4	R_5	$\bar{R}$	Рейтинг
Київська область	20	21	8	20	10	94	1
Херсонська область	11	5	21	7	21	86	2
Волинська область	22	19	12	18	14	85	3
Рівненська область	21	18	6	23	8	79	4
Черкаська область	17	22	24	3	20	79	5
Чернігівська область	23	10	23	19	19	76	6
Полтавська область	7	20	11	12	7	73	7
Івано-Франківська область	8	1	13	16	22	68	8
Кіровоградська область	24	8	10	24	13	67	9
Одеська область	14	24	3	4	2	65	10
Сумська область	16	13	20	13	5	65	11
Тернопільська область	15	7	18	15	6	65	12
Вінницька область	10	11	22	9	11	63	13
Хмельницька область	12	16	16	6	18	61	14
Миколаївська область	1	2	4	10	23	60	15
Автономна республіка Крим	18	23	2	8	1	57	16
Запорізька область	9	12	15	14	15	57	17
Дніпропетровська область	19	0	9	21	24	52	18
Донецька область	13	9	17	17	9	47	19
Закарпатська область	4	4	14	0	4	47	20

Чернівецька область	2	6	0	11	3	40	21
Житомирська область	3	15	7	2	0	39	22
Львівська область	6	14	19	1	17	27	23
Луганська область	5	3	1	22	16	26	24
Харківська область	0	17	5	5	12	22	25

Результати розрахунку дозволяють стверджувати, що низький рівень енергоефективності Харківської області зумовлений, в першу чергу, високими питомими витратами електроенергії на водопостачання, а також високою часткою аварійних та ветхих мереж, витоків та неврахованих втрат води в мережі в них. Разом з тим, у лідера рейтингу – Київської області – також є певні аспекти, які потребують покращення, зокрема, значні втрати та невраховані витрати води, що зумовлені критичним станом мереж.

Висновки. Бенчмаркінг енергоефективності дозволяє виявити відмінності у енергоефективності шляхом позиціонування об'єктів дослідження та оцінити розрив між порівнюваним об'єктом та об'єктом-еталоном. Використання методу багатокритерійного мажоритарного рейтингування дозволяє оцінити ефективність стану об'єкту дослідження на основі його переваг (недоліків) по кожному з вибраних показників енергоефективності, що дозволяє не лише визначити рейтинг об'єкту дослідження, а й виявити аспекти, які потребують удосконалення, в тому числі, для лідерів рейтингу.

Література

1. Шевцов А.І. Енергоефективність у регіональному вимірі. Проблеми та перспективи: Аналітична доповідь / А.І. Шевцов, В.О. Бараннік, М.Г. Земляний, Т.В. Рязова – Дніпропетровськ, 2014. – 78 с.
2. Benjamin Sontag. Energy-benchmarking within companies: insights from benchmarking practice / Benjamin Sontag, Simon Hirzel, Oliver Bender, Hans Kloos, Michael Laubach, Rolf Wallkötter, Clemens Rohde. // ECEEE – 2014. Industrial summer study – retool for competitive and sustainable industry. – 2014. – Pp. 637-646.
3. FprEN16231:2012 Energy Efficiency Benchmarking Methodology. - Brussels: CEN-CENELEC Management Centre - Ahril, 2012. - p. 24.
4. Розен В.П. Методологія бенчмаркінгу енергоефективності для промисловості України / В. П. Розен, Б. Л. Тишевич, П. В. Розен // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. - 2012. - №06 (100).– С. 9-19.
5. Давиденко Л.В. Використання методології бенчмаркінгу для визначення рівня ефективності енергоспоживання в комунальній теплоенергетиці / Л.В. Давиденко // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. - 2015. - № 4 (135).– С. 15-20.
6. Гасанов Г.Б. Рейтинговая оценка и регулирование деятельности распределительных электрических сетей в условиях нечеткости / Г.Б. Гасанов. – Львов: Издательство Национального университета «Львівська політехніка», 2006. – 140 с.

УДК 620.9:658.26

Давиденко Н.В., аспірант

Луцький національний технічний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ НЕРІВНОМІРНОСТІ ДОБОВИХ ГРАФІКІВ ВОДОПОДАЧІ В СИСТЕМІ КОМУНАЛЬНОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ

Стаття присвячена питанням удосконалення процедури аналізу добових графіків водоподачі шляхом комплексного їх опису за допомогою використання загальноприйнятих показників нерівномірності добових графіків та морфометричних параметрів

Ключові слова: *графік водоподачі, нерівномірність, морфометричні параметри.*

The article is devoted the issues of improvement the analysis procedure of daily water supply schedules through integrated their description by using an accepted indicators of unevenness the daily schedules and morphometric parameters.

Keywords: *water supply schedule, unevenness, morphometric parameters.*

Вступ. Забезпечення надійності та ефективності функціонування централізованих систем комунального водопостачання є головною вимогою, що висувається до міських інженерних систем, особливо в умовах переходу до ринкової економіки і реформи житлово-комунального господарства (ЖКГ). Питання підвищення енергоефективності систем комунального водопостачання (СКВ) на сьогодні є одним із пріоритетних напрямків розвитку науково-прикладних досліджень з енергоресурсозбереження в ЖКГ. Одним з критеріїв оптимізації діяльності підприємства є зменшення витрати електроенергії в процесі виробництва. Актуальним напрямком в реконструкції об'єктів підприємств комунального водопостачання є підвищення ефективності та економічності роботи міських систем водопостачання на основі розвитку інформаційних систем моніторингу та управління водопостачанням міст, які є важливою складовою частиною загальної системи енергоменеджменту водопостачальних підприємств і дозволяють вивести роботу підприємств на якісно новий технологічний рівень [1].

Аналіз стану питання. Найбільш важливими є завдання оперативного управління підсистемами водопостачання за фактом підтримки ефективних і оптимальних режимів, що дозволяють забезпечити економію електроенергії та води, а також задачі розпізнавання позаштатних і аварійних ситуацій. Важливим елементом управління водопостачанням є встановлення оптимальних експлуатаційних режимів по кожному об'єкту СКВ.

Витрату води з мережі визначають сумарними ступінчастими графікам. Такі графіки мають декілька багатогодинних рівнів (режимів), навколо яких відбувається коливання годинних витрат води. Один із способів отримання графіка характерних режимів полягає у сортуванні графіка витрат води з наступним його усередненням на кількох інтервалах [2]. Оптимальним значенням подачі води насосною станцією на заданому відрізьку є усереднене на цьому відрізьку значення витрати води. Коефіцієнти добової нерівномірності водоспоживання визначаються шляхом усереднення, виходячи з досвіду роботи різних міських водопроводів. Цей досвід узагальнюється і створюються нормативні коефіцієнти нерівномірності водоспоживання, які використовуються для побудови добових графіків водоподачі [3]. Проте, для систем міського водопостачання, де домінуючу роль відіграє господарсько-питне водоспоживання, поняття «нормальної» подачі встановити не просто.

В реальних умовах водоспоживання населених пунктів по сезонах і місяцях відхиляється від середнього. На характер водоспоживання впливає низка факторів - сезони, температура зовнішнього повітря, державні та релігійні свята тощо [3]. Споживання води населенням протягом року також нерівномірне. Це пов'язано зі зміною укладу життя населення; сезонним відключенням опалення, гарячого водопостачання, а також зміною температури зовнішнього повітря. Тому, актуальним завданням є розробка підходів та методів, які б дозволяли враховувати випадковий характер водоспоживання, виявити вплив на нерівномірність водоспоживання соціальних, кліматичних та сезонних чинників та на його основі здійснювати планування оптимальних режимів водоподачі та витрат електроенергії водопровідними станціями як складової системи моніторингу ефективності енергоспоживання в системі комунального водопостачання.

Метою статті є удосконалення процедури аналізу нерівномірності графіка водоподачі протягом доби з метою виявлення характерних особливостей добового водопостачання для

подальшого підвищення результативності моніторингу енергоефективності режимів роботи системи комунального водопостачання.

Методи, матеріали і результати дослідження. Оптимізація режимів роботи насосного та водопровідного обладнання неможлива без створення сучасної інформаційно-аналітичної системи моніторингу та управління процесами водопостачання міста. Впровадження системи моніторингу забезпечує можливість створення великих баз даних, що містять інформацію про об'єми добового водоспоживання, електроспоживання, режими роботи об'єктів системи комунального водопостачання, їх технічні та технологічні параметри, показники енергоефективності, а також використання методів інтелектуального аналізу даних для вивчення постійно зростаючих обсягів інформації та виявлення прихованих закономірностей, що визначають формування технологічних режимів СКВ та її об'єктів.

Один із можливих підходів до формування графіка водоподачі для багаторежимної оптимізації режиму роботи об'єктів СКВ є попереднє створення бази даних добової витрати води з мережі в межах системи моніторингу режимів системи водопостачання. На основі створеної бази даних можливе здійснення аналізу добового графіка водоподачі, тобто дослідження його основних параметрів для пошуку спільних рис.

Для опису добового графіка водоподачі слід враховувати параметри: середнє, максимальне (мінімальне) значення протягом доби, час, який відповідає максимальному (мінімальному) значенню; а також додаткові параметри: дисперсія та середньоквадратичне відхилення, коефіцієнт форми, коефіцієнт максимуму, коефіцієнт заповнення та коефіцієнт нерівномірності, які вважаються класичними показниками нерівномірності добових графіків.

Середнє значення добової водоподачі:

$$Q_c = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n q_i, \quad (1)$$

де n – кількість точок фіксації значень водоподачі; q_i – значення водоподачі в момент фіксації часу $i \in [1, n]$.

Дисперсія та середньоквадратичне відхилення (СКВ):

$$\sigma^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (q_i - Q_c)^2; \quad (2)$$

$$\sigma = \sqrt{\sigma^2}. \quad (3)$$

Коефіцієнт форми, коефіцієнт максимуму, коефіцієнт заповнення, коефіцієнт нерівномірності:

$$K_\phi = \frac{Q_{ck}}{Q_c}; \quad K_M = \frac{Q_{\max}}{Q_c}; \quad K_G = \frac{Q_c}{Q_{\max}}; \quad K_H = \frac{Q_{\min}}{Q_{\max}}, \quad (4)$$

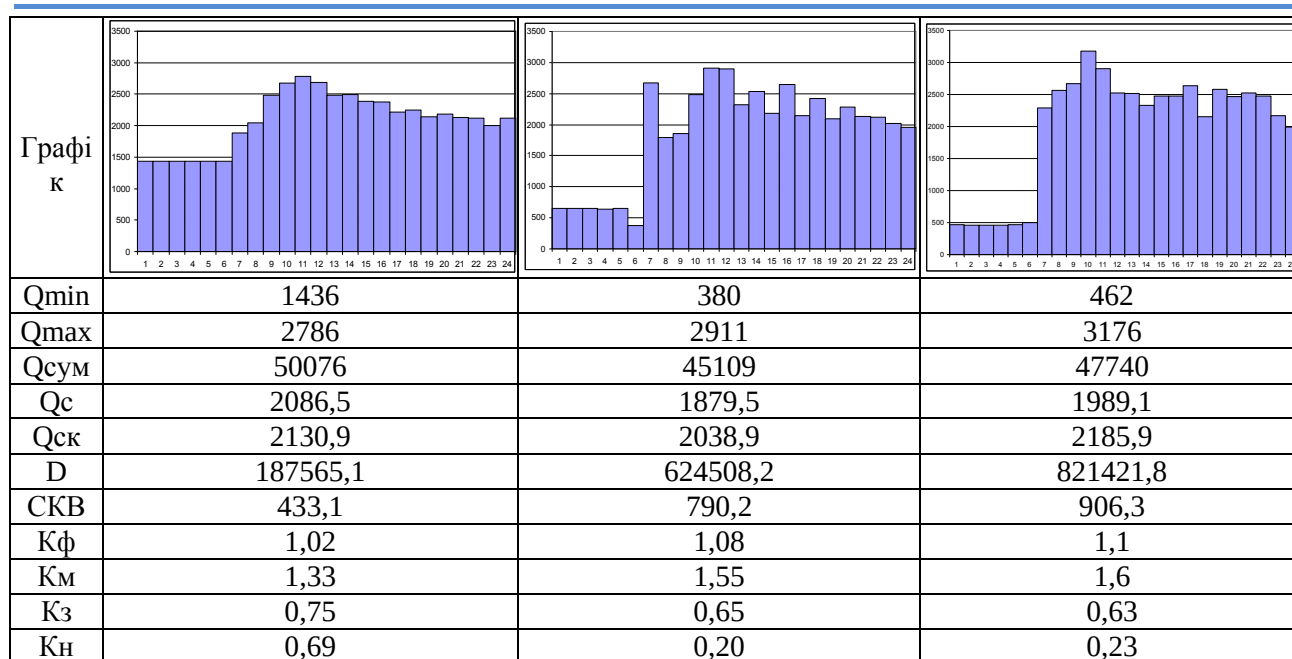
де $Q_{\max}$ – максимальне значення добової водоподачі; $Q_{\min}$ – мінімальне значення; Q_{ck} – середньоквадратичне значення:

$$Q_{ck} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n q_i^2}{n}}. \quad (5)$$

На основі даних КП «Луцькводоканал» про об'єми води, поданої в мережу, було проведено аналіз добових графіків водоподачі. Фрагмент результатів розрахунку показників графіка водоподачі наведено в таблиці 1.

Таблиця 1 – Параметри добового графіка витрат води з мережі

Дата	1 січня	2 січня	3 січня



Аналіз графіків добової витрати води дозволяє стверджувати, що добовий цикл містить чітко виражені періоди основної водоподачі (денний час доби) та періоди фонові водоподачі (нічний час), причому відмінність у формі графіків водоподачі проявляється, зазвичай, у денні години доби.

Природа добового графіка водоподачі дозволяє представити його у вигляді кругової часової діаграми – діаграми радарного типу (ДРТ). Фігура графіка утворює замкнений багатокутник - фігуру, обмежену замкнутою ламаною без самоперетинів, що задана своїми вершинами з координатами (x_i, y_i) в порядку обходу:

$$(x_i, y_i) = (q_i \cdot \sin \alpha_i, q_i \cdot \cos \alpha_i) \quad (6)$$

де α_i - кут, що відповідає i -й годині:

$$\alpha_i = \frac{2 \cdot \pi \cdot i}{n} \quad (7)$$

де n – кількість точок ДРТ.

Відстань від центру координат (x_0, y_0) до вершини багатокутника відповідає значенню об'єму води, поданої в мережу в даний момент часу.

Морфометрія є інструментом аналізу фігур різної форми. Використання морфометричного опису дозволяє отримати різнобічну детальну оцінку графіків водоподачі та його нерівномірності [4]. Виділяють дві групи морфометричних параметрів: базові (X, Y координати; периметр; площа; координати центра ваги; округлість; компактність; видовження; випуклість) та похідні (радіус вписаного та описаного кіл; довжина, ширина; головна вісь видовження; додаткова вісь видовження; периметр випуклості; площа випуклості; компактність випуклості; кут осей видовження).

Опишемо морфопараметри, використання яких є доцільним для аналізу нерівномірності графіка водоподачі [4].

Периметр ДРТ (Perimetr):

$$\dot{I} = \sqrt{(x_n - x_1)^2 + (y_n - y_1)^2} + \sum_{i=1}^{n-1} \sqrt{(x_{i+1} - x_i)^2 + (y_{i+1} - y_i)^2}. \quad (8)$$

де x_i, y_i - координати вершини багатокутника, що відповідає водоподачі в i -ту годину доби:

Площа ДРТ (Area):

$$S = \frac{1}{2} \left| \sum_{i=1}^{23} (x_i + x_{i+1})(y_i - y_{i+1}) \right|. \quad (9)$$

Координати центра ваги ДРТ (Weight Center):

$$\begin{cases} x_y = \frac{\sum_{i=2}^{24} \left(\frac{x_i - x_{i-1}}{2 \cdot (x_i \cdot y_{i-1} - x_{i-1} \cdot y_i)} \right)}{1,5 \cdot \sum_{i=1}^{24} (x_i \cdot y_{i-1} - x_{i-1} \cdot y_i)}; \\ y_y = \frac{\sum_{i=2}^{24} \left(\frac{y_i - y_{i-1}}{2 \cdot (x_i \cdot y_{i-1} - x_{i-1} \cdot y_i)} \right)}{1,5 \cdot \sum_{i=1}^{24} (x_i \cdot y_{i-1} - x_{i-1} \cdot y_i)}. \end{cases} \quad (10)$$

Зміщення центра ваги ДРТ x_y, y_y відносно центра координат x_0, y_0 :

$$d = \sqrt{(x_0 - x_y)^2 + (y_0 - y_y)^2}. \quad (11)$$

Округлість (Circularity):

$$M_1 = \frac{R_{\min}}{R_{\max}}, \quad (12)$$

де $R_{\min}$ – радіус вписаного кола ДРТ; $R_{\max}$ – радіус описаного кола ДРТ. Центри кіл співпадають з центром ваги ДРТ. Таким чином, $R_{\max}$ відповідає максимальному значенню добової водоподачі. Для спрощення розрахунків, вважатимемо, що $R_{\min}$ – відповідає мінімальному значенню добової водоподачі.

Компактність (стисненість, нерозрихленість) (Compactness):

$$M_2 = \frac{4 \cdot \pi \cdot S}{P^2}. \quad (13)$$

Видовження (Elongation):

$$M_3 = \frac{L_2}{L_1}. \quad (14)$$

де L_1 - довжина головної осі видовження діаграми - найдовшої осі, що проходить через центр ваги ДРТ; L_2 - довжина додаткової осі видовження діаграми - перпендикуляра до головної осі.

Випуклість (Convexity):

$$M_4 = \frac{S_g}{S}, \quad (15)$$

де S_g - площа випуклого корпусу, описаного навколо ДРТ.

Фрагмент результатів розрахунку морфометричних параметрів графіка водоподачі наведено в таблиці 2.

Таблиця 2 – Морфометричні параметри добового графіка витрат води з мережі

Дата	1 січня	2 січня	3 січня

ДРТ			
Периметр	786,19	888,21	789,5
Площа	40 673	32 625	32 132
Rmin	91,42	48,84	45,28
Rmax	137,48	153,38	138,13
Xc	114	112	91
Yc	111	107	113
Округлість	0,66	0,32	0,33
Компактність	0,83	0,52	0,65
Видовження	0,77	0,61	0,52
Головна вісь видовження	260,41	251,47	260,2
Додаткова вісь видовження	199,8	153,06	135,79
Кут видовження	127	131	145
Випуклість	0,97	0,77	0,85
Периметр випуклості	741,6	760,82	714,97
Площа випуклості	41 346	41 528,5	36 894,5
Компактність випуклості	0,94	0,9	0,91

Зміщення координат центра ваги x_c, y_c відносно центру координат x_0, y_0 зростає з ростом нерівномірності ДРТ, тобто є характеристикою, що реагує на будь-які піки чи провали графіка. Округлість характеризує добову нерівномірність через відношення між значеннями найбільшої та найменшої водоподачі протягом доби. Компактність дозволяє врахувати проміжні значення графіка, здійснюючи їх лінійну апроксимацію, та детально охарактеризувати загальну добову нерівномірність як відношення всіх піків та провалів ДРТ – більш стрімкі перепади значень зумовлюють ріст величини профілю графіка. Видовження дозволяє оцінити співвідношення між об'ємами водоподачі у нічний період та пікового водоспоживання. Випуклість є інтегральною характеристикою, що враховує множину максимальних значень графіка визначену випуклою фігурою та зумовлену нерівномірністю водоподачі. Значення випуклості відображає характеристику нерівномірності, що має певну аналогію з коефіцієнтом максимуму та коефіцієнт заповнення графіка, але охоплює множину максимумів графіка водоподачі, тому більш точно описує характер нерівномірності. Морфопараметри округлість, компактність, видовження та випуклість використовують для аналізу нерівномірності графіка [4]. Якщо вони прямують до нуля, то нерівномірність добового графіка є значною. З наближенням їх значень до одиниці графік є рівномірним.

На основі проведеного аналізу добових графіків витрати води з мережі слідус: у вихідні дні має місце більш рівномірна витрата води, ніж у робочі. Вагомий вплив на характер графіка має соціальний чинник, зокрема, великі релігійні свята (Різдвяні свята, Паска, Трійця), а також Новий рік. Протягом цих днів графік водоподачі має найменш нерівномірний характер у порівнянні з іншими днями.

Організація системи моніторингу енергоспоживання на постійній основі сприятиме накопиченню бази даних про погодинну витрату води протягом доби, що дозволить виконати уточнення показників добових графіків водопостачання та визначення меж зміни коефіцієнтів нерівномірності. Накопичення даної інформації забезпечить можливість побудови типових графіків водопостачання для характерних днів та планування режимів ефективного енергоспоживання.

Висновки. Створення сучасної інформаційно-аналітичної системи моніторингу та управління процесами водопостачання є важливим елементом побудови енергоефективних режимів роботи об'єктів водопостачання для підвищення рівня енергоефективності всієї СКВ. Впровадження системи моніторингу забезпечує можливість створення великих баз даних, що містять інформацію про об'єми добової витрати води з мережі, та здійснення аналізу добових графіків водопостачання для виявлення характерних особливостей водопостачання в різні періоди. Комплексний опис добових графіків водопостачання за допомогою класичних коефіцієнтів нерівномірності та морфометричних параметрів сприяє детальному дослідженню форми графіка, що створює передумови для виявлення спільних рис у водопостачанні залежно від сезону, місяця, типу дня тижня.

Література

1. Романчук С.М. Мониторинг и анализ данных в процессе управления водоснабжением города Донецка [Текст] / С.М. Романчук // Системный анализ у науках про природу та суспільство. - 2011. - Вип. 1. - С. 133-143.
2. Карамбиров С.Н. Многорежимная оптимизация систем подачи и распределения воды [Електронний ресурс] / С.Н. Карамбиров // Проблемы научного обеспечения развития эколого-экономического потенциала России (сборник научных трудов Всероссийской научно-технической конференции 15-19 марта 2004 г.). – Москва, 2004. - С.70-73. - Режим доступу: <http://ieek.timacad.ru/science/ht/10/2004/sb-04.htm>
3. Шушкевич Е. В. Эффективное управление системой подачи и распределения воды Московского мегаполиса [Текст] / Е.В. Шушкевич // Водоснабжение и санитарная техника. - 2011. - № 1. – С. 24-30.
4. Коменда Т.І. Морфометричні методи і моделі оцінки та зменшення нерівномірності навантажень систем електропостачання: монографія [Текст] / Т.І. Коменда, Н.В. Коменда. – Луцьк, Луцький НТУ, 2012. – 112 с.

УДК 620.98

д.т.н, проф. Дешко В.І
аспір. Буяк Н.А.

ЕКСЕРГЕТИЧНА МОДЕЛЬ ТЕПЛООВОГО КОМФОРТУ ЛЮДИНИ В ЗИМОВИЙ ПЕРІОД

Представлена ексергетична модель теплового комфорту та структура ексергетичного балансу людини у зимовий період. Розроблено програму, що дозволяє аналізувати структуру ексергетичного балансу та визначати мінімум споживання ексергії людиною. Проаналізовані різні моделі теплового комфорту, оцінено їх недоліки та переваги. Визначено мінімальне споживання ексергії людським тілом (деструкцію ексергії) взимку, тепловідчуття людини при цьому змінюються - 0,34 – -0,42.

Ключові слова: ексергія, мінімум споживання ексергії, тепловий комфорт, енергоефективна будівля.

ЕКСЕРГЕТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТЕПЛООВОГО КОМФОРТА ЧЕЛОВЕКА В ЗИМНИЙ ПЕРИОД

Представлена ексергетическая модель теплового комфорта и структура эксергетического баланса человека в зимний период. Разработана программа, позволяющая

анализировать структуру эксергетического баланса и определять минимум потребления эксергии человеком. Проанализированы различные модели теплового комфорта, оценены их недостатки и преимущества. Определено минимальное потребление эксергии человеческим телом (деструкцию эксергии) зимой, теплоощущения человека при этом меняются - 0,34 – - 0,42

Ключевые слова: эксергия, минимум потребления эксергии, тепловой комфорт, энергоэффективное здание

HUMAN BODY EXERGY MODEL IN WINTER

Presented exergic model of thermal comfort and structure of human body exergy balance in winter. It was constructed a program that allows to analyze the structure of exergic balance and to determine minimum exergy consumption of human body. Various models of thermal comfort were analyzed and evaluated their advantages and disadvantages. The minimum exergy consumption of the human body (exergy destruction) in winter should occur under human thermal sensation change - 0.34 – -0.42

Keywords: exergy, minimum exergy consumption, thermal comfort, energy efficient building.

Вступ. Ефективне використання теплової енергії житловими будівлями – одне із найактуальніших питань сьогодення. Забезпечення умов теплового комфорту у приміщенні є не менш важливим в умовах зростання вимог щодо збереження енергії. Досягнення компромісу між цими двома вимогами без шкоди здоров'ю людини – основний виклик до фахівців з енергозбереження.

Аналіз стану питання

Існує величезне різноманіття термопсихологічних моделей людини, їх розробка та розвиток розпочалися ще з 1970 року. Найбільш відомими є дві моделі, що передбачають тепловідчуття людини [1], [2]. Модель Gagge А. Р. – це двох вузлова модель людини, що передбачає тепловідчуття за перехідних умов зовнішнього середовища. Ця модель лежить в основі ексергетичної моделі. Ґрунтуючись на емпіричній моделі Фангера, розроблено сучасний стандарт, щодо визначення показників теплового комфорту [3]. Основна модель оцінки тепловідчуттів людини, розроблена [2] і втілена у європейських стандартах [3], дозволяє врахувати інтенсивність трудової діяльності людини, тип одягу, відносну вологість повітря. Співвідношення між середньою радіаційною температурою і температурою повітря у кімнаті, що відповідають комфортним умовам у холодний період року, мають простіший характер і залежать від інтенсивності діяльності людини у наступних авторів [4]. Саме така модель використовувалася авторами при визначенні впливу врахування комфортних умов в будівлі на показники опалення [5], а також при виборі теплового захисту будівлі та джерела тепла [6]

Ексергетична модель людини вивчалася у наступних роботах [7 – 11]. В основі ексергетичної моделі лежить модель Гага [1]. Така модель враховує втрати тепла за рахунок дихання, випаровування вологи, а також втрати за рахунок конвекції та випромінювання. Енергетична модель враховує терморегуляцію людського тіла за рахунок зміни швидкості руху крові, що обумовлено розширенням та звуженням кровоносних судин

Мета роботи

- 1) аналіз різних моделей теплового комфорту;
- 2) розробка практичних рекомендацій щодо розрахунку складових ексергетичного балансу, та мінімуму споживання ексергії;
- 3) визначення мінімуму споживання ексергії та температури повітря в кімнаті що йому відповідає
- 4) порівняння різних моделей теплового комфорту, оцінка доцільності використання кожної.

Методики, матеріали і результати досліджень

Ексергетичний баланс для людського тіла [7]:

$$Ex_m + Ex_{gen,cr} + Ex_{gen,sk} + Ex_{inh,air} + Ex_{abs,sk-cl} = Ex_{rad,dc} + Ex_{conv} + Ex_{exh,air} + Ex_{sw,ha} + Ex_{stored,cr} + Ex_{stored,sk} + Ex_{cons} \quad (1)$$

де Ex_m – ексергія тепла, що обумовлена обміном речовин; $Ex_{gen,cr}$ – ексергія рідини, що генерується в ядрі за рахунок метаболізму; $Ex_{gen,sk}$ – ексергія рідини, що генерується в оболонці за рахунок метаболізму; $Ex_{inh,air}$ – ексергія вологого повітря, що вдихає людина; $Ex_{abs,sk-cl}$ – ексергія випромінювання, що поглинається шкірою та одягом людини; $Ex_{rad,dc}$ – ексергія випромінювання від поверхні тіла; Ex_{conv} – ексергія, що передається конвекцією повітрю; $Ex_{exh,air}$ – ексергія вологого повітря, що видихає людина; $Ex_{sw,ha}$ – ексергія водяної пари, що появляється за рахунок секрету шкіри; $Ex_{stored,cr}$ – ексергія, що накопичується в ядрі; $Ex_{stored,sk}$ – ексергія, що накопичується в оболонці; Ex_{cons} – ексергія, що споживається людським тілом.

Умови теплового комфорту, що визначаються на основі ексергетичних балансів для людського тіла та розрахунок споживання ексергії людським тілом та індексу PMV закордонними вченими розраховуються на основі програмного забезпечення розробленого Hideo Asada [13, 14]. Оскільки в Україні дане програмне забезпечення є не доступним, а створення відповідного мікроклімату в будівлі, що відповідав би мінімальному споживанню ексергії людським тілом є важливим і необхідним, тому нами створена програма у середовищі Mathcad на основі математичної моделі представленої у наступних працях [1, 7, 9, 10].

На рис. 1 зображений баланс ексергії людського тіла для зимового періоду. Інші параметри моделі дослідження представлені у Табл.1. Структура вихідних потоків ексергії змінюється при зміні умов оточуючого середовища та параметрів мікроклімату у кімнаті. Якщо для літніх умов основна частка вихідного потоку ексергії припадає на споживання людським тілом, то для зимових умов – на ексергію випромінювання – 53 %, а на споживання ексергії людським тілом – лише 16 %. Це пояснюється більшою різницею температур поверхні шкіри та оточуючого середовища, зростання абсолютної величини конвективного та радіаційного теплообміну у балансі обумовлює зменшення частки споживання ексергії людським тілом. У літній період конвективний та радіаційний теплообмін з поверхні людського тіла є незначним у порівнянні з іншими складовим, що пов'язано із малою різницею температур поверхні шкіри та оточуючого середовища. У зв'язку з цим частка споживання ексергії людським тілом у загальному балансі зростає в порівнянні із зимовими умовами. Споживання ексергії людським тілом відображає незворотності перетворення тепла у людській системі ядро – оболонка і показує руйнування ексергії, саме тому і мінімум споживання ексергії цікавить науковців, оскільки відповідає найкращому функціонуванню теплової системи людини.

Табл. 1. Параметри системи дослідження

Параметр	Значення
Оточуючого середовища	
Температура повітря оточуючого середовища T_o, K	273
Відносна вологість оточуючого середовища, $\varphi_o, \%$	40
Відносна вологість повітря в кімнаті, $\varphi_v, \%$	40
Атмосферний тиск, Па	101325
Людини	
Теплоізоляція одягу, $\frac{m^2 \cdot ^\circ C}{Wt}$	0,155

Метаболізм $\frac{Bm}{m^2}$	58
Механічна робота $\frac{Bm}{m^2}$	0

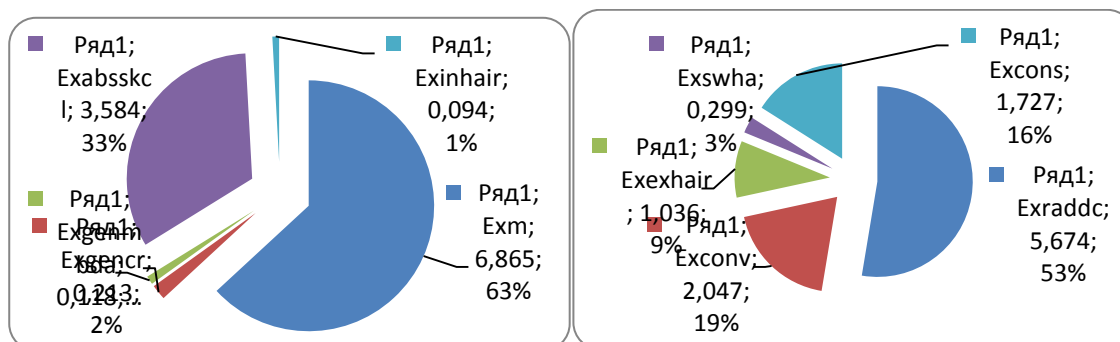


Рис.1. Частка вихідних та вхідних потоків ексергії у холодний період року.

На рис. 2 представлена залежність споживання ексергії від середньої радіаційної температури та температури повітря у кімнаті для параметрів системи, що представлені у Табл. 1. На графіку 2 для точок, що відповідають мінімуму споживання ексергії оцінено показник PMV та PPD. PMV – це прогнозована середня оцінка тепловідчуттів людини, а PPD – прогнозований процент незадоволених даним середовищем, основні показники тепловідчуттів людини відповідно до міжнародного стандарту [3]. Значення PMV знаходиться в межах - 0,34 – -0,42. У інших роботах [12] мінімум споживання ексергії відповідає значенню $PMV = -0,611$ (однак у цих працях температура оточуючого середовища приймалася рівною температурі повітря у кімнаті). Отже мінімум споживання ексергії відповідає тепловим відчуттям людини дещо прохолодно. Проектування джерел теплопостачання для створення мікроклімату у будівлях, що відповідатимуть мінімальному споживанню ексергії дозволить створити будівлі із високою якістю мікроклімату, що забезпечить найкращі умови для тривалого перебування людини.

Споживання ексергії людським тілом змінюється залежно від параметрів мікроклімату у кімнаті, від параметрів людини. На рис. 2 представлено зміну споживання ексергії людським тілом залежно від температури повітря у кімнаті, різні криві відповідають різним значенням середньої радіаційної температури приміщення, інші параметри – незмінні. При низькій t_a споживання ексергії зростає за рахунок тремтіння людського тіла, при зростанні температури в кімнаті E_{cons} досягає свого мінімуму, і зростає за рахунок охолодження поверхні шкіри, шляхом випаровування вологи.

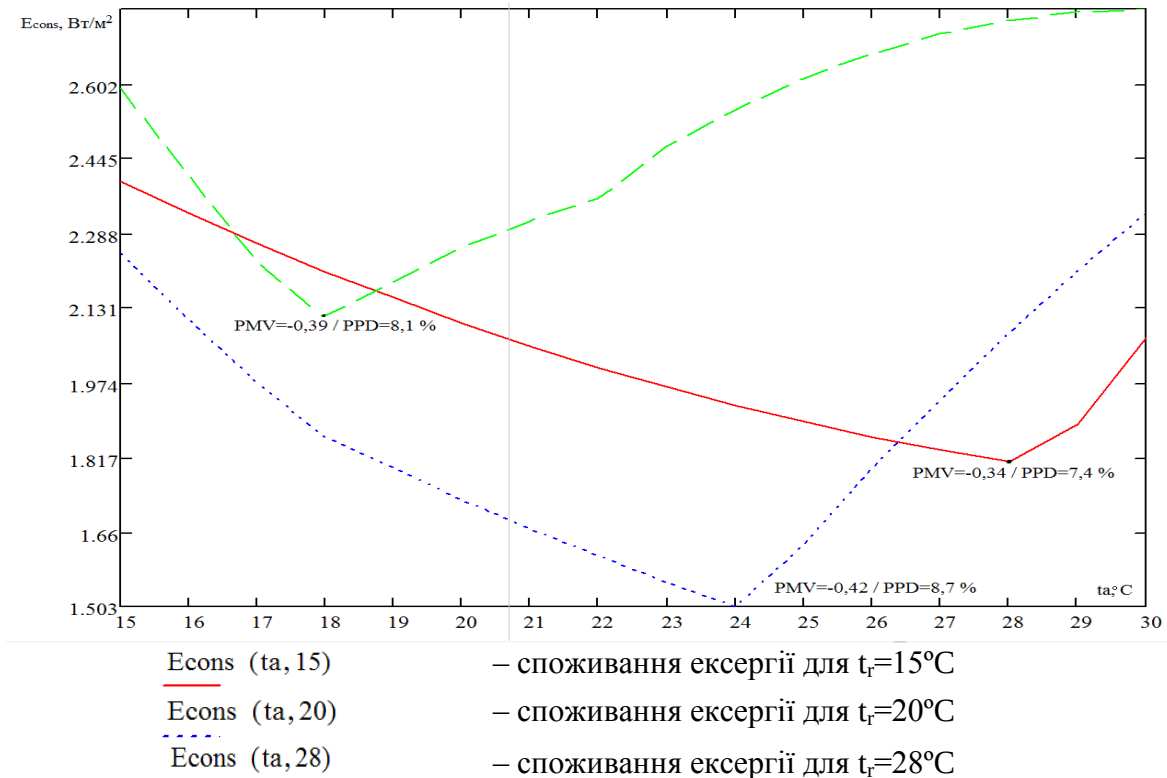


Рис.2. Графік залежності споживання ексергії людським тілом від температури повітря у кімнаті при різних радіаційній температурі

Залежності $t_a(t_r)$ для різних моделей теплового комфорту представлені на рис.3. Такі залежності дозволять порівняти наступні моделі: 1) модель Богословського; 2) Модель Фангера при різних значеннях PMV, що відповідають різним категоріям будівель; 3) модель мінімуму споживання ексергії НВexС. Найширшого застосування набула модель Фангера, на її основі провели класифікацію будівель за рівнем забезпечення комфорту на 4-и категорії, вона дозволяє врахувати інтенсивність діяльності людини, тип одягу, швидкість руху повітря, відносну вологість, температуру повітря у кімнаті та середню радіаційну температуру. Модель Богословського встановлює залежність між t_a та t_r для зимового періоду, що залежить від інтенсивності діяльності людини. Ексергетичний підхід полягає визначенні мінімуму споживання ексергії людським тілом і побудований на енергетичній моделі, тобто дозволяє врахувати фактори, що залежать від оточуючого середовища та від людини. Крім того, така модель визначає мінімум деструкції ексергії у двох вузловій системі людина та умови за яких цей мінімум настає. З наукової точки зору показник мінімуму споживання ексергії є більш прийнятним, ніж показник прогнозованої середньої оцінки. Дослідження показали, що мінімум споживання ексергії, при температурі оточуючого середовища $= 0^\circ\text{C}$, яка відповідає зимовим умовам (інші вчені проводили дослідження виходячи із припущення, що температура повітря у кімнаті дорівнює температурі зовнішнього середовища) відповідає значенню $PMV = -0,34$ до $-0,42$ (це відчуття легкої прохолоди), для умов: $t_z=t_a=20^\circ\text{C}$, для мінімуму споживання ексергії – $PMV=-0,611$. Умови дослідження для порівняння різних моделей комфорту відповідають параметрам, наведеним у табл.1. Модель Богословського – найпростіша і представлена відповідним діапазоном, її рекомендовано використовувати, якщо використовуються системи опалення, що значним чином підвищують радіаційну температуру приміщення. Із рис. 9 можна зробити висновки,

що при середній радіаційній температурі приміщення = 27°C , верхня межа діапазону комфортної температури відповідає PMV, близькому до нейтральних умов, а нижня межа PMV = -1 (тепловідчуття «холодно»). Якщо середню радіаційну температуру прийняти = 18°C , то верхня межа комфортної температури відповідає PMV = 1, а нижня – близька до комфортних умов. Отже при середній високій середній радіаційній температурі у моделі Богословського доцільно обирати, найвище значення із температурного діапазону, а при низькій – найнижче. Однак при сучасних досягненнях комп'ютерної техніки слід при проектуванні та дослідженні складної системи джерело тепла – людина – огорожувальні конструкції використовувати модель Фангера. Відмінність між ексергетичним аналізом та моделлю Фангера полягає у тому, що прогнозована середня оцінка тепловідчуттів людини визначається на основі емпіричної моделі, а в основах визначення мінімуму споживання ексергії лежить підхід, що ґрунтується на другому законі термодинаміки і полягає у мінімізації деструкцій ексергії. Визначення PMV для ексергетичної моделі показує відчуття легко прохолоди. Відмінність між температурою внутрішнього повітря, яку потрібно забезпечувати для забезпечення комфортних умов при ексергетичному підході та при PMV = 0 лежить у діапазоні $0,8 - 1,4^{\circ}\text{C}$ при різних значення t_r . Отже забезпечення комфортних умов відповідно до ексергетичного підходу дозволяє знизити температуру повітря у кімнаті, а отже і зекономити споживання енергоресурсів.

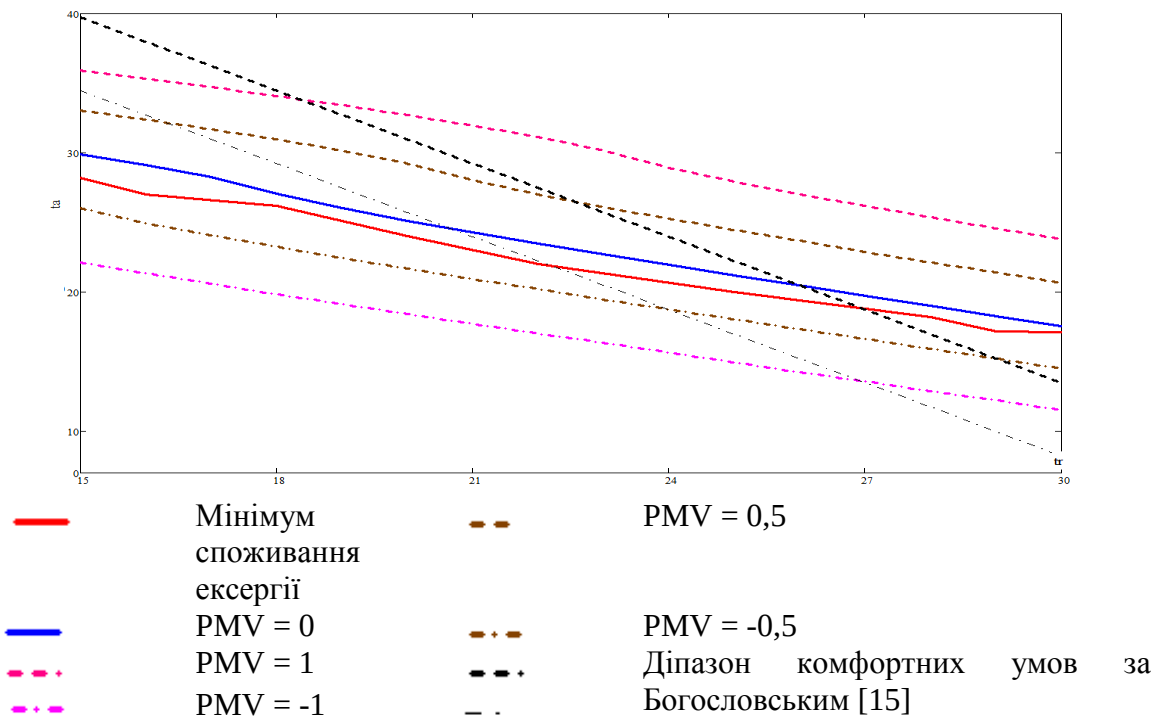


Рис. 3. Залежність середньої радіаційної температури повітря від температури повітря у кімнаті для різних значень PMV.

Висновки

1) сучасні наукові підходи дозволяють представити величезне різноманіття моделей теплового комфорту. В основі таких моделей лежить поділ людини на n -у кількість циліндрів та складання енергетичних та ексергетичних балансів для кожного. Найпоширенішою та науково обґрунтованою є модель Фангера, отримана на основі величезної кількості експериментів дозволяє визначати тепловідчуття людини і дозволяє

врахувати параметри оточуючого середовища, та параметри, що залежать від типу одягу та активності людини. Таку модель слід використовувати при проектуванні будівель з низьким споживанням енергії.

2) Широкого розвитку в останні роки набув ексергетичний підхід до системи джерело тепла та огорожувальні конструкції будівлі. Крім того розроблена ексергетична модель теплового комфорту. Програмне забезпечення розроблене для ексергетичного аналізу людини – не доступне в Україні, тому ґрунтуючись на рівняннях енергетичного та ексергетичного балансу, розроблено модель, що визначає мінімальне споживання ексергії людським тілом, значення температури повітря у кімнаті та середньої радіаційної температури, що йому відповідає, яка дозволить проектувати системи опалення, щоб забезпечити відповідні умови перебування людини.

3) Оскільки людина – це відкрита і неідеальна система, то вхідний потік ексергії буде вищим від вихідного на величину Ex_{cons} , яка обумовлена незворотностями і відображає деструкцію ексергії. Ціллю ексергетичного аналізу людського тіла є визначення і мінімізація споживання ексергії людським тілом, чи мінімізація деструкції ексергії у відкритій термодинамічній двох вузловій системі «людина». Споживання (деструкція) ексергії у двох вузловій системі «людина», зростає, якщо людині холодно за рахунок тремтіння, а також, якщо «жарко» за рахунок генерування вологи. Застосування ексергетичного підходу для створення комфортних умов у будівлі є науково обґрунтованим на основі другого закону термодинаміки. Модель на якій побудований стандарт EN ISO 7730:2011 ґрунтується на першому законі термодинаміки, а тепловідчуття людини визначаються на основі прогнозованої середньої оцінки, на базі такого підходу розроблено категорії будівель щодо забезпечення теплового комфорту. У такому ж напрямку слід розвивати ексергетичну концепцію комфорту людини.

Література.

1. Gagge A. P. A standart predictive index of human response to the thermal enviroment / A. P. Gagge, A. P. Fobelets, L. G. Berglund. // ASRAE Transactions 77(1). – 1971. – С. 247–262.
2. Fanger P. O. Assessment of man's thermal comfort in practice // British Journal of Industrial Medicine. – 1973. – №30. – С. 313–324
3. Ергономіка теплового середовища. Аналітичне визначення та інтерпретація теплового комфорту на основі розрахунків показників PMV і PPD і критеріїв локального теплового комфорту (EN ISO 7730:2011, IDT): ДСТУ Б EN ISO 7730: 2011. – [чинний від 01.07.2013]. – К.: - Мінрегіон України, 2012. – 64 с. (Національний стандарт України)
4. Богословский В.Н., Сканава А.Н. Отопление: Учеб. Для вузов. – М.: Стройиздат, 1991. – 735 с.
5. Дешко В. І. Показники опалення будівель і температурні умови комфортності / В. І. Дешко, Н. А. Буяк. // Промышленная теплотехника. – 2010. – №1. – С. 66–70.
6. Дешко В.І. Вибір теплового захисту та джерела тепла із врахуванням комфортних умов у будівлі / В.І. Дешко, Н.А. Буяк, І.Ю. Білоус // Журнал "Вісник КНТУТД". Випуск №5(90) Київ 2015. С 71-80.
7. Tokunaga K. Human-body exergy balance calculation under un-steady state conditions / K. Tokunaga, M. Shukuya. // Building and Environment. – 2011. –V.46. – P. 2220–2229.
8. Caliskan H. Energetic and exergetic comparation of the human body for summer season / Hakan Caliskan. // Energy conversion and management. – 2013. – №76. – С. 169–176.
9. Prek M. Thermodynamic analysis of human heat and mass transfer and their impact on thermal comfort / Matjaz Prek. // International journal of heat and mass transfer. – 2005. –V.48. – P. 731–739.

10. Dovjak M. Connective thinking of building envelope - Human body exergy analysis / M. Dovjak, M. Shukuya, A. Krainer. // International Journal of Heat and Mass transfer. – 2015. –V. 90. –P. 1015–1025.

11. Schmidt D. Low Exergy Systems for Heating and Cooling of Buildings [Електронний ресурс] / D. Schmidt, M. Ala-Juusela // Conference on Passive and Low Energy Architecture. Eindhoven, The Netherlands, 19 - 22 September 2004. – 2004. – Режим доступу до ресурсу: <http://www2.ibp.fraunhofer.de/japan/literatur/p595final.pdf>.

12. A relation between calculated human body exergy consumption rate and subjectively assessed thermal sensation / [A. Simone, J. Kolarik, T. Iwamatsu та ін.]. // Energy and Buildings. – 2011. – №43. – С. 1–9.

УДК 624.195

Науковий керівник Гайко Г.І., д.т.н. проф., НТУУ «КПІ»
Сіверін М.М., магістр, НТУУ «КПІ»

НОВИЙ СПОСІБ ВЕНТИЛЯЦІЇ АВТОМОБІЛЬНИХ ТУНЕЛІВ ЯК СКЛАДОВА ВИРІШЕННЯ ЕКОЛОГІЧНИХ ПРОБЛЕМ ВЕЛИКИХ МІСТ

Розглянуті транспортні й екологічні проблеми мегаполісів, пов'язані із зростанням кількості автомобілів. Запропонована концепція переведення основних транспортних магістралей міста в підземний простір. Наведено новий спосіб очищення й нейтралізації шкідливих компонентів відпрацьованого повітря автомобільних тунелів шляхом хімічного каталізу перетворення CO в CO₂.

Рассмотрены транспортные и экологические проблемы мегаполисов, связанные с ростом количества автомобилей. Предложенная концепция перевода основных транспортных магистралей города в подземное пространство. Приведен новый способ очистки и нейтрализации вредных компонентов отработанного воздуха автомобильных туннелей путем химического катализа преобразования CO в CO₂.

Considered transport and environmental problems of cities related to the increasing number of cars. The proposed concept of transfer of the main thoroughfares in the city underground space. An new way to clean and neutralize the harmful components of exhaust air automobile tunnels by chemical catalytic conversion of CO to CO₂.

Ключові слова: підземна урбаністика, автомобільні тунелі, спосіб вентиляції, монооксид вуглецю, вентиляційний стовбур, каталітична камера.

Вступ. На початку XXI ст. в містах мешкає більше половини населення планети, а в країнах Європейського Союзу, куди спрямовує свій шлях Україна, цей показник сягає понад 70%. Однією з основних проблем великих міст є постійне зростання населення й кількості автомобілів, причому в більшості випадків швидкість такого зростання перебільшує можливості розвитку сучасних міст.

Сучасний стан і розвиток міського автомобільного транспорту свідчить про гострі проблеми невідповідності організації міського простору сучасним транспортним потокам. Численні затори й «корки» в середмісті (особливо в «часи пік») призвели до

середньої швидкості автомобільного руху в мегаполісах близько 15 км на годину з постійним зростанням аварійності руху. Ще більшою проблемою є забруднення повітряного простору міст шкідливими вихлопними газами, зокрема продуктами окиснення й неповного згоряння вуглеводневого палива: монооксиду вуглецю, оксиду азоту, канцерогенних вуглеводнів та ін., причому найбільші викиди припадають на СО. Концентрація шкідливих речовин у повітрі магістральних транспортних артерій міста є не менш загрозливою, ніж концентрація шкідливих речовин в осередках потужних хімічних та металургійних виробництв. За даними екологічних організацій у загальній кількості забруднюючих речовин у повітрі мегаполісів вихлопи автомобілів сягають в середньому близько 70%, внесок об'єктів теплоенергетики – 24%, викиди промислових підприємств – 6%.

Значні резерви вирішення міських проблем знаходяться в площині розвитку підземної урбаністики, тобто розміщення в підземному просторі міста численних підземних споруд, зокрема транспортного призначення. Розвиток підземної урбаністики передбачає використання можливостей системи автомобільних тунелів регулювати транспортні потоки мегаполісів та мінімізувати шкідливі викиди в повітряну атмосферу міст [1, 2].

Аналіз стану питання. Вже перші тунелі дозволили звернути увагу на можливість відсмоктувальної вентиляції управляти потоком повітря тунелів і викидати його в зручному місці. Вентиляція сучасного автомобільного тунелю достатньо ефективно дозволяє відсмоктувати весь обсяг відпрацьованого повітря разом з вихлопними газами транспортного потоку, а його переробка та очищення відкривають нові можливості в управлінні екологічною ситуацією в великому місті.

Відомі способи очищення повітря автомобільного тунелю від пилу, в яких у вентиляційних виробках з вихідним струменем повітря встановлюють касетні фільтри [3]. Недоліком цих способів є обмежена можливість таких фільтрів очищати вихідне повітря, зокрема вони не впливають на вміст монооксиду вуглецю, який є найбільш небезпечним забруднювачем атмосфери міст.

Відомий спосіб, в якому відпрацьоване повітря автомобільних тунелів стискають у повітряних компресорах та, додаючи природний газ, доокислюють (спалюють) у котлах-утилізаторах, отримуючи додаткову енергію, а продукти згоряння скидають димовими трубами в атмосферу [4]. Недоліком є те, що енергетичне використання монооксиду вуглецю в цій технології потребує будівництва складних і вельми коштовних теплових агрегатів та великих обсягів накопичення СО, які можуть забезпечити лише тунелі дуже великої протяжності. Коефіцієнт корисної дії даної технології відносно низький.

Знайшов застосування спосіб очищення повітря з використанням газоконвертору «Ятаган», який складається з блоку попереднього очищення, газорозрядного та каталітичного блоків, причому принцип роботи конвертора заснований на спільній дії об'ємного бар'єрного розряду та каталітичного впливу на молекули газоподібних забруднень озонового середовища [5]. Недоліками способу є великі габарити газоконвертору, значна вага і вартість обладнання, а також великі витрати електроенергії для генерування бар'єрних розрядів. Крім того застосовані каталітичні механізми діють лише в особливих умовах озонового середовища високої концентрації.

Метою статті є обґрунтування нового способу очищення й нейтралізації шкідливих компонентів відпрацьованого повітря автомобільних тунелів шляхом хімічного каталізу перетворення монооксиду вуглецю в типових умовах вентиляції,

який представляється найбільш економічним і простим для застосування в широкому діапазоні інженерних умов.

Виклад основного матеріалу. Нами розроблений спосіб вентиляції автомобільного тунелю, що включає подачу свіжого повітря через портали тунелю і відведення відпрацьованого повітря всмоктуючим вентилятором через вентиляційний стовбур, що оснащується системою касетного очищення повітря, який відрізняється тим, що устя стовбуру облаштовується каталітичною камерою, заповненою перекриваючими стовбур перфорованими касетами, у яких шари вологопоглинувача чергуються із шарами каталізатора окиснення монооксиду вуглецю (CO) у діоксид вуглецю (CO₂), а під каталітичною камерою у стовбурі розміщують конденсаційний осушувач повітря. Крім того, каталітична камера оснащується аналізаторами вмісту газів і у випадку виявлення отруєння каталізатора в касетах, їх замінюють активніючими речовинами.

На рис. 1 наведена схема реалізації способу. Повітря всмоктується через портали автомобільного тунелю 1 і під дією всмоктуючого вентилятора 2 подається до вентиляційного стовбуру 3, несучи з собою вихлопні гази. У вентиляційному стовбурі повітряно-газова суміш проходить повз пластини конденсаційного осушувача 4, який включає випарник, де повітря охолоджується до температури точки роси, що призводить до випадіння конденсату, та конденсатор, де повітря нагрівається. Водний конденсат потрапляє до дренажної системи 5 з якої йде до водовідливного лотка тунелю. Осушене й розігріте повітря потрапляє до каталітичної камери 6, де, проходячи

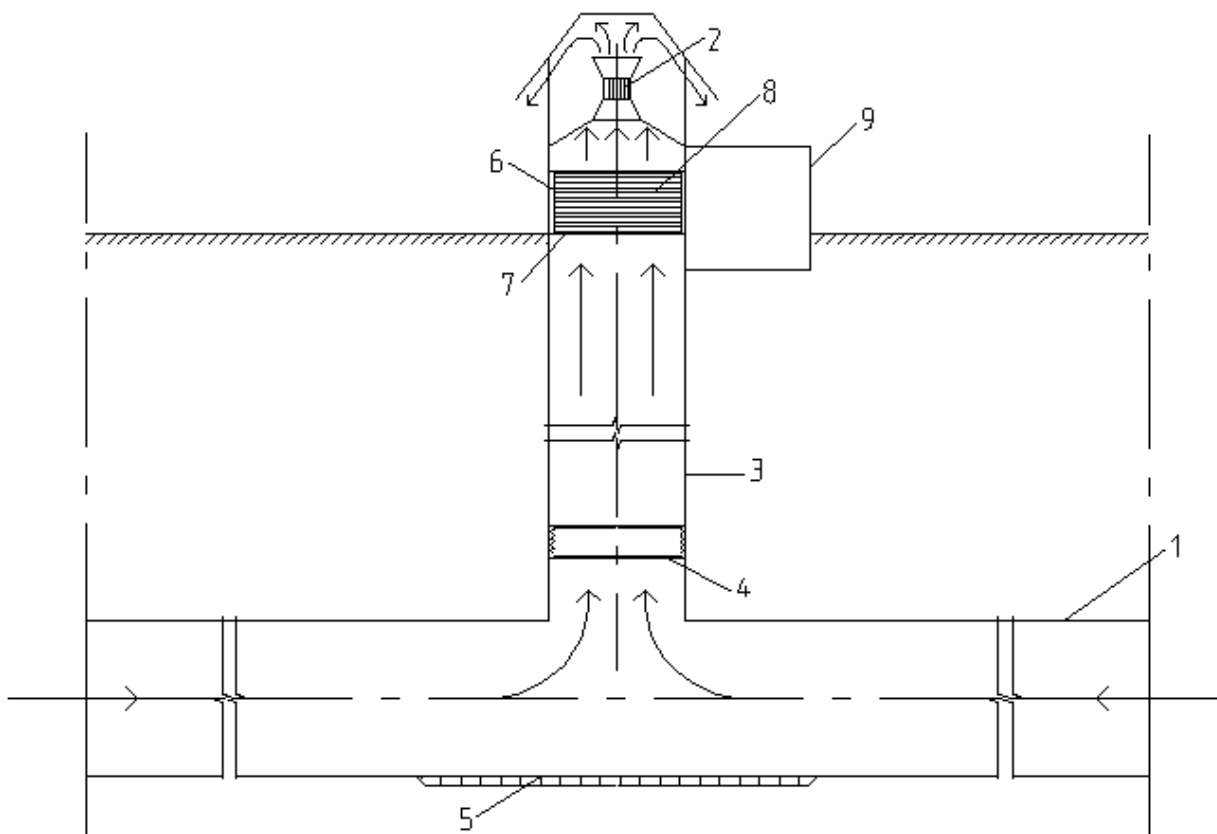


Рисунок 1 – Схема вентиляції тунелю згідно з винаходом

через нижні касети з адсорбційним вологопоглиначем 7 (наприклад вугільним або силікагелевим фільтром тощо) втрачає залишки вологи й поступає до касет з шарами каталізатора окиснення 8. Означеним каталізатором може слугувати гопкаліт (зерниста суміш активних оксидів марганцю та міді), на якому монооксид вуглецю (CO) окислюється киснем повітря у діоксид вуглецю (CO₂) з виділенням тепла. Зазначений каталізатор активний при плюсових температурах (ефективна дія починається при температурі більше 7⁰C) і відсутності водяної пари. Для забезпечення цих умов застосовується система конденсаційного осушення й підігріву повітря у стовбурі виробки та касети з адсорбційним вологопоглиначем у каталітичній камері. У разі виявлення газоаналізаторами появи CO після очистки газоповітряної суміші, касети з каталізатором і вологопоглиначем у каталітичній камері 6 замінюють на активні, для чого використовують камеру монтажу касет 9. У порівнянні з електророзрядним та спалювальним способами [3], розроблений спосіб хімічної каталізації вихідного повітря автомобільних тунелів може отримати широке впровадження завдяки своїй економічності й зручності облаштування вентиляційних стовбурів (свердловин) невеликого діаметру.

Висновок

Вирішення екологічних проблем великих міст може бути досягнуте шляхом переведення автомобільних потоків у підземний простір з очищенням та обробкою вихідного повітря тунелів до екологічно прийняттого стану. Розроблений авторами спосіб вентиляції тунелів дозволяє доокиснювати шкідливе CO до менш небезпечного CO₂ шляхом хімічної каталізації відпрацьованого повітря в обмеженому просторі вентиляційних стовбурів або свердловин.

Література

1. Гайко Г.І. Проблеми системного планування підземного простору великих міст//Вісник НТУУ «КПІ». Серія «Гірництво». Вип. 25. – Київ: НТУУ «КПІ», 2014. – С. 35 – 40.
2. Гайко Г.І. Транспортноорієнтована природничо-технічна геосистема «геоурбаністика – геологічне середовище»/ Гайко Г.І., Кравець В.Г., Булгаков В.П., Гайко Ю.І. – Вісник НТУ «КПІ». Серія «Гірництво». – Київ: НТУУ «КПІ», 2015. – Випуск 29. – С. 37-44.
3. Маковский Л.В., Трофименко Ю.В., Евстигнеева Н.А. Вентиляция автодорожных тоннелей. – М.: МАДИ (ГТУ), 2009. – 148 с.
4. Патент РФ 2487245, МКИ7: E21F1/00, F02C3/02, опубл. 10.07.2013.
5. Патент РФ на корисну модель №40013, МКИ B03C 3/02, опубл. 31.05.2004, бюл. № 24.

УДК 620.92

А. М. Ковальчук, к.т.н., доц., Л. Ю. Савченко,
магістрант,

Національний технічний університет України "КПІ", Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ РІЗНОТИПНИХ СИСТЕМ ОПАЛЕННЯ

На сьогоднішній день використання новітніх, дешевших та більш зручних альтернативних методів опалення, порівняно із застарілими, значно збільшується. У роботі проведено аналіз ефективності використання різномісцевих систем опалення. Здійснено вибір найоптимальнішого варіанту та впровадження теплоакуючих систем електроопалення. Проаналізовано характеристики опалення з точки зору фінансових витрат, без врахування відповідного рівня комфорту.

Ключові слова: системи опалення, теплоакуюче електроопалення, затрати, оптимальний варіант.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РАЗНОТИПНЫХ СИСТЕМ ОТОПЛЕНИЯ

На сегодняшний день использование новейших, более дешевых и более удобных альтернативных методов отопления, по сравнению с устаревшими, значительно увеличивается. В работе проведен анализ эффективности использования различных систем отопления. Осуществлен выбор оптимального варианта и внедрение теплоаккумулирующих систем электроотопления. Проанализированы характеристики отопления с точки зрения финансовых затрат, без учета соответствующего уровня комфорта.

Ключевые слова: системы отопления, теплоаккумулирующее электроотопление, затраты, оптимальный вариант.

RESEARCH EFFICIENCY USING DIFFERENT TYPES OF HEATING SYSTEMS

To date, the use of new, cheaper and more convenient alternative heating compared to outdated, increases significantly. The paper analyzes the efficiency of different types of heating systems .. The choice of the best option and implementation of electric heating systems heat accumulators. Heating characteristics are analyzed in terms of financial costs, without an appropriate level of comfort.

Keywords: heating, heat accumulating electric heating, the cost, the best option.

Вступ. Споживання енергії в світі особливо швидко зростало в другій половині ХХ ст. У цей період енергетика розвивалася випереджаючими темпами, енергомісткість виробництва на початку була високою. На межі 80-90-х років темпи приросту енергоспоживання знизилися - світ ступив на шлях впровадження енергозберігаючих технологій, тобто технологій, які забезпечують зниження енерговитрат.

На сьогоднішній день вартість енергоресурсів кожного дня зростає, постає питання пошуку альтернативи традиційним системам опалення. Дана потреба викликана і тим, що традиційні системи дуже застарілі і не можуть у повному обсязі виконувати задані функції, що актуальні на сьогодні. До таких відносять: високу економічність,

екологічність, привабливий дизайн, зонування приміщень за температурним режимом, простота в управлінні.

Мета роботи. Завданням роботи є визначення ефективності використання різнотипних систем опалення та вибір найоптимальнішого з них варіанту. Проведення аналізу характеристик системи опалення з точки зору фінансових витрат, без врахування відповідного рівня комфорту.

Методики, матеріали і результати досліджень. Достойну альтернативу для традиційних систем опалення може скласти теплоакumuлююче електроопалення. Принцип роботи якого заснований на накопиченні тепла в акумуляторах, що виготовлені із матеріалів великої теплоємності та нагріваються використовуючи електричну енергію в нічні години. Враховуючи те, що вартість електроенергії вночі в рази нижча від денного тарифу, то застосування теплоакumuлюючого електроопалення (ТАО) дозволить значно скоротити витрати на обігрів приміщення. Накопичивши достатню кількість тепла акумулятори далі не споживають електроенергію вдень, а віддають тепло у будинок.

Для визначення найекономічнішого типу опалення були проведені відповідні розрахунки їх ефективності. В якості досліджуваних систем опалення були вибрані наступні: газовий котел, дров'яний котел, котел на пелетах, вугільний котел та теплоакumuлююче електроопалення (ТАО). Вибір видів палива залежить від низки факторів: найперше – це від ціни (тарифів), доступності сировини, зручності у застосуванні, екологічної сприйнятності і рівня автоматизації управління.

Таблиця 1 – Питомі експлуатаційні витрати для різних систем опалення за опалувальний сезон

Система опалення	Вартість на m^2 площі грн./ m^2 /сезон
Від газового котла	72,11
Від дров'яного котла	59,02
Від котла на пелетах	90,29
Від вугільного котла	76,36
ТАО	29.92

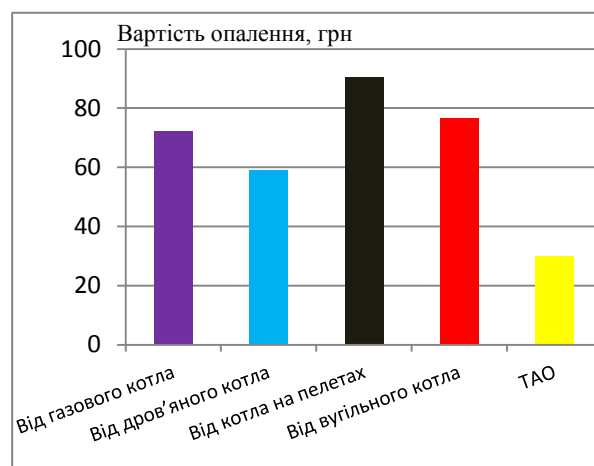


Рисунок 1 – Діаграма порівняння вартості опалення для різних систем на m^2 площі

Через наявність таких переваг як, «локальна» екологічність, легкий і швидкий монтаж, високий рівень автоматизованості процесу роботи даний тип системи опалення стає дедалі популярнішим серед споживачів.

Споживачі переходячи на індивідуальне електроопалення негативно вплинуть на потужні генератори тепла. Зростання кількості таких будинків викличе значне зниження попиту від централізованої системи, при цьому затрати залишаться на попередньому рівні. При відсутності деяких споживачів протяжність між тими що забезпечують опалення від централізованої системи стане досить великою, що викличе додаткові втрати.

Візьмемо до уваги і те, що на сьогодні устаткування більш ніж 10 тисяч українських котелень має знос понад 80%. Крім того, майже дві третини українських котелень мають коефіцієнт корисної дії (ККД) нижче 80%. Все це негативно впливає на якість теплопостачання, ціну за спожите тепло і роботу в цілому централізованої

системи опалення. Всі ці втрати муситимуть покривати за рахунок підвищення тарифів.

З метою визначення ефективності системи опалення потрібно провести математичне моделювання поведінки енергетичного об'єкту в реальних умовах експлуатації.

Для цього необхідно :

- створити математичну модель об'єкта;
- формалізувати внутрішні умови (показники внутрішнього мікроклімату – температуру, вологість, кратність та об'єми повітрообміну);
- створити модель зовнішніх умов (температура повітря, вологість, інтенсивність сонячно інсоляції).

Для розрахунків систем електроопалення була створена математична модель, де використовуються ретроспективні дані для визначення найкращого варіанту теплоакumuлюючого електроопалення з точки зору фінансових витрат, без врахування відповідного рівня комфорту.

Результати дослідження показані на графіках.

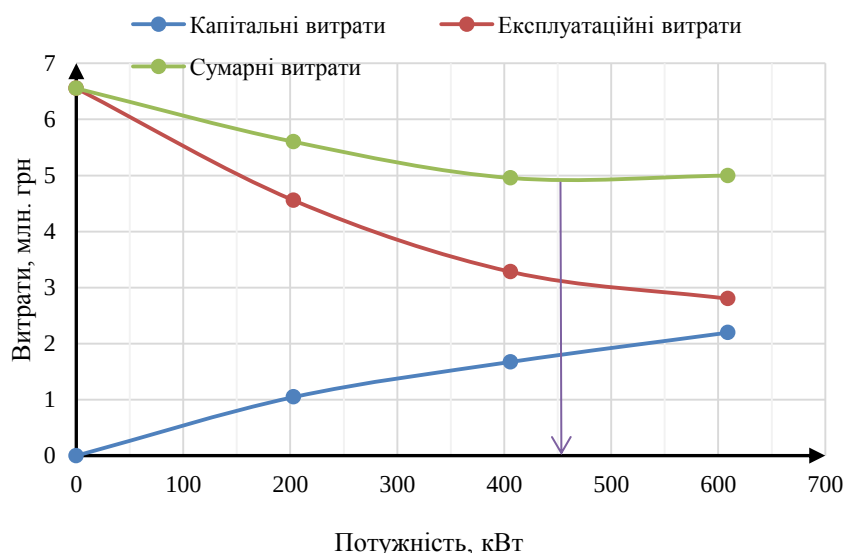


Рисунок 2 – Капітальні та експлуатаційні витрати на ТАО

Просумувавши капітальні та експлуатаційні витрати було знайдено відповідне значення потужності, при якому теплоакumuлююча система електроопалення матиме мінімальний рівень витрат.

Використання теплоакumuлюючої опалювальної техніки дає змогу розв'язати одразу декілька основних проблем:

- зменшити залежність України від дорогого імпортного газу;
- зменшити витрати паливно-енергетичних ресурсів;
- зменшити навантаження електромереж;
- забезпечити теплом регіони, де відсутня газифікація;
- не мати щорічних проблем з підготовкою до опалювального сезону (це реконструкція, ремонт, обслуговування тепломереж), адже це також великі витрати коштів;
- покращити екологію.

Висновки. Серед розглянутих варіантів, як бачимо, найдешевше опалення забезпечується із використанням теплоакumuлюючого електроопалення. Враховуючи стрімкий ріст ціна на газ, можливо, в недалекому майбутньому, використання газового котла стане не доцільним. Дрова та пелети це трудомісткий варіант опалення, за яким

постійно потрібно слідкувати. До того ж вартість деревини постійно зростає через масову вирубку дерев. А ось електрична енергія може стати альтернативою для опалення будівель і споруд. Проаналізувавши дані графіки можна стверджувати, що використання теплонакопичувачів сумарною потужністю близько 450 кВт, є вигідним із фінансової точки зору. Матеріальна сторона хоча і дуже важлива споживачу, але необхідно також враховувати й відповідний рівень комфорту, який має бути забезпечений в будівлі. Тому для більш точного і коректного аналізу оптимальної системи електроопалення необхідно враховувати ще не тільки вартість системи опалення, термін окупності, а й зручність використання та комфорт.

Література

1. Праховник А.В. Малая энергетика: Распределенная генерация в системах энергоснабжения / «Освіта України», Київ, 2007, 464с.
2. Інформаційний збірник «Промислова електроенергетика та електротехніка» Праховник А.В., докт. техн. наук, Денисенко М.А., докт. техн. наук ФРН, Ковальчук А.М., канд. техн. наук, Національний технічний університет України «КПІ», Кшановський В.Й., голова правління ЗАТ «Інформаційно-маркетингова служба» 2015 №7
3. Перспективы энергетических технологий. сценарии и стратегии до 2050г. // OECD/IEA, 2010. – 20 с.
4. Лисов О.М. Энергия, экология и альтернативные источники энергии [Электронный ресурс]: <http://viperson.ru/wind.php?ID=282778&soch=1>
5. Малярченко В. А., Нечмоглод І. Є., Колотіло І. Д. Нерівномірність графіку навантаження енергосистеми та способи його вирівнювання // Електроенергетика. – 2011. – 252с

Тарануха В.В.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»
Інститут енергозбереження та енергоменеджменту, м. Київ, Україна

“Підвищення ефективності роботи енергетичних компаній згідно концепції SmartGrid”

Вступ: Не важко уявити, наскільки важливою на даному етапі розвитку людства є роль електроенергетики, але, в той же час, важко передбачити майбутнє цієї індустрії в рамках тих проблем, що виникають сьогодні і являють собою вагому перепону на шляху до кращого майбутнього.

Аналіз стану питання: ставимо на розгляд інформацію, пов'язану з найбільш вагомими проблемами енергоефективності:

Енергетика України : проблематика

Енергетичними компаніями України було внесено чималий вклад в розвиток економічного потенціалу держави та її інтеграції у європейську економіку. Це десятки, сотні підприємств, що мали потужний рівень управління, оптимальний розподіл завдань, направлених на зміцнення останнього, технічні та інформаційні засоби, які підвищували ефективність роботи компаній. Але це в минулому.

Наразі, перелічені мною вище досягнення є чи не основною проблемою енергетики:

- Застарілість і недосконалість обладнання;
- Недостатній рівень керованості роботи компаній та енергетичних систем в цілому;
- Дисбаланс структури генеруючих потужностей.

Це лише одні з небагатьох причин того, чому нашим енергетичним компаніям потрібен апгрейд, себто оновлення усієї системи. Ми живемо в 21 –му столітті, коли весь світ давно перейшов на ринкові відносини, де головним чином, вирішується питання забезпечення потрібного технічного управління енергетичними об'єктами, а економічного обґрунтування керуючих дій. А коли в країні проблеми є і в першій сфері і в другій, настає час задуматись про тотальні зміни. Основна проблема полягає у виборі доцільного режиму управління, тобто оптимальності роботи компанії, яка оцінюється, відповідно, кількісними і якісними характеристиками, які мають чітких зв'язок з виробництвом, передачею і споживанням електроенергії. Основа ринкових відносин полягає у взаємодії покупця з продавцем, механізму їхніх відносин та забезпеченні економічних благ. І ця основа, в плані енергетичного розвитку, полягає не у зміцненні технічних показників, а, головним чином, у питаннях енергозбереження та раціонального використання енергетичних ресурсів. Що тоді потрібно для зміцнення і покращення цих показників. Потрібна ієрархічна система керування усіма процесами, за умов структури енергетичної галузі країни, в котрій вона впроваджується. Мається на увазі централізована і багатофункціональна система управління, що виконує функції автоматизованого контролю об'єктів енергетичного призначення. Саме такою системою є **SmartGrid**.

Мета роботи : Визначити на чому базується принцип роботи SmartGrid та які перспективи впровадження даної системи на території України.

Методики, матеріали і результати досліджень :

Концепція SmartGrid

Що таке ієрархічна система – це єдиний інформаційний простір, інформаційні технології і система стандартних програмних інтерфейсів, визначальними критеріями яких є:

- Інформативність, себто інформаційна ефективність;
- Оперативність в плані надання даних про поточний контроль роботи компанії на усіх рівнях;
- Надійність системи та її «живучість»;

Отже головним завданням такої системи є розподіл управління між усіма рівнями системи та контролю інформаційно-технічних засобів для забезпечення ефективності роботи останньої.

Що являє собою SmartGrid :

- Аналіз всіх систем автоматики, моніторингу та контролю роботи енергетичної системи;
- Створення автоматизованого пристрою, здатного виконувати функції засобів релейного захисту; моніторингу та контролю;
- Створення програмного забезпечення для розробленого пристрою.

Не важко зробити висновок, що дана система є найбільш актуальною для України з її нинішнім станом економіки.

Система автоматизації підстанції та електропостачання

- Основні функції :
 - контроль стану та пульт дистанційного управління об'єктами автоматизації в режимі реального часу;
 - формування попереджувальних і аварійних сигналів і повідомлень;
 - формування архівів подій і параметрів і їх візуалізація на екрані в табличній і графічній формі (тренди, звіти) за запитом оператора;
 - протоколювання подій і дій оператора;розмежування прав доступу користувачів до функцій і даних;локалізація місць ушкоджень;

- динамічне представлення режимів роботи енергооб'єкта;автоматичне і напівавтоматичне виконання заздалегідь розроблених послідовностей перемикачів з контролем правильності операцій;

- реалізація механізму блокування від помилкових дій при управлінні пристроями;автоматична самодіагностика стану обладнання ПТК;

- оперативне ведення списку блокувань з управління, сигналізації, повідомленнями;

- ідентифікація аварійних повідомлень і сигналів в залежності від їх важливості;

- оперативна блокування / розблокування сигналів і керуючих команд по групах і підгрупах пристроїв;

З допомогою розподіленого інтелекту і розвинутої інформаційно-комунікаційної технології, а також розподілених інтелектуальних пристроїв можна збільшити ефективність у місцевих електромережах або навіть на рівні магістральної мережі електропостачання. Більше того, диспетчери можуть оперувати і ресурси обчислювальної техніки можуть бути використані більш ефективно.

Стан системи постійно на виду і тому здійснюється безперервний контроль системи в онлайн режимі на підставі багатосторонньої інформації, отриманої з системи. Система обладнана керованими інтелектуальними пристроями, які автоматично підтримують баланс між постачанням і споживанням для забезпечення високої якості електроенергії та покращення надійності і працездатності системи.

Розробка вітчизняного інтегрованого програмного комплексу для розв'язання технологічних і економічних завдань оперативного диспетчерського керування дозволяє вирішити цілий комплекс оперативних завдань адаптування та впровадження апаратних засобів моніторингу та програмних комплексів оцінювання стану електричної мережі та розрахунків усталених і оптимальних режимів роботи систем електропостачання та енергетичних компаній (системи).

У складі комплексу інтегральної системи управління енергетичними об'єктами на єдиній інформаційній базі з уніфікованим графічним і табличним інтерфейсом реалізовано розв'язання наступних задач: формування розрахункової схеми; оцінювання стану; побудови моделі режиму на розширеній схемі, яка включає в себе не спостережувані фрагменти; розрахунку усталених за частотою режимів; оптимізації режимів за активною потужністю у відповідності з критеріями, які прийняті на оптовому ринку електроенергії; оптимізації режимів за реактивною потужністю.

У комплексі широко використовуються можливості роботи з графічними зображеннями одночасно на декількох рівнях: електроенергетична система – енергетична компанія – магістральні та розподільні електричні мережі – район електричних мереж – системи електропостачання споживачів з окремими електроенергетичними об'єктами.

Ієрархічний інтегральний оперативно-керуючий комплекс автоматизованої системи диспетчерського управління дає змогу розв'язувати задачі оперативного розрахунку і оптимізації поточних режимів, у тому числі в умовах неповноти та невисокої точності вихідної інформації; у процесі оцінювання поточного режиму виключати аномальні виміри і доповнювати відсутні дані за рахунок введення псевдовимірів. За рахунок організації міжмашинного міжрівневого обміну інформацією і розширення однорівневого зв'язку між керуючою системою та керованим об'єктом, впровадження процедури верифікації параметрів розрахункових схем за інтегральної системи управління забезпечує визначення та автоматичне видалення помилкових даних як в топології, так і за параметрами.

Завдяки застосуванню в релейних системах і системах управління існуючої інформаційно комутаційної технології, багато з функцій, які є типовими для інтелектуальних мереж, стають можливими.

- При зміні робочої структури мережі робочі параметри інтелектуальної захисної системи можуть бути відрегульовані системою управління для забезпечення достатнього рівня захисту. Крім того, в аварійних ситуаціях допускається перевантаження для виключення більш серйозних наслідків або, наприклад, допускається короточасне перевантаження трансформаторів в контрольованому режимі.

- При виникненні перешкоди (наприклад, короткого замикання) захисна система негайно спрацює. Після цього, блок управління визначить місце перешкоди, виробляє автоматичне ізолювання мінімальної частини пошкодженої мережі і перемикає нові шляхи для живлення електроенергії для мінімізації негативних наслідків

- При спаді зовнішнього енергоживлення заводська мережа переходить в ізольовану роботу. В залежності від наявної виробленої продуктивної потужності, менш важливі навантаження ізолюються функцією розвантаження енергосистеми, а найважливіші частини технологічного процесу залишаються в роботі для мінімізації негативних наслідків.

Висновки:

Потреба в електроенергії сильно зростає і в майбутньому. Найважливішими факторами при виборі рішень і устаткування для розподілу електрики є зміна клімату та вимоги до енергоефективності. Для майбутніх цілей рекомендують тільки обладнання, що має низьковуглецеві ефект на навколишнє середовище, та енергоефективні технології.

Для поліпшення експлуатаційної придатності, надійності і можливості використання майбутніх розподільних мереж потрібні нові ініціативи, наприклад вискоефективні двигуни, трансформатори з малими втратами і концепція інтелектуальної мережі, що представляє вже зараз багато хто якості ідеальної майбутньої мережі.

Посилання:

1. Smart grids portal. ABB Group. (referred 30.12.2009) <http://www.abb.com/cawp/db0003db002698/145abc3534b16460c12575b300520d8b.aspx>
2. Enrique Santacana.: The Importance of Standardizing the Smart Grid. Electric-light-power. Volume-87. Issue 4. http://www.elp.com/index/display/article_display/5395374547/articles/electric-light-power/volume87/Issue_4/commentary/The_Importance_of_Standardizing_the_Smart_Grid.html
3. Оценивание состояния в электроэнергетике / [Гамм А.З., Герасимов Л.Н., Голуб И.И., Гришин Ю.А., Колосок И.Н.] - М.:Наука,1983. - 302 с.
4. Яндульский А.С. Синтез системы управления промышленной электрической подстанцией /А.С. Яндульский, А.В.Гинайло, М.В. Мартишок // Электрические сети и системы. - 2004. - №3. - С. 9-16.
5. Арзамасцев Д.А. Модели и методы оптимизации развития энергосистем /Д.А.Арзамасцев, А.В.Липес, А.Л. Мызин. - Свердловск: изд. УПИ им. С.М.Кирова, 1986. - 236 с.

УДК 621.3

С. І. Чайковський

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»
Інститут енергозбереження та енергоменеджменту, м. Київ, Україна

ЗАГАЛЬНІ ОСОБЛИВОСТІ ПЕРСПЕКТИВИ ВДОСКОНАЛЕННЯ ЕНЕРГОПОСТАЧАННЯ МЕГАПОЛІСІВ

У статті розглянуто перелік існуючих проблем системи електропостачання мегаполісів як в теперішній момент, так і з точки зору її модернізації в майбутньому. Обґрунтовано необхідність впровадження системи SmartGrid, і моніторингу електроспоживання як її базису.

Ключові слова: проблеми електропостачання, система енергопостачання, мегаполіс, ефективність, інтелектуальні мережі, моніторинг.

Вступ. З того часу, як людство почало використовувати електроенергію в промисловості та побуті, потреби в ній неухильно зростали, а останнім часом цей попит тільки збільшився. Проте маючи енергосистему в сучасному стані, важко забезпечити не тільки можливість її стабільного розвитку, а й ефективність функціонування на даному етапі.

Аналіз стану питання. На сьогоднішній день в електропостачанні мегаполісів існує ряд проблем, які стоять на заваді підвищенню побутового комфорту, розвитку промисловості та мегаполісів в цілому.

З найбільш суттєвих і широко розповсюджених проблем можна назвати наступні [4]:

- Висока щільність електричних навантажень ($20-30 \frac{MBA}{км^2}$ в центрах районних міст);
- Постійно зростаюча кількість споживачів I категорії;
- Порушення електропостачання призводить до небезпеки для життя і здоров'я людей;
- Недостатня надійність електропостачання великих міст;
- Низька живучість мережі;
- Недостатня безпечність мережі;
- В майбутньому концентрація населення може різко змінитись;
- Висока щільність забудови міст;
- Недостатня кількість простору для прокладання ЛЕП;
- Підвищені архітектурно-естетичні вимоги;
- При енергопостачанні мегаполісів зазвичай недостатньо внутрішніх джерел;
- Відвід і резервування необхідних для міського господарства територій;
- В суспільній свідомості склалось певне негативне ставлення до АЕС, хоча за техніко-економічними і екологічними показниками вони випереджають інші види електростанцій [2].

Мета роботи. Визначення основних напрямків модернізації системи електропостачання та передумов для їх реалізації.

Методики, матеріали і результати досліджень. Далеко не всі з названих раніше пунктів мають однозначне вирішення. Тому для модернізації мережі потрібно не обмежуватись розв'язком визначених проблем, а й дбати про підвищення ефективності електропостачання мегаполісів в цілому. Для цього запропоновано низку таких заходів:

1. Заміна застарілого, ненадійного та малоефективного обладнання.
2. Удосконалення схем роботи мережі.
3. Підвищення надійності експлуатації електрообладнання.
4. Підвищення пропускної здатності мережі в цілому.
5. Збільшення обсягів виробництва електроенергії.
6. Створення потужних ТЕС або АЕС за межами агломерацій мегаполісів.
7. Зосередити зусилля на багатократному підвищенні надійності АЕС.
8. Використовувати КЕС і АЕС для покриття базової частини графіків електроспоживання, а гідроакумулявальні і газотурбінні електростанції – для пікової.
9. Впровадження кабельних ліній, що використовують ефект високотемпературної надпровідності.

Отже, проаналізувавши наведені вище твердження, можна зробити висновок, що для ефективного функціонування енергосистеми доцільно впровадити інтелектуальну мережу, так звану систему SmartGrid.

За визначенням Департаменту Енергії Сполучених Штатів, SmartGrid – це модернізовані мережі електропостачання, які використовують інформаційні та комунікаційні мережі і технології для збору інформації про виробництво та споживання електроенергії, що дозволяє автоматично підвищувати ефективність, надійність, економічність, а також стійкість виробництва і розподілу електроенергії [5].

Принципи проектування Smart Grid:

- доступність – забезпечення споживачів електроенергією в залежності від того, коли і де вона їм необхідна;
- надійність – можливість протистояння фізичним і інформаційним негативним впливам без тотальних відключень або високих затрат на відновлення роботи, максимально швидке відновлення (самовідновлення);
- економічність – оптимізація тарифів на електричну енергію для споживачів і зниження загальносистемних затрат;
- ефективність – максимізація ефективності використання всіх видів ресурсів і технологій при виробництві, передачі, розподілі і споживанні електроенергії;
- екологічність – зниження негативних впливів на навколишнє середовище;
- безпечність – недопущення ситуацій в електроенергетиці, небезпечних для людей і навколишнього середовища.

З технічної сторони, так як інтеграція Інтернету в усі сфери повсякденного життя постійно зростає, разом з цим з'являється дедалі більше можливостей використання аналітичних та сенсорних систем і сервісів обліку, які автоматично реагуватимуть на будь-яку зміну інформації в мережі. На даний момент, ці дані, як правило, збираються, обробляються і аналізуються вручну, окремо кожною компанією, в той час, як автоматизація та оптимізація мали б суттєве значення не тільки для кожного споживача зокрема, а й такого великого і важливого ринку, як ринок енергоефективності. Майбутнє інтелектуальних мереж електропостачання – в поступовому переході від ручного керування різними компонентами мережі до автоматизованого. Саме тому, впровадження моніторингу – перший крок на шляху до експлуатації системи SmartGrid.

Моніторинг – спеціально організоване систематичне автоматичне спостереження за технологічними процесами в енергетиці з оцінкою або без оцінки їхнього стану. Узагальнюючи дане визначення, можна сказати, що моніторинг електроенергії – основа забезпечення її якості (11 показників, 8 з яких нормуються). Моніторинг включає в себе не тільки оцінку поточного стану, а й ретроспективний аналіз та прогнозування.

До основних завдань моніторингу відносяться:

- виявлення перешкод та їх оцінка;
- реєстрація вимірюваних числових характеристик з метою обробки і відображення результатів;
- оцінка вимірюваних значень показників якості електроенергії у відповідності з встановленими вимогами;
- визначення джерела перешкод;
- проведення комерційних розрахунків між постачальником та споживачем електроенергії.

ВИСНОВКИ

Моніторинг електроспоживання – це найперший, та чи не найважливіший крок, який потрібно зробити в рамках програми модернізації існуючої електромережі.

ЛІТЕРАТУРА

1. М.А.Колчин, А. Фенцель, Д.И. Муромцев, С.О. Попов, Д.С. Павлов, Н.В. Климов, А.А. Андреев, Д.С. Гарайзуев. Мониторинг потребления энергии в умных сетях электроснабжения (smart grid) на основе семантического анализа потоковых данных. Университет ИТМО, Санкт-Петербург, 197101.

2. В.Г.Гольдштейн, А.В.Гундаев, Н.С.Васильева, С.Е.Кокин, Инновационные методы решения проблем надежного энергоснабжения мегаполисов, Труды Кольского научного центра РАН. Выпуск № 3 (12) / том 3 / 2012.
3. Савоськин Н.Е., Надежность электрических систем, Издательство Пензенского государственного университета, Пенза 2004.
4. Геннадий Ковалев, ведущий научный сотрудник Института систем энергетики им. Л.А. Мелентьева Сибирского отделения РАН [Электронный ресурс], режим доступа: http://eepr.ru/article/Problemy_elektrosnabzheniya_krupnykh_gorodov_i/
5. U.S. Department of Energy. [Smart Grid / Department of Energy](http://energy.gov/oe/services/technology-development/smart-grid) [Электронный ресурс], режим доступа: <http://energy.gov/oe/services/technology-development/smart-grid>

УДК 621.311

Б. В. Шляхецкий, студ., А. В. Панов, мл.н.с., Є. М. Танкевич, д.т.н., с.н.с.,
Институт электродинамики НАН Украины, Национальный технический университет Украины
«Київський політехнічний інститут»

ТРЕНАЖЕР ОПЕРАТИВНЫХ ПЕРЕМИКАНЬ ПЕРВИННОЙ СЕТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СХЕМЫ С СХЕМОЙ «ЧЕТЫРЕХУГЛЫК»

Представлено описание разработанных структурной и электрической схем тренажера оперативных переключателей, описание информационной взаимосвязи компонентов стенда и его элементной базы. Подано перелік програмних модулів та їх функцій.

Description of Structural and electrical circuit simulator operational switching, description of information exchange components of the stand and its components. Posted list of program modules and their functions.

Вступ.Сьогодні «людський фактор» в людино-машинних системах є однією з найголовніших, основоположних проблем нового століття, рішенням якої присвячені численні розробки, спрямовані на якісне поліпшення пропорцій у взаємодії «людина-машина» в бік людини, шляхом його спеціальної підготовки (тренажу).

Аналіз стану питання.Діяльність оперативного персоналу можна умовно розділяється на чотири фази: спостереження, діагностика, планування і реалізація. Однією з перших робіт в області навчання спостереженню за технологічним процесом є карти спостереження. Фаза спостереження є найбільш прихованою з усіх фаз оперативної діяльності. Зазвичай спостереження відбувається в нормальному режимі енергооб'єкта. Оператор не виконує активних дій, а лише контролює роботу об'єкта за показниками приладів і повідомленнями нижчестоящего оперативного персоналу. Реалізація решти фаз діяльності оперативного персоналу здійснюється за допомогою тренажерів оперативних перемикачів(ТОП) та режимних тренажерів.

ТОП є найбільш простими з диспетчерських тренажерів і призначені для придбання навичок з управління комутаційним обладнанням в розподільних пристроях електростанцій і підстанцій оперативним персоналом енергосистем, електростанцій і підстанцій. За допомогою ТОП персонал тренується у виконанні на моделі енергетичного об'єкта різних завдань - вивід в ремонт і введення з ремонту приєднань і окремих елементів обладнання, переведення приєднань підстанції з однієї системи шин на іншу, відновлення електропостачання споживачів після аварійних відключень і т.п. При цьому відпрацьовуються навички та перевіряються знання персоналом правил виконання оперативних перемикачів, як в первинній схемі з'єднань енергетичного об'єкта, так і в колах вторинної комутації.

Тренування з підтримання параметрів режиму енергосистеми виконують на режимних тренажерах [1,2]. Режимні тренажери призначені для оволодіння оперативним персоналом енергосистеми навиків з підтримання параметрів режиму енергосистеми в

заданій області в процесі керування нормальними режимами та в аварійних ситуаціях. Питанням створення та функціонування сучасних режимних тренажерів приділяється достатня увага з боку фахівців, тоді як інформація щодо створення ТОП, що є не менш важливою і актуальною задачею, яка відповідає практичним потребам оперативного персоналу електричних підстанцій, в науково-технічній літературі відсутня.

Мета роботи. Розробка тренажеру оперативних перемикачів первинної мережі електричної підстанції зі схемою «чотирикутник» за допомогою сучасних інформаційних систем.

Матеріали і результати досліджень. Розроблений тренажер являє собою програмно технічний комплекс. Структурно він складається з: фізичного стенду та автоматизованого робочого місця(АРМ)(рис. 1).

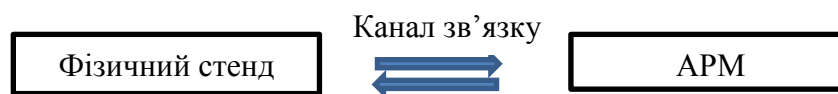


Рисунок 1 – Структурна схема тренажеру

Фізичний стенд виконаний з двох частин: системи імітації комутаційного обладнання та системи візуального відображення положення комутаційного обладнання підстанції.

Система відображення положення обладнання складається з (рис. 2):

- 1) мнемосхеми головної схеми підстанції, на яку нанесено відповідні назви комутаційних апаратів, що й у віртуальному стенді;
- 2) блок-контактів, що дають можливість керувати обладнанням;
- 3) сигнальних лампочок, що відображають положення комутаційного обладнання.



Мнемосхема відображає головну схему підстанції з двома приєднаннями по 2 вимикача на лінію, тобто класичний «чотирикутник»[3].

Система збору інформації виконана на базі пристрою RemoteTerminalUnit (RTU). Вона збирає інформацію з системи імітації за допомогою аналогових сигналів (рис. 3). Керування обладнанням здійснюється такими ж сигналами. RTU виконує обробку зібраних даних і їх передачу на верхній рівень (система SCADA) по каналу Ethernet по протоколу IEC 60870-5-104 [4]. Така компоновка дозволяє розмістити фізичний стенд на відстані від автоматизованого робочого місця (АРМ) і не заважати решті персоналу під час проведення тренувань.

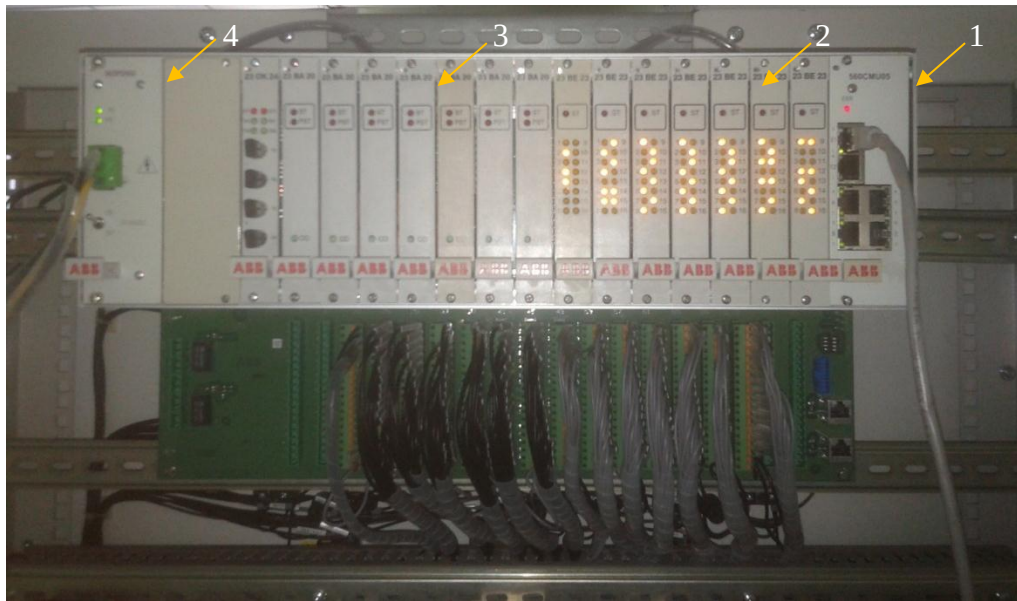


Рисунок 3 – RTU560 – пристрій телемеханіки: 1) 560CMU05 – пристрій зв'язку; 2) 23BE23 – плата телесигналізації; 3) 23BA23 – плата телекерування; 4) 560PSU02 – модуль живлення.

На рисунку 4 подано фрагмент електричної схеми фізичного стенду.

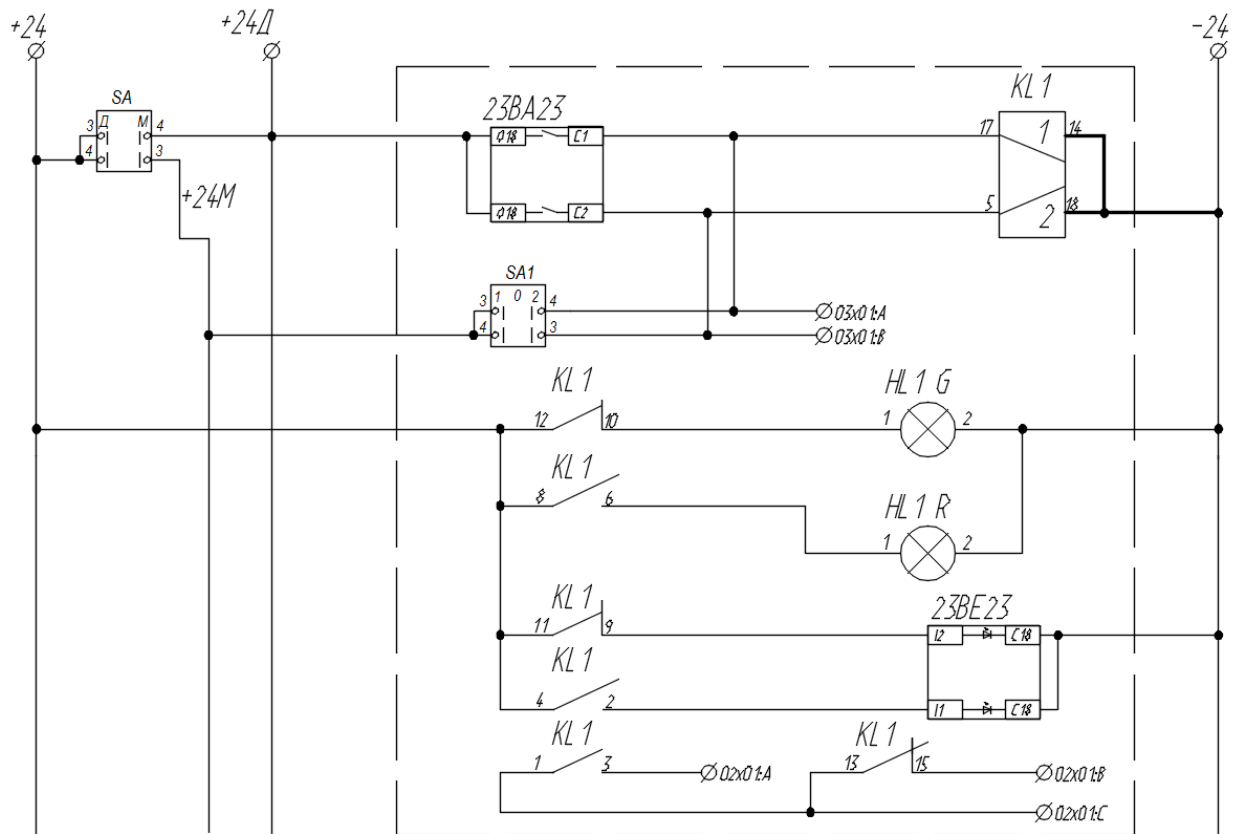


Рисунок 4 –Фрагмент електричної схеми фізичного стенду

Підключення реле є однотипним, тому пояснення роботи схеми буде виконано тільки для 1 реле.

Бачимо, що перемикач SA визначає можливість керування комутаційним обладнанням. Положення 3 – місцеве керування, положення 4 – дистанційне керування.

Тобто перемикаючи SA обираємо яким чином буде здійснюватись управління комутаційним обладнанням підстанції зі щита або з АРМ.

Якщо перемикач SA знаходиться у положенні 3, то ми маємо змогу перемикати перемикач SA1. Він імітує привід реального вимикача. Обираючи те чи інше положення, здійснюється подання електричного струму на різні обмотки котушки двопозиційного реле. Котушка в свою чергу впливає на блок-контакти. Контакти 12-10 – нормально замкнуті, тобто світиться зелена лампочка. При перемиканні SA1 контакти 12-10 розмикаються, а 8-6 – замикаються, що в свою чергу задіює червону лампочку.

Аналогічним чином відбувається робота контактів 11-9, які в нормальному положенні замкнуті, а 4-2 розімкнуті, та передається інформація на плату 23BE23, що, наприклад, вимикач роз'єднано, про це свідчать контакти 1-3. Зміна положення перемикача означає, що контакти 11-9 розриваються, а 4-2 замикаються і відповідно вимикач переходить у положення замкнуто.

Далі в платах телесигналізації інформація про положення комутаційного обладнання обробляється та передається в модуль зв'язку 560CMU05. Модуль зв'язку в свою чергу формує звіт у вигляді протоколу IEC60870-5-104, що передається по каналу Ethernet на АРМ. Даний протокол відповідає вимогам стандарту IEC 61850[5], що означає відповідний рівень стандартизації фізичного стенду, та рівень надійності передачі даних.

Якщо перемикач SA знаходиться у положенні 4, то керування відбувається за допомогою сигналів з плати 23BA23. А вона, в свою чергу, отримує сигнал від модуля зв'язку, який отримує команди від системи SCADA по вже відомому каналу Ethernet.

Таким чином інформація про положення комутаційного обладнання відображається як на фізичному стенді, так і на віртуальному, більш того зміна положення обладнання на одному із стендів також відображається і на іншому стенді, це дає можливість керівнику тренувань або решті осіб, що навчаються, спостерігати за діями оператора, що вирішує завдання.

АРМ створює умови для роботи програмного забезпечення(ПЗ) тренажеру. ПЗ складається з: основних програм(MicroSCADA, програма контролю знань) та додаткових.

Основою програмного забезпечення тренажеру є програма MicroSCADA. Вона здійснює:

- 1) збір поточної інформації про роботу устаткування з датчиків і контролерів;
- 2) первинне перетворення зібраної інформації;
- 3) збереження поточної інформації;
- 4) представлення поточної інформації у вигляді гістограм, таблиць, графіків;
- 5) друк звітів і протоколів про роботу одиниць устаткування;
- 6) передача і введення в пристрої керування команд диспетчера;
- 7) використання поточної інформації для вирішення завдань управління виробництвом;
- 8) організація зв'язку з пристроями, підключеними до інформаційної мережі.

Дана SCADA найбільш поширена серед українських підстанцій, та має необхідні засоби створення та імітації різноманітних схем.

Обробку отриманих даних за допомогою SCADA виконує програма контролю знань. Вона, в свою чергу, має блок обробки даних, блок оцінки знань та архів попередніх тестувань(рис. 5).

Після виконання завдання з архіву бази даних SCADA інформація передається до системи контролю знань. Вона в свою чергу передає дані для попередньої обробки. Оскільки дані з бази даних мають зайву інформацію. Після цього дані порівнюються в блоці оцінки знань з архівними даними. Результат передається в систему обробки даних де проходить їх опрацювання та формується звіт.

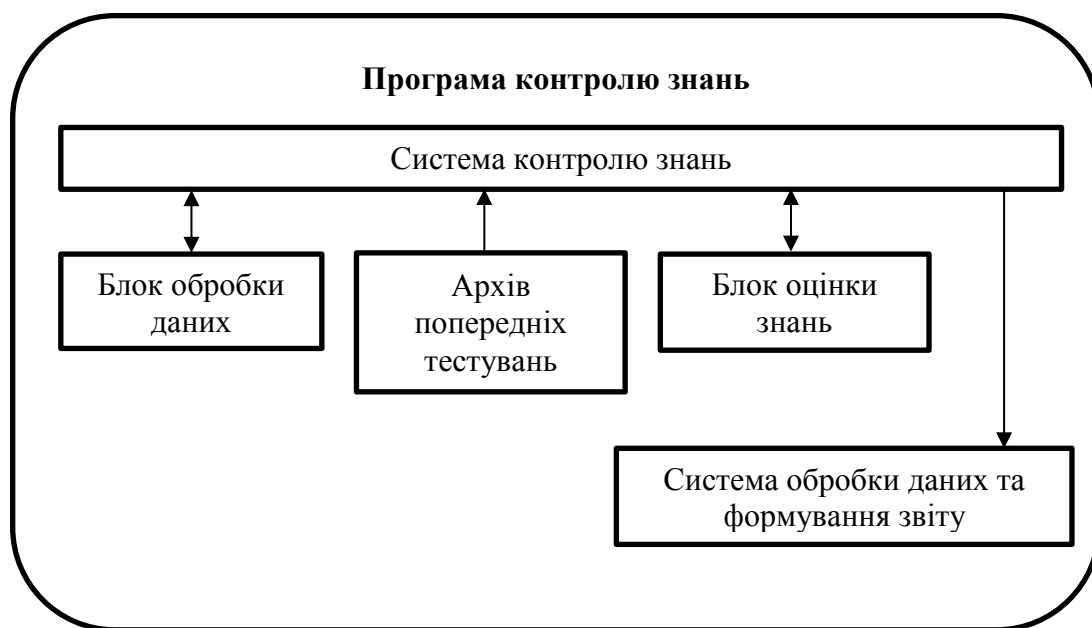


Рисунок 5 – Структурна схема програми контролю знань

Додатковими програмами є: RTUtil560, Object Navigator, Display Builder. Причому дві останні програми є підпрограмами програми MicroSCADA.

RTUtil560 необхідна для написання проекту програмування мікропроцесора системи RTU560. Це необхідно для того, щоб об'яснити мікропроцесору, на зрозумілій для нього мові, які сигнали він має приймати і з яких плат, та яким чином відправляти зібрану інформацію в систему SCADA.

Object Navigator входить до складу підпрограм MicroSCADA і необхідна для того, щоб система SCADA розуміла, яку інформацію вона повинна приймати, від яких об'єктів, та що з отриманою інформацією робити.

Останньою в списку йде підпрограма DisplayBuilder, за допомогою цієї програми виконується побудова мнемокадру, на якому відображається зображення головної схеми підстанції та проводиться співставлення інформації про об'єкти отриманих програмою Object Navigator.

Висновки. Розроблено тренажер оперативного персоналу підстанції зі схемою «чотирикутник», який базується застосуванні нових інформаційних технологій, мікропроцесорної техніки та сучасної техніки зв'язку, і відповідає вимогам міжнародних стандартів, зокрема IEC 61850, що означає можливість використання даного тренажера не тільки в Україні, але і за кордоном.

Література

1. Комар В. А., Бурькин А. Б., Надеран Реза. Тренажер персонала оперативного управления режимом электроэнергетической системы как элемент Smart Grid-технологий. - Наукові праці Вінницького національного технічного університету. — № 3. — 2011.
2. Сулейманов В. М., Комар В. А., Надеран Реза. Метод оцінювання дій диспетчерського персоналу в режимному тренажері. - Вісник Вінницького політехнічного інституту - № 6 – 2011
3. Правила улаштування електроустановок [Електронний ресурс]. – 2010. – Режим доступу до ресурсу: <http://www.energiy.com.ua/PUE.html>.
4. Опис протоколу інформаційного обміну IEC 60870-5-104. Режим доступу: http://www.mtrele.ru/files/documents/mek_60870-5-104.pdf

5. IEC 61850-5 Communication requirements for functions and device models

УДК

М.В. Шкребтій науковий керівник В.П. Калінчик, к.т.н. доцент
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»
пр-т Перемоги, 37, г. Київ, 03056, Україна. E-mail: maxim_11@ukr.net

ЗАСТОСУВАННЯ ГЕНЕТИЧНИХ АЛГОРИТМІВ ДЛЯ ВИБОРУ СПОЖИВАЧІВ-РЕГУЛЯТОРІВ

В статті розглядається метод, який можна використати для зниження пікових навантажень графіку об'єднаної енергосистеми України. Зниження пікових навантажень можна досягти за допомогою регулювання навантаження підприємств. Це досягається за допомогою споживачів-регуляторів. Досліджено спосіб знаходження оптимального списку таких споживачів за допомогою генетичного алгоритму. Описано алгоритм, за яким можна отримати найбільш оптимальне рішення вибору споживачів на підприємстві.

The article discusses a method that can be used to reduce peak loads schedule of the United energy system of Ukraine. Reducing peak loads can be achieved by load management of enterprises. This is accomplished by using consumers-regulators. We investigated the optimal way of finding a list of such consumers with the help of genetic algorithm. We have described the algorithm by which we can obtain the optimal solution of choice consumers-regulators of industrial enterprises.

Вступ. Графік навантаження об'єднаної енергосистеми України має нерівномірний характер, характерною особливістю якого є наявність двох піків – ранкового й вечірнього. Тому виникає необхідність вмикати маневрові джерела генерації. Промислові підприємства мають значний вплив на енергосистему, тому знизивши їх споживання в пікові години можна значно сприяти вирівнюванню графіка навантаження, це дозволить зменшити необхідну кількість маневрових джерел живлення для покриття дефіциту в години максимуму і, відповідно, знизить вартість електричної енергії. Зниження споживання електроенергії досягається різними способами, але необхідно обирати такі, що не мають впливу на технологічний процес, що впливатиме на випуск та якість продукції. На підприємствах зниження споживання електричної енергії можливо досягти за рахунок споживачів-регуляторів, вплив яких мінімальний на технологічний процес.

Проблема полягає саме у виборі споживачів-регуляторів, вимкнення яких не вплине на продуктивність, випуск продукції, тобто не спричинить впливу на роботу підприємства в цілому. Щоб обрати споживачів, яких необхідно і можна вимкнути потрібно виконати задачу дискретної оптимізації.

Мета роботи. Метою роботи є дослідження способу знаходження найкращого списку споживачів-регуляторів за допомогою генетичного алгоритму.

Викладення основного матеріалу. В процесі вибору споживачів-регуляторів аналізуються функції збитку і кількості перемикачів, які в результаті дослідження прямують до мінімуму [1, 2]. Генетичний алгоритм розглядається для вирішення задачі вибору складу споживачів на нижньому рівні електричної мережі підприємства.

Генетичний алгоритм (ГА) – евристичний метод пошуку, що використовується для рішення задач оптимізації і моделювання шляхом випадкового підбору комбінування і варіації шуканих параметрів з використанням механізмів аналогічних природньому відбору. ГА базується на теоретичному дослідженні синтетичної теорії еволюції, що враховує мікробіологічні механізми наслідування ознак в природних і штучних

популяціях організмів, а також на накопиченому людством досвіді в селекції тварин і рослин [2].

Методологічна основа ГА ґрунтується на гіпотезі селекції, яка в самому загальному вигляді може бути сформульована так: чим вище пристосованість особини, тим вища ймовірність того, що в нащадках, отриманих з її участю, ознаки, що визначають пристосованість, будуть виражені ще сильніше.

Для реалізації поставленої задачі будується програмна модель еволюційного процесу – розвитку деякої популяції особин. [2, 3, 4]. Кожна особина в даному випадку представляє собою деяке рішення задачі [2]. Особини популяції схрещуються, розмножуються, мутують, при цьому гірші з них гинуть. Загальний розвиток популяції організовується таким чином, щоб в кінцевому підсумку через деяку кількість поколінь отримати оптимальний розв'язок задачі. При цьому покоління, що відповідає оптимуму буде складатися з однакових особин, які відповідають оптимальному рішенню задачі. На даному етапі розвиток популяції зупиняється – у однакових родителів з'являються діти, які нічим не кращі своїх предків – тому вони гинуть, так як алгоритм будується таким чином, що із нащадків виживають тільки ті, які знаходяться ближче до оптимального рішення, чим їх родителі.

Генетичний алгоритм розглядається для вирішення задачі вибору складу споживачів на нижньому рівні електричної мережі підприємства. В процесі вибору аналізуються функції збитку і кількості перемикавання, які при пошуку рішення прямують до мінімуму [5, 6].

А загальному генетичний алгоритм вибору споживачів-регуляторів можна записати наступним чином:

1. Створюється початкова популяція особин – формування початкового набору списку споживачів.

Кожна особина популяції кодується однією хромосомою (G), яка визначає склад споживачів, які рекомендовані для регулювання електричного навантаження підприємства. Кількість ген, що утворюють хромосому визначається числом споживачів m_n , що відносяться до нижнього рівня ієрархії електричної мережі підприємства.

Розраховуються параметри споживачів, такі як – функції оцінки збитку від зміни режиму роботи споживачів; функція перемикань електричної мережі підприємства. Сумарна потужність кожного списку споживачів. Узагальнена цільова функція.

2. Далі відбувається схрещування особин популяції - отримання нового набору списків споживачів.

Схрещування. Після створення початкової популяції починається її розвиток і розмноження, тобто рух до оптимуму. Схрещування особин відбувається наступним чином: із поточного покоління випадково обираються два різні особини і далі кожний ген хромосоми нащадку з однаковою ймовірністю $p=0,5$ може прийняти значення відповідного гена або одного, або іншого родителя.

Процедуру схрещування можна представити у вигляді схеми, приведеної на рис.1

1-й батько				
1-й ген	...	i - й ген	...	m_n - ген
1	...	0	...	0
$p = 0,5$		$p = 0,5$		$p = 0,5$
1-й ген нащадка	...	i - й ген нащадка	...	m_n - ген нащадка
1	...	1	...	0

	$p = 0,5$		$p = 0,5$		$p = 0,5$
1-й ген	...	i - й ген	...	m_n - ген	
0	...	1	...	1	

2-й родитель

Рисунок 1 – Процедура схрещування особин популяції

Також розраховуються параметри нового списку споживачів і порівнюються з попереднім поколінням.

3. Включення особини в наступне покоління, якщо ця особина не гірше найгіршої особини попереднього покоління (збереження отриманого результату)

4. Знищення найгіршої особини попереднього покоління (видалення найгіршого рішення)

5. Мутація. В процесі еволюції можлива ситуація, коли серед генів особин популяції може не виявитися того гена, який відповідає оптимальному рішення. Наприклад, ген, що відповідає i -му споживачу електричної енергії в силу випадкового заповнення хромосом для всіх особин популяції може виявитися рівним 0, а для досягнення оптимального рішення він повинен бути рівним 1, або навпаки.

З метою виключення цього застосовується процедура мутації – генетичної зміни, що призводить до якісно нової прояви основних властивостей генетичного матеріалу.

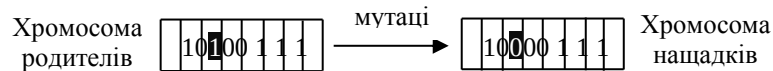


Рисунок 2 – Процедура мутації

Мутація полягає в наступному:

Із поточного покоління випадковим чином обирається деяка особина, її параметри

записуються в деякий буфер пам'яті. Потім обирається ген, значення якого змінюється шляхом інвертування, в результаті утвориться мутант особини. Далі розраховуються параметри особини, при чому, якщо виконуються умови представлені системою, то вважається, що відбулася «добра» мутація і особина набуває характеристики і параметри утвореного мутанту, залишається в поточному поколінні особин, якісно покращуючи дане покоління.

Якщо умови з попередньої системи не виконуються, то мутація відміняється, «погана мутація», і з буфера пам'яті повертаються початкові значення вибраної мутації особини.

Послідовне виконання процедур схрещування і мутації дає покоління особин (нащадків, що надають нові поєднання споживачів-регуляторів), яке якісно перевершує попередні покоління предків (знаходиться ближче до оптимального рішення).

Таким чином, для задачі вибору списку споживачів-регуляторів електричного навантаження кожне нове покоління містить списки, обраних споживачів, які дозволяють знизити електричне, і що мають прямуючих до мінімуму функції збитку і перемикання обладнання.

6. Поточне покоління вичерпано. Якщо так, то відбувається схрещування інших особин популяції, поки всі рішення не будуть розглянуті.

7. Якщо покоління не вичерпано, перевіряється чи необхідні результати досягнуті. якщо рішення не отримано, то відбувається схрещування інших особин до знаходження оптимального варіанту.

8. Кінець.

Висновки. Отже розглянуто опис генетичного алгоритму, його сутність, принцип застосування для регулювання навантаження, шляхом вибору оптимального варіанту (списку) споживачів для регулювання електричного навантаження. В якості критеріїв, за якими обирається найбільш оптимальний список споживачів-регуляторів обрано функції збитку та кількості перемикачів.

Список використаної літератури.

1. Васильев Д.А., Иващенко В.А., Ханбиков Р.И. Оперативное управление режимом электропотребления промышленных предприятий // Автоматизация и управление в машино- и приборостроении: Межвуз. Науч. Сб. Саратов, 2003. С.34-38.
2. Васильев Д.А., Иващенко В.А., Резчиков А.Ф. Формирование состава потребителей для оперативного регулирования электрической нагрузки промышленных предприятий на основе генетических алгоритмов // Электротехнические комплексы и силовая электроника. Анализ, синтез и управление: Межвуз. Науч. Сб. Саратов. С.21-29.
3. Генетические алгоритмы, искусственные нейронные сети и проблемы виртуальной реальности / Г. К. Вороновский, К. В. Махотило, С. Н. Петрашев, С. А. Сергеев. – Х.: ОСНОВА, 1997. – 112 с.
4. Турчин В. Ф. Феномен науки. Кибернетический подход к эволюции. М.: Наука, 1993. 231 с.
5. Clement R., Wren A. Genetic Algorithms and Bus-Driver Scheduling. // Presented at the 6th International Conference for Computer-Aided Transport Scheduling. Lisbon. Portugal. 1993.

УДК 621.311.68

Прокопенко О.О., к.т.н., доц.,
Босенко О.А., студент,

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ У ВУЗЛІ НАВАНТАЖЕННЯ

В роботі розглянуто переваги та доцільність впровадження автоматизованої системи контролю якості електроенергії в трансформаторній підстанції, а також надано економічне обґрунтування.

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В УЗЛЕ НАГРУЗКИ

В работе рассмотрены преимущества и целесообразность внедрения автоматизированной системы контроля качества электроэнергии в трансформаторной подстанции, а также предоставлено экономическое обоснование.

AUTOMATED CONTROL SYSTEMS POWER QUALITY IN LOAD

We consider the benefits and feasibility of implementing an automated quality control system electricity transformer substation, and provided economic justification.

Вступ

У сучасних умовах спостерігається зростання встановленої потужності електроприймачів, що спотворюють якість електроенергії. Низька якість електроенергії призводить до збільшення як технічних, так і метрологічних втрат. Втрати електроенергії в електричних машинах неминучі. При цьому вони викликають небажані наслідки - такі як нагрів, вібрація, шум, і, отже - погіршення експлуатаційних характеристик, зниження надійності. Виходячи з цього, оцінка доцільності врахування додаткових втрат від низької якості електроенергії в електричних машинах актуальна в даний час [1].

Аналіз стану питання

Низька якість електроенергії негативно позначається на будь-якій системі електропостачання, так як зменшує її функціональну надійність і ефективність роботи. Один з таких проявів - недостовірний облік електроенергії, що призводить до виникнення значної метрологічної складової втрат; інший - виникнення додаткових технічних втрат електроенергії, зумовлених несинусоїдальністю і несиметрією напруги і струмів в елементах систем електропостачання.

Системи електропостачання зазвичай мають навіть в одному вузлі кілька джерел погіршення якості електроенергії. Їх режими змінюються випадковим чином. Все це викликає певні труднощі в розрахунку і аналізі втрат електроенергії, зумовлених низькою якістю електроенергії [2].

Метою роботи є впровадження автоматизованої системи контролю якості електроенергії в трансформаторній підстанції, задля:

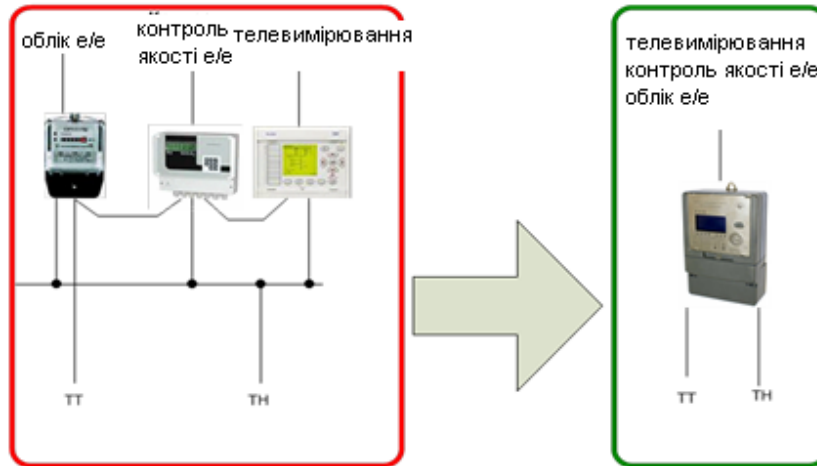
- Підвищення надійності електропостачання споживачів за рахунок розширення номенклатури контрольованих параметрів і підвищення спостережливості мереж;
- Приведення систем у відповідність до вимог нових стандартів в області автоматизації;
- Забезпечення вимог системного оператора щодо єдності вимірювань;
- Контролю договірних зобов'язань з постачальниками і споживачами електроенергії в частині якості і безперебійності електропостачання.

Методики, матеріали та результати досліджень.

В трансформаторній підстанції пропонується впровадити автоматизовану систему контролю якості електроенергії (АСКЯЕ).

Автоматизована система контролю якості електроенергії (АСКЯЕ) має ті ж властивості, що й автоматизована система контролю обліку, але в АСКЯЕ присутній аналізатор показників якості електроенергії [4] (рисунок 1).

Рисунок 1 –



Універсальна схема обліку

Технічні переваги:

- Забезпечення єдності вимірювань в системах обліку, контролю якості та диспетчерського управління;
- Скорочення комутацій вторинних ланцюгів і необхідного місця для розміщення обладнання на підстанції;
- Підвищення спостережливості мереж, можливість вимірювання понад 600 параметрів електропостачання в залежності від виникаючих вимог;
- Інформаційна сумісність із суміжними системами.

Економічні переваги:

- Низькі витрати на виробництво: вартість обладнання багатофункціонального комплексу істотно нижче сукупної вартості декількох функціонально розділених комплексів (обліку, телевимірювань, контролю якості);
- Низькі витрати на обслуговування: зниження трудовитрат на обслуговування, перевірку за рахунок використання меншої кількості і номенклатури засобів вимірювальної техніки; можливість централізованого контролю працездатності та конфігурації підстанційних приладів без виїздів персоналу на підстанцію;
- Забезпечення збереження вкладених інвестицій: можливість розширення функцій системи в залежності від нових вимог ринку без заміни підстанційних приладів.

Для економічного обґрунтування по встановленню автоматизованої системи контролю приймемо такі показники:

- Капітальні витрати на встановлення;
- термін окупності;
- Експлуатаційні витрати.

Таблиця 1 – Вихідні дані

Показник	АСКЯЕ
Капітальні витрати, грн.	70000
Експлуатаційні затрати, грн.	600
Нормативний термін окупності, рік	2

Експлуатаційні витрати підраховуються, виходячи з числа необхідних встановлюваних приладів обліку і обслуговування програмного забезпечення. Реалізація проекту АСКЯЕ передбачає встановлення замість індукційних приладів обліку електроенергії класу точності 2,0 - 2,5 на електронні класу точності 1,0, для мереж 0,4 кВ з вбудованим аналізатором показників якості електроенергії.

Одна з основних складових комерційних втрат зумовлена похибками вимірювань відпущеної електроенергії.

Межа відносної похибки вимірювального комплексу (ВК), з якої виключені систематичні похибки, при довірчій ймовірності 0,95 визначається за виразом 4.1:

$$\delta = \pm 1,1 \cdot \sqrt{\delta_i^2 + \delta_{оп}^2}; \quad (1)$$

де δ_i - межі допустимих значень відносної похибки трансформаторів струму і трансформаторів напруги, %;

$\delta_{оп}$ - межа допустимої основної похибки індукційного або електронного лічильників, %.

Значення допустимої відносної похибки вимірювального комплексу при установці індукційних і електронних лічильників складе:

- Для індукційних лічильників ($k_{ліч} = 2$);

$$\delta_{інд.найб.} = \pm 1,1 \cdot \sqrt{0,25^2 + 2^2} = 2,2\%;$$

$$\delta_{інд.найм.} = \pm 1,1 \cdot \sqrt{0,5^2 + 2^2} = 2,268\%;$$

$$\delta_{інд.сер.} = 2,23\%$$

- Для електронних лічильників ($k_{ліч} = 1$);

$$\delta_{ел.найб.} = \pm 1,1 \cdot \sqrt{0,25^2 + 1^2} = 1,1\%;$$

$$\delta_{ел.найм.} = \pm 1,1 \cdot \sqrt{0,5^2 + 1^2} = 1,23\%;$$

$$\delta_{ел.сер.} = 1,17\%$$

$$\delta = \delta_{інд.сер.} - \delta_{ел.сер.} = 2,23\% - 1,17\% = 1,06\%$$

Значення зниження комерційних втрат, зумовлених похибками вимірювального комплексу, складе за формулою 2:

$$\Delta W = \frac{\delta \cdot W_{заг.}}{100}; \quad (2)$$

де $W_{заг.}$ - сумарний обсяг електричної енергії, переданої через трансформаторну підстанцію, по електронним трифазним лічильникам, включеним в систему АСКЯЕ, за рік, кВт·год.

$$\Delta W = \frac{1,06 \cdot 2400000}{100} = 25440 \text{ кВт} \cdot \text{год};$$

Додаткові втрати потужності в трансформаторі від спотворень несиметрії і несинусоїдальності струмів і напруг (незадовільна якість електроенергії) визначаються за формулою 3:

$$\delta P_T = (k_2 \cdot U_2 + k_T \cdot \sum_{n=2}^{\infty} \frac{1 + 0,05 \cdot n^2}{n \cdot \sqrt{n}} \cdot U_n^2) \cdot \frac{S_{ном.тр.}}{10^{-4}}; \quad (3)$$

де k_2 і k_T - коефіцієнти спотворення (для трансформаторів $k_2 = 2,67$ і $k_T = 1,62$);

U_2 - напруга зворотної послідовності, %;

U_n - напруга n-ої гармоніки, %;

$S_{ном.тр.}$ - номінальна потужність трансформатора (800 кВА).

$$\delta P_T = (2,67 \cdot 0,03 + 1,67 \cdot \sum_{n=2}^{\infty} \frac{1 + 0,05 \cdot 5^2}{5 \cdot \sqrt{5}} \cdot 7^2) \cdot \frac{800}{10^{-4}} = 1,42 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

При проведенні спеціальних заходів з нормування показників якості електроенергії (для мереж 0,4 кВ здійснюється ПБЗ) зниження втрат потужності за формулою.4 проводиться за рахунок зниження напруги зворотної послідовності:

$$\Delta P_{U_2} = (U_{2н} - U_{2к}) \cdot k_2 \cdot \frac{S_{ном.тр.}}{10^{-4}}; \quad (4)$$

де $U_{2н}$ і $U_{2к}$ - напруга зворотної послідовності до і після регулювання (в даному випадку 3% і 1% відповідно).

$$\Delta P_{U_2} = (3-1) \cdot 2,67 \cdot \frac{800}{10^{-4}} = 2,14 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Зниження втрат за рахунок зниження рівнів вищих гармонік [3] визначається за формулою 5

$$\Delta P_n = (a \cdot (k_{нн} - k_{нк}) + b \cdot (k_{нн} - k_{нк})) \cdot k_T \cdot \frac{S_{ном.тр.}}{10^{-4}}; \quad (5)$$

де $k_{нн}$ і $k_{нк}$ - коефіцієнти гармонійних складових до і після регулювання (з даних коефіцієнт 5-ої гармоніки 6%, 7-ий гармоніки 4%, знижується до 2% і 1% відповідно); а і b - коефіцієнти вищих гармонік для трансформаторів рівні 0,19 (довідкові дані).

$$\Delta P_n = (0,19 \cdot (6^2 - 2^2) + 0,19 \cdot (4^2 - 1^2)) \cdot 1,67 \cdot \frac{800}{10^{-4}} = 1,44 \text{ кВт} \cdot \text{год};$$

Отже, при наявності аналізатора показників якості електроенергії є можливість для господарюючого суб'єкта своєчасно виявити низьку якість електроенергії та вжити необхідних заходів. Зниження сумарних додаткових втрат в трансформаторах за рахунок нормалізації незадовільних показників якості електроенергії дорівнює:

$$\sum P = \Delta P_T + \Delta P_{U_2} + \Delta P_n = 1,42 + 2,14 + 1,44 = 5 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Економічний ефект, який досягається за рахунок підвищення достовірності обліку, розраховується за виразом 6:

$$E = (\Delta W + T \cdot \sum P) \cdot (C + C'); \quad (6)$$

C - середній тариф купівлі електроенергії в звітному періоді ($C = 0,99$ грн/кВт·год);

C' - цінова складова вартості технічних втрат електроенергії за 1 Вт (вартість технічних втрат в середньому становить 2% від тарифу; $C' = 0,99 \cdot 0,02 = 0,02$);

$$E = (25440 + 8760 \cdot 5) \cdot (0,99 + 0,02) = 69932,4 \text{ грн.}$$

Експлуатаційні витрати на дану систему в рік (7):

$$B_{ерік} = B_E \cdot n, \quad (7)$$

де $B_{ерік}$ - експлуатаційні витрати на дану систему;

n - число місяців в році.

$$B_{ерік} = 600 \cdot 12 = 7200 \text{ грн.}$$

Підсумковий економічний ефект, який досягається за рахунок підвищення достовірності обліку за вирахуванням експлуатаційних витрат на дану систему:

$$E_{нідс.} = 69932,4 - 7200 = 62732,4 \text{ грн.}$$

Термін окупності розрахуємо за формулою (8):

$$T = \frac{K}{E_{нідс.}} \quad (8)$$

де K – капітальні затрати на систему:

$$T = \frac{70000}{62732,4} = 1,12 \text{ року.}$$

Висновки:

АСКЯЕ є проектом, що швидко окуповується. Установка системи забезпечує ряд технічних і економічних переваг:

- Проведення вимірювань в автоматичному режимі;
- Збір, обробку та зберігання результатів вимірювань, інформації про стан засобів вимірювальної техніки;
- Передачу отриманої інформації в енергозбутову компанію;
- Забезпечення режиму роботи розрахованого на багато користувачів з розмежуванням їхніх прав для отримання інформації енергозбутовою, мережевою компаніями і споживачами електроенергії;
- Значне скорочення часу, зусиль і витрат на інтеграцію;
- Полегшення створення додатків і їх подальшого технічного обслуговування на віддалених об'єктах.

Література

1. Шидловський А.К., Кузнецов В.Г. Підвищення якості електроенергії в системах електропостачання. / А.К. Шидловський - М.: Энергоатомиздат,-2007.
2. Куско А., Томпсон М. Якість електроенергії в електричних мережах./ М. Томпсон. - М.: Unity, - 2010.
3. Шидловський А.К., Жаркін А.Ф. Вищі гармоніки в низьковольтних електричних мережах. / А.К. Шидловський - М.: Энергетика,-2011.
4. www.ecocontinuum.ru - Інтеграційна система АСКЯЕ.

Іваник А.Є., науковий керівник к.т.н., доцент В.М.Калінчик

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»,
Інститут енергозбереження та енергоменеджменту, м. Київ, Україна

ПОБУДОВА ЛЮДИНО-МАШИННИХ ПРОЦЕДУР ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛІННЯ РЕЖИМАМИ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ

У статті представлена побудова людино-машинних діалогових процедур, заснованих на інтерактивній взаємодії енергодиспетчера з електронно обчислювальною машиною, що забезпечують узгодження рішень взаємопов'язаного комплексу завдань по управлінню режимами електроспоживання підприємств.

HUMAN-MACHINE OPERATIONAL PROCEDURES CONSTRUCTION OF INDUSTRIAL ENTERPRISES POWER CONSUMPTION MODE CONTROL

In the article the construction of man-machine dialogue procedures based on interactive communication power operator of electronic computers, providing coordination solutions interconnected complex tasks of managing power consumption modes companies.

Вступ. Контроль і підтримка параметрів режиму електроспоживання підприємства у встановлених енергопостачальною організацією межах здійснюється оперативно-диспетчерським персоналом служби головного енергетика підприємства. Граничні значення параметрів режиму електроспоживання встановлюються на максимальну активну електричну потужність підприємства в години максимуму енергосистеми, мінімальне і максимальне значення реактивної потужності підприємства. Підтримка даних параметрів в заданих межах здійснюється за критеріями мінімуму витрат для промислового підприємства. Крім оптимізації взаємодії промислових підприємств з енергосистемою, в рамках даного завдання

здійснюється мінімізація перетоків реактивної потужності (енергії) в електричній мережі підприємства і підтримання номінальних напруг на електроприймачах. В результаті забезпечується збільшення пропускної здатності електричної мережі і скорочення втрат активної енергії в ній.

Аналіз стану питання. Існуючі математичні методи не дозволяють впоратися з завданням без участі людини через неможливість точного опису предметної області. Тому її рішення здійснюється в діалоговому (інтерактивному) режимі особи, яка приймає рішення (ОПР) з електронно обчислювальною машиною (ЕОМ). Такий підхід до вирішення поставленого завдання надає ОПР, в якості якого виступає енергодиспетчер служби головного енергетика, можливість в інтерактивному режимі з ЕОМ змінювати (коректувати) алгоритм розв'язання задачі на будь-якому етапі його реалізації, а потім здійснювати перегляд отриманих рішень і вибір одного з них.

Мета роботи. Метою роботи є дослідження людино-машинних процедур взаємодії енергодиспетчера з вимірювально-обчислювальним комплексом для забезпечення своєчасного прийняття ефективних управлінських рішень в постійно мінливих умовах багатомовного виробництва.

Результати дослідження. Зберігання вихідних даних, необхідних для управління електроспоживанням промислових підприємств, і результатів вирішення завдань, використаних енергодиспетчером для прийняття рішень, здійснюється в базах даних індивідуального користування, що працюють під управлінням СУБД MSSQLServer і взаємодіючих з центральною базою даних, що забезпечує єдину інформаційну основу системи управління енергетикою підприємства.

Пропонується спосіб організації діалогової взаємодії енергодиспетчера і ЕОМ і вид представлення даних, що використовуються при управлінні електроспоживання промислових підприємств [1]. Інтерфейс користувача системи, зображений на рисунках 1 і 2, дозволяє працювати енергодиспетчеру в режимі оперативної візуалізації вироблених ЕОМ оптимізаційних рекомендацій з управління електроспоживання і передачі керуючих впливів на об'єкти управління підприємства.

Після активізації системи на екрані з'являється екранна форма з двома закладками: «Вихідні дані» і «Результати рішення». Одна з закладок знаходиться в активному стані.

Під час виклику закладки «Вихідні дані» (рис. 2) на екрані зверху з'являються вікна, в яких відображаються встановлені енергосистемою обмеження і фактичні, обчислені ЕОМ, значення з активного, реактивного навантаження і витрати електроенергії для підприємства. Як обмеження з активного навантаження в нормальних умовах функціонування промислового підприємства виступає заявлена ним максимальна потужність, що приймає участь в максимумі навантаження енергосистеми.

При нестачі генеруючої потужності енергосистемою можуть встановлюватися більш жорсткі обмеження з активного навантаження.

Электропотребление							
Исходные данные				Результаты решения			
Максимальная активная электрическая мощность предприятия (МВт)		Граничные значения реактивной электрической мощности промышленного предприятия (кВар)			Расход электрической энергии на предприятии за месяц (МВтч)		
Ограничение	Фактическая	Минимальное	Фактическое	Максимальное	Плановый	Фактический	
15,00	14,74	12,00	33,00	87,00	5150,00	4912,37	
Ущерб от изменения режима работы ПР электрической энергии (нормочасы)		Количество переключений электрической сети промышленного предприятия		Потери электрической энергии из-за перетоков реактивной мощности (кВт)		Расход электрической энергии на предприятии за сутки (МВтч)	
Минимальный	Назначаемый	Минимальное	Назначаемое	Минимальные	Назначаемые	Плановый	Назначаемый
123,10		1		1534,12		245,00	

Рис. 1 – Екранна форма для виведення вихідних даних

Обмеження реактивного навантаження підприємства можуть встановлюватися, виходячи з можливості отримання максимально можливих знижок в тарифі при генерації підприємством реактивної енергії в мережу енергосистеми в години великих навантажень електричної мережі і при споживанні реактивної енергії з мережі енергосистеми в години малих навантажень електричної мережі, якщо необхідність таких режимів роботи підприємства встановлена в договорі на електропостачання. Години великих і малих навантажень електричної мережі встановлюються енергопостачальною організацією індивідуально для кожного споживача електроенергії, виходячи з аналізу графіків реактивного навантаження споживача і мережі, з якої він отримує електроенергію. Всі обмеження можуть коригуватися з клавіатури ЕОМ.

У вікнах, розташованих нижче, відображаються мінімальні значення критеріїв зі збитку підприємства від регулювання активного навантаження (від переведення на знижений режим функціонування або відключення соживачів-регуляторів електроенергії), кількості переключень електричної мережі підприємства, втрат електроенергії через перетоки реактивної потужності в мережі і планова витрата електроенергії підприємства, що обчислюються ЕОМ, які виділяють область компромісних рішень (область Парето) багатокритеріальної задачі. Формування області Парето представляє собою формально-математичну частину рішення даної задачі.

Наступний етап вирішення завдання є концептуальним, що вимагає додаткової інформації, яка дозволила б визначити схему компроміса між критеріями. Даний етап виконується в діалозі людини з ЕОМ. При вирішенні задачі це здійснюється наступним чином.

Порожні вікна представляють собою позиції, в які необхідно ввести дані. Ці дані вводяться енергодиспетчером. Вони являють собою нові значення критеріїв, що забезпечують звуження області Парето, направленої на скорочення кількості допустимих рішень задачі. Зміна значень критеріїв здійснюється енергодиспетчером в діалозі з ЕОМ, який триває до отримання доступної для огляду кількості рішень задачі.

Під час виклику закладки «Результати рішення» (рис. 3.4) у верхньому вікні відображається загальна кількість отриманих рішень, а у вікні під ним - номер рішення.

При зміні номера рішення в цьому вікні відображаються відповідні до цього рішення результати:

- номери споживачів регуляторів, обраних для регулювання активного навантаження, і рівнів електричної мережі підприємства, яким вони належать;
- номери джерел реактивної потужності, розподілених в електромережі підприємства, і кількість рекомендованих до підключення в них секцій.

Після аналізу отриманих результатів рішень енергодиспетчером вибирається найбільш підходяще з них і через пристрої зв'язку з об'єктом відповідні цьому рішенню керуючі впливи (команди), передаються на об'єкти управління: споживачі регулятори активного навантаження підприємства і джерела реактивної потужності.

Потребители - регуляторы электрической энергии, режим работы которых изменяется (номер ПР / номер уровня электросети предприятия)	7/5	13/5	49/5	11/4		
Источники реактивной мощности, емкость которых изменяется (номер ИРМ / количество подключаемых секций)	17/2	23/3	37/1	42/4	47/3	56/5

Рис. 2 – Екранна форма для вибору результату вирішення задачі

До діалогу енергодиспетчера і ЕОМ пред'являються жорсткі вимоги по швидкодії - інакше інформація просто застаріє.

Висновки. Розглянутий спосіб діалогової взаємодії енергодиспетчера і ЕОМ забезпечує гнучкість, зручність і комфортні умови роботи енергодиспетчера з системою: наочність введення і можливість редагування вихідних даних, відображення результатів вирішення завдань. Діалоговий режим управління електроспоживання промислових підприємств підвищує якість управління, зводить до мінімуму помилки при управлінні. У цьому випадку успіх рішення завдання залежить не тільки від математичних моделей і методів, які використовуються, а й від кваліфікації енергодиспетчера і якості діалогової системи, як інтегрованого інструменту взаємодії енергодиспетчера з ЕОМ.

Література

1. Тюхматьев В.М. Построение человеко-машинного диалога по управлению электропотреблением промышленных предприятий / В.М.Тюхматьев, А.Ф.Резчиков, В.А. Иващенко // Проблемы точной механики и управления. Сб. науч. тр. Саратов, 2004. С. 127-130.

2. Редкозубов С.А. Статистические методы прогнозирования в АСУ / С.А.Редкозубов. М.: Энергоиздат, 1981.152 с.
3. Раяцкас Р.Л. Система моделей планирования и прогнозирования / Р.Л.Раяцкас. М.: Экономика, 1976. 286 с.
4. Иващенко В.А. Автоматизированные системы планирования электропотребления на промышленных предприятиях / В.А.Иващенко, А.Ф.Резчиков, В.М.Тюхматьев // Проблемы точной механики и управления. Сб. науч. тр. Саратов, 2004. С. 5-13

Верба М.

ВИДИ БІВАЛЕНТНИХ РЕЖИМІВ РОБОТИ

Вступ

Використання нетрадиційних та відновлюваних джерел енергії (НВДЕ) світова спільнота розглядає як один із найбільш перспективних шляхів вирішення зростаючих проблем енергозабезпечення. Наявність невичерпної ресурсної бази та екологічна чистота НВДЕ є визначальними їх перевагами в умовах вичерпання ресурсів органічного палива та зростаючих темпів забруднення довкілля.

Актуальність проблеми енергетичного забезпечення впливає із формування сучасних тенденцій на енергетичному ринку. Вагомими чинниками, які спрямовують вектори розвитку даної галузі, є інтенсивне вичерпання і стрімкий ріст цін на традиційні енергоресурси. Особливості енергозабезпечення об'єктів господарювання в умовах сьогодення потребують радикальних змін в напрямку розвитку і удосконалення альтернативних способів, методів і технічних пристроїв енергозабезпечення та енерговикористання.

Існуючі традиційні системи енергозабезпечення є централізованими, неефективними через конструктивну недосконалість чи нераціональну експлуатацію, а також шкідливими. Комплекс наявних проблем зумовлює інтенсивний розвиток альтернативного енергетичного напрямку, який в питаннях енергозабезпечення базується, як правило, на сумісному використанні традиційних та поновлювальних джерел енергії, оскільки системи побудовані виключно на відновлювальних джерелах мають погодно-кліматичну залежність та характеризуються добовими і сезонними змінами.

Розвиток та використання альтернативних та відновлювальних джерел енергії (вітрової і сонячної енергії, біопалива, тощо) є вагомим фактором для зміцнення енергетичної безпеки та зменшення негативного техногенного впливу на навколишнє природне середовище. Важливість розвитку альтернативної енергетики є очевидною, адже вона відіграє вирішальну роль у зменшенні парникових викидів, зниженні негативного впливу на довкілля, підвищує безпеку енергопостачання, допомагає зменшити залежність від імпорту енергії.

Бівалентний режим роботи теплового насосу. Види бівалентних режимів.

Комплекс наявних проблем зумовлює інтенсивний розвиток альтернативного енергетичного напрямку, який в питаннях енергозабезпечення базується, як правило, на сумісному використанні традиційних та поновлювальних джерел енергії, оскільки системи побудовані виключно на відновлювальних джерелах мають погодно-кліматичну залежність та характеризуються добовими і сезонними змінами.

Також майже завжди обирається обладнання з номінальною потужністю, яка покривала би пікове навантаження. Пікове навантаження - це максимальні значення активної, реактивної, повної потужності чи струму за певний період часу. Але таке навантаження не тримається завжди, а тільки короткі проміжки часу. Звідси виходить, що ми часто можемо переплатити за те чи інше обладнання, при його закупівлі тощо. Наприклад, тепловий насос не вигідно брати з потужністю, яка би покривала пікові

тепловтрати об'єкту.

Розглянемо декілька режимів роботи теплового насоса:

- моновалентний;
- бівалентний.

Моновалентний режим роботи теплового насоса

У моновалентному режимі, тепловий насос здатний повністю забезпечувати все теплове навантаження в будівлі. При цьому потужність теплового насоса повинна бути не менше ніж пікова потужність системи тепlopостачання. Так само необхідно щоб максимальна температура подачі теплового насоса була вище, ніж максимальна розрахункова температура в системі опалення і гарячого водопостачання. Температурний графік зображено на рис. 1

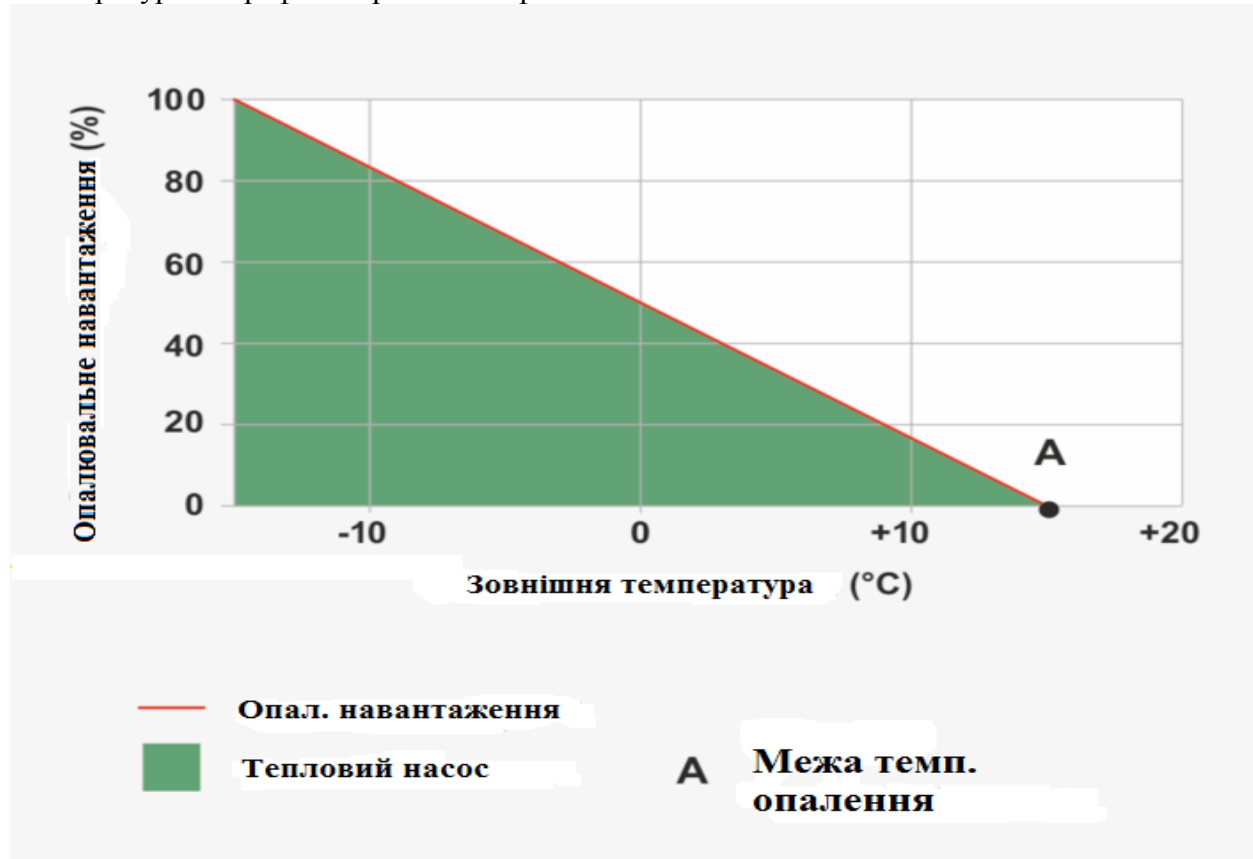


Рисунок 1 - Температурний графік моновалентного режиму теплового насоса

Даний режим роботи найбільш підходить для теплових насосів зі стабільною температурою низько потенційного джерела тепла (грунт, ґрунтові води, промислова утилізація тепла і т.д.) в поєднанні з низькотемпературною системою опалення (теплі підлоги, фанкойли і т.д.).

Незважаючи на те, що тепловий насос в моновалентному режимі повністю вирішує питання тепlopостачання в будівлі, істотним недоліком цього режиму є високі початкові капіталовкладення на обладнання.

Бівалентний режим роботи теплового насоса

Для підвищення рентабельності теплового насоса слід вибирати бівалентний режим роботи. Бівалентний режим має на увазі роботу теплового насоса в поєднанні з іншим нагрівальним приладом: газовим, електричним, твердопаливним котлом і ін. Вибір даного режиму може бути обумовлений також необхідністю подачі більш високої температури в систему опалення при низьких зовнішніх температурах повітря.

Пікова потужність системи опалення розраховується виходячи з найбільш холодної п'ятиденки в опалювальний сезон. На практиці такі низькі температури зустрічаються не часто і не довго. Протягом більшої частини сезону опалювальна система працює на рівні менше 50% від максимальної потужності (див. табл. 1)

Таблиця 1 - Температура в опалювальний сезон м. Київ

Температура зовнішнього повітря, °C	+6-10	+1-5	0	-9-1	-19-10	-27-20	Всього
Кількість годин	934	2002	468	1518	328	24	5274

У таблиці 1 показано середня кількість годин з різними температурними діапазонами за опалювальний період для м. Київ. Середня температура за опалювальний сезон +1,1 °C. Кількість годин з температурою менше -10 °C становить не більше 7%. Отже, підібравши пікову потужність теплового насоса, наприклад на температуру -10 °C, можливо скоротити початкові витрати на тепловий насос, додаткове обладнання та монтажні роботи на 30-40% при цьому забезпечити до 93% потреб на тепlopостачання (див. рис.2)



Рисунок 2 – Потужність теплового насосу

В даному прикладі температура -10 °C називатися температурою (точкою) бівалентності. При температурах нижче точки бівалентності тепловий насос може відключатися або працювати в парі з додатковим джерелом тепла, але при цьому не покривати всю потребу в теплі. У зв'язку з цим, існує три види бівалентного режиму роботи теплового насоса:

1. бівалентний альтернативний
2. бівалентний допоміжний
3. бівалентний комбінований

Тепловий насос в **альтернативному режимі** забезпечує повне теплове навантаження будівлі поки не досягне точки бівалентності. Після цього він відключається, а все навантаження бере на себе допоміжний теплогенератор, який забезпечує необхідний температурний графік (рис. 3).

Додаткове джерело тепла розраховується на максимальну теплове навантаження. Найчастіше такий режим зустрічається, коли в якості допоміжного

нагрівача виступає твердопаливний котел або камін з водяною сорочкою.

При **допоміжному режимі** роботи тепловий насос так само повністю забезпечує теплове навантаження до точки бівалентності, однак при досягненні точки він не вимикається, а працює в парі з додатковим теплогенератором (рис. 4).

Функція допоміжного теплогенератора полягає в забезпеченні відповідного температурного режиму після температури бівалентності. У такому випадку потужність додаткового джерела нагрівання може вибиратися виходячи з недостатньої потужності пікового навантаження. А потужність теплового насоса підбирається для точки бівалентності. Найчастіше це може бути невеликий електронагрівач.

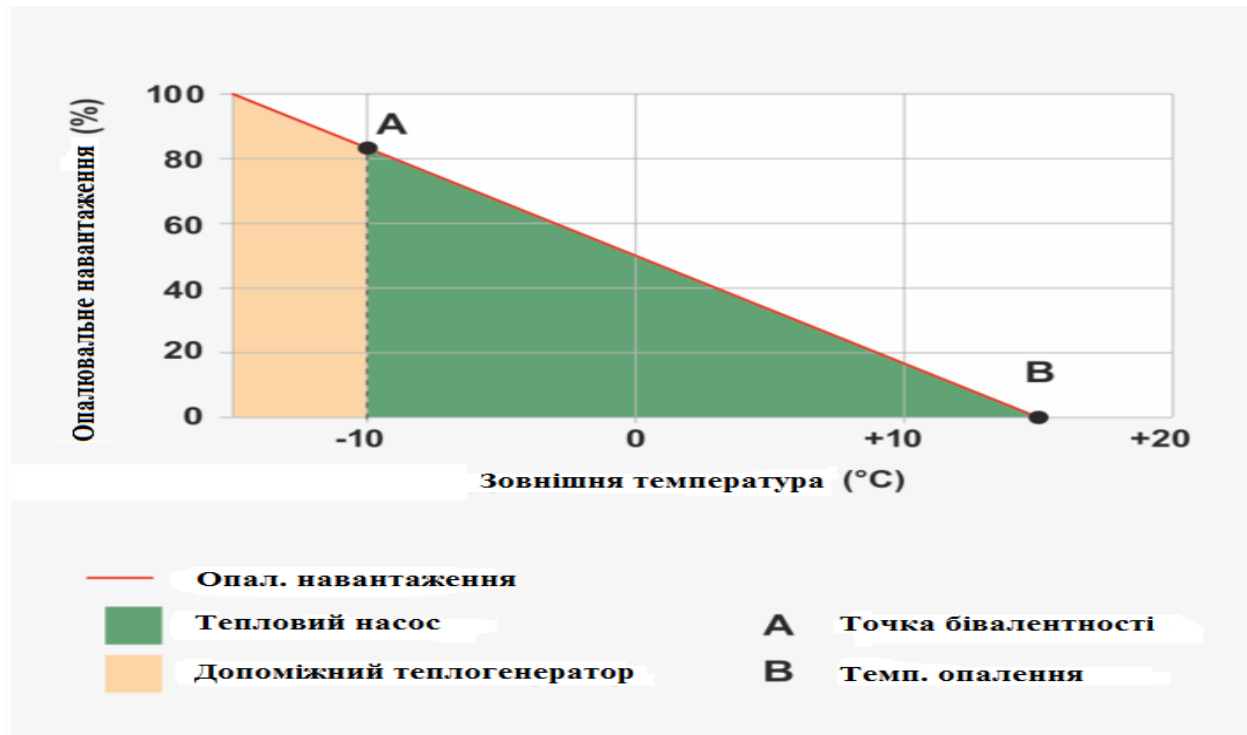


Рисунок 3 - Бівалентний альтернативний режим роботи теплового насоса

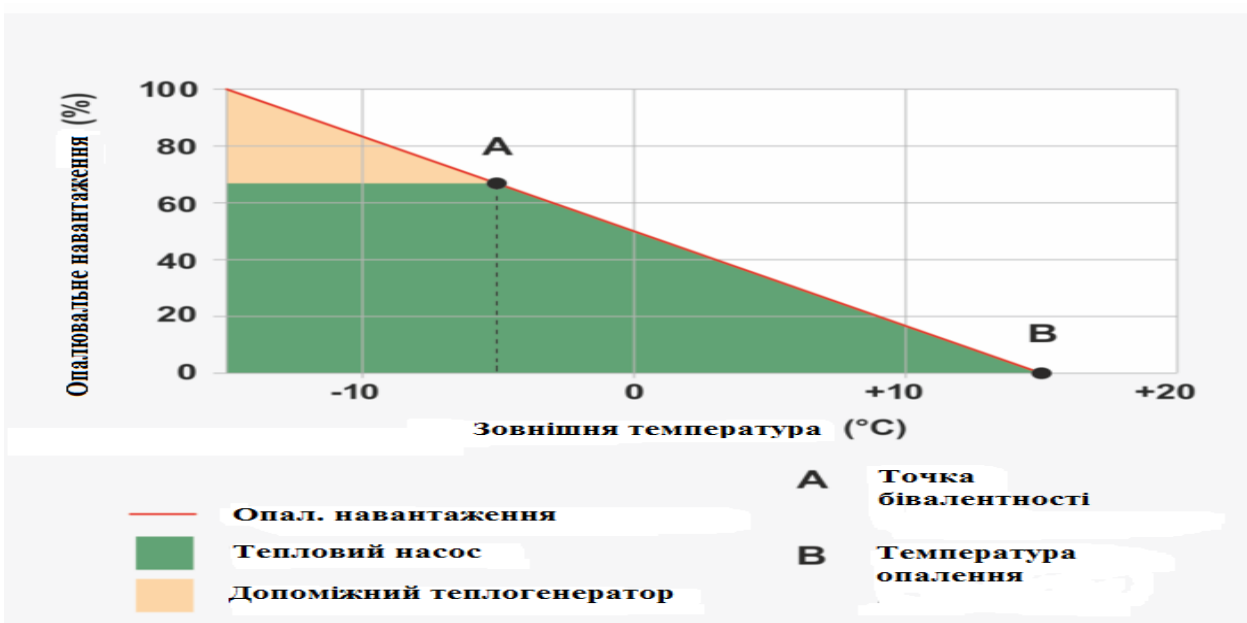


Рисунок 4 - Бівалентний допоміжний режим роботи теплового насоса

Комбінований режим поєднує в собі характеристики попередніх режимів роботи теплового насоса. При досягненні точки бівалентності тепловий насос не

відключається, а працює паралельно з допоміжним теплогенератором до мінімальної можливої температури повітря (рис. 5).

Такий режим, як правило, відповідає роботі теплового насоса повітря-вода. При низьких негативних температурах продуктивність теплового насоса значно падає, а доцільність його роботи різко знижується або зовсім компресор не здатний видавати тепло. В такому випадку в графіку додається точка відключення теплового насоса. Потужність допоміжного теплогенератора повинна бути, як в альтернативному режимі, розрахована на пікову теплове навантаження.

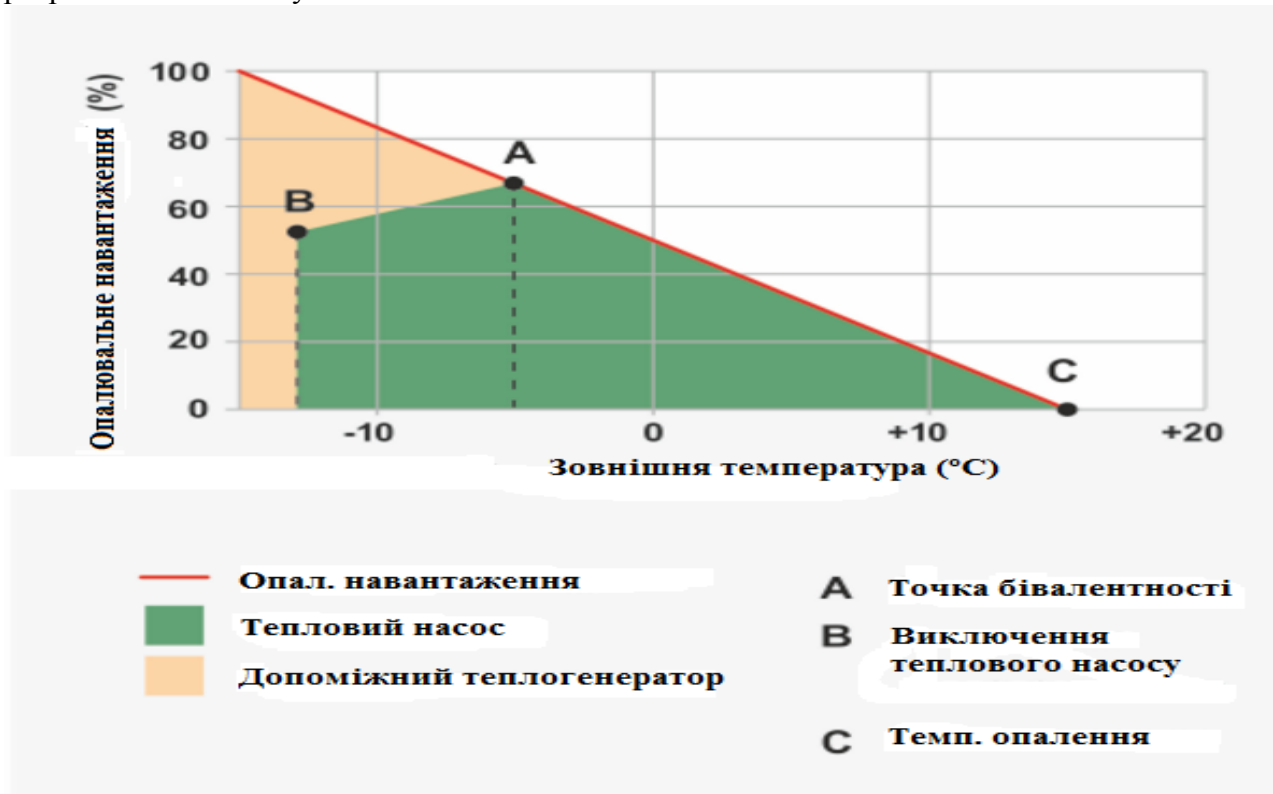


Рисунок 5 - Бівалентний комбінований режим роботи теплового насоса

Потужність теплового насосу

Оптимальним вважається підбір потужності теплового насоса 60-70% від номінальної потужності теплопостачання будівлі. При цьому тепловий насос, як основне джерело теплопостачання, працюючи в бівалентному режимі може забезпечувати до 90-95% необхідного тепла. На практиці найбільш поширеними є допоміжний і комбінований бівалентний режим роботи теплового насоса. Точка бівалентності може бути різною в залежності від типу опалювальної системи і типу теплового насоса.

УДК 621.316.1

Сподинська А.В., студ., Степанель Я.І., студ., науковий керівник Попов В.А., д.т.н., доц., Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОГО МІСЦЯ РОЗТАШУВАННЯ ДЖЕРЕЛ РОЗОСЕРЕДЖЕНОЇ ГЕНЕРАЦІЇ ЗА ДОПОМОГОЮ МЕТОДІВ БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНОГО ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ

Розроблено механізм комплексної оцінки альтернативних варіантів впровадження джерел розосередженої генерації для отримання оптимального рішення.

Розглянуто можливість використання різних методів багатокритеріального прийняття рішень та проаналізована стійкість отриманих рядів ранжування альтернативних варіантів.

The mechanism of comprehensive evaluation of alternatives of distributed generation sources integration is developed.

The possibility of using different methods of multicriteria decision-making and analysis of stability of alternative ranking is briefly discussed.

Вступ. В наш час мала енергетика відіграє важливу роль у формуванні енергетичного балансу більшості індустріально розвинених країн світу. Як вказано у матеріалах ряду міжнародних агентств, за останні роки частка введених потужностей малої енергетики зрівнялась, а в деяких країнах і перевищила темпи розвитку централізованої генерації. Доцільність та ефективність даної стратегії розвитку енергетики підтверджена не тільки численними дослідженнями, але й достатньо широким практичним досвідом.

Україна, як ніяка інша країна, зацікавлена у кардинальному підвищенні ефективності своєї енергетичної галузі, що не тільки повинно сприяти забезпеченню її енергетичної незалежності, але й, по суті, є найважливішою складовою національної безпеки. Разом з тим, впровадження розосередженої генерації просувається в нашій країні дуже повільно. Значну роль у даній ситуації відіграє відсутність адекватного законодавчого забезпечення і обґрунтованих технічних регламентів підключення джерел розосередженої генерації до електричних мереж. В даних умовах енергокомпанії достатньо негативно відносяться до можливості появи в їх структурі генеруючих джерел. Це пояснюється як комерційними міркуваннями, так і побоюванням, що не контрольована генерація ускладнить оперативно-диспетчерське керування електричними мережами, спровокує погіршення їх режимних показників. Наслідком цього є видача в багатьох випадках необґрунтовано ускладнених технічних вимог на приєднання джерел розосередженої генерації до мереж енергокомпаній, що остаточно відлякує потенційних інвесторів.

Завдання та мета дослідження. Як показують багаточисленні дослідження, аргументоване застосування розосередженої генерації позитивно впливає на широкий спектр техніко-економічних показників роботи енергокомпаній і тому може представляти для них безсумнівний інтерес. У зв'язку з цим метою даної роботи є розробка і аналіз механізму комплексної оцінки альтернативних варіантів впровадження джерел розосередженої генерації з метою обґрунтування рішення, яке являє найбільший інтерес одночасно як для можливих інвесторів, так і для енергокомпаній в якості впливу на режими електричних мереж.

Очевидно, що джерела розосередженої генерації навіть відносно невеликої потужності в більшій чи меншій мірі впливають на умови роботи розподільних мереж і,

в першу чергу, на такі характеристики як втрати потужності та електричної енергії, режим напруг, надійність електропостачання. При цьому очевидно, що у загальному випадку, довільно розміщенні в електричних мережах генеруючі джерела можуть як покращити, так і погіршити всі, або, щонайменше, окремі з вищевказаних показників.

Враховуючи вищевказане можна зробити висновок, що прийняття рішення відносно оптимального варіанту застосування засобів розосередженої генерації повинно формуватись в результаті реалізації процедури багатокритеріального порівняння альтернатив. При цьому незалежно від того, яким чином буде оцінюватись вплив генеруючих джерел на якість електричної енергії і надійність електропостачання, методи, які використовуються для даної мети, повинні враховувати різну фізичну природу і розмірність критеріїв, що використовуються. В даній роботі для вирішення задачі вибору оптимального варіанту інтеграції в розподільні мережі джерел розосередженої генерації з врахуванням їх впливу на втрати електричної енергії (які вимірюються у кВт·год), режим напруги (якість якого визначається експертним шляхом у балах) та надійність електропостачання (яка оцінюється необхідним об'ємом інвестицій для забезпечення нормованого рівня надійності) розглядається можливість використання трьох методів багатокритеріального прийняття рішень: VIKOR, TOPSIS та алгоритм Беллмана-Заде [1].

Теоретичне обґрунтування досліджень. Вказані методи об'єднує те, що всі вони визначаються оптимальну альтернативу на основі оцінки відстані до так званого ідеального рішення, але при різноманітній інтерпретації даного показника.

Згідно методу VIKOR [2] компромісне рішення задачі повинно представляти собою альтернативу, яка найбільш близька до ідеального рішення. Обчислювальна процедура методу VIKOR зазвичай представляється такою послідовністю операцій:

- визначаємо найкраще і найгірше значення всіх розглянутих цільових функцій f_i^+ і f_i^- , $i = 1, \dots, m$;
- обчислюємо показник S_j , який характеризує максимальну групову корисність, R_j – що відображає рівень індивідуальних втрат і узагальнену характеристику Q_j , $j = 1, \dots, m$ на основі виразу

$$Q_j = \begin{cases} \frac{R_j - R^+}{R^- - R^+}, & \text{якщо } S^+ = S^- \\ \frac{S_j - S^+}{S^- - S^+}, & \text{якщо } R^+ = R^- \\ \left[\nu \frac{(S_j - S^+)}{(S^- - S^+)} + (1-\nu) \frac{(R_j - R^+)}{(R^- - R^+)} \right] & \text{– в інших випадках;} \end{cases}$$

- формується послідовність альтернатив у відповідності зі зменшенням значень відповідно S , R і Q на основі чого і визначається оптимальне рішення.

Метод багатокритеріального аналізу (ранжування) альтернатив TOPSIS [3] на відміну від VIKOR крім оцінки відстані від розглянутої альтернативи до ідеального рішення, одночасно враховує і відстань до найгіршого рішення. Відповідний алгоритм вирішення задачі будується наступним чином:

- формується нормалізована матриця рішень v_{ij} ;
 - визначаємо ідеальне (A^+) і найгірше (A^-) рішення;
 - обчислюємо міру розбіжності кожної альтернативи з ідеальним рішеннями;
- $$D_j^+ = \sqrt{\sum_{i=1}^n (v_{ij} - v_i^+)^2}, \quad j = 1, \dots, m \quad \text{і} \quad \text{найгіршим} \quad D_j^- = \sqrt{\sum_{i=1}^n (v_{ij} - v_i^-)^2}, \quad j = 1, \dots, m$$

- знаходимо показник відносної близькості альтернатив до ідеального рішення

$$C_j^* = \frac{D_j^-}{D_j^+ + D_j^-};$$

- з метою визначення найкращого компромісного рішення задачі впорядковуємо альтернативи в порядку спадання параметра C_j^* .

Згідно підходу Беллмана-Заде [5] до вирішення багатокритеріальних задач, першочергово кожна цільова функція замінюється нечіткою функцією або нечіткою множиною

$$A_k = \{X, \mu_{A_k}(x)\}, \quad x \in L, \quad k = 1, \dots, q,$$

де $\mu_{A_k}(x)$ – функція належності нечіткої множини A_k , L – область допустимих рішень.

В цьому випадку нечітке рішення D формується на основі використання деякого оператора агрегування, зокрема, використовуючи операцію мінімізації. Тоді оптимальне рішення визначається у відповідності з умовою

$$x^* = \arg \max_{x \in P} \min_{k=1, \dots, q} \mu_{A_k}(x),$$

де P – область компромісів (область Парето).

Результати експериментальних розрахунків. В таблиці 1 представлені 10 альтернативних варіантів підключення джерел розосередженої генерації до електричних мереж середньої напруги. Кожний з варіантів характеризується трьома показниками: величина втрат електричної енергії в розподільних мережах і мережах 110 кВ енергосистеми (ΔA); експертною бальною шкалою, яка характеризує якість електричної енергії (режим напруг) після підключення джерел розосередженої генерації і відповідної адаптації до даних умов параметрів засобів регулювання напруги (K); об'ємом інвестицій, необхідним для забезпечення нормованого рівня надійності після інтеграції засобів розосередженої генерації в електричні мережі (I)

Таблиця 1

Характеристики альтернативних варіантів інтеграції джерел розосередженої генерації в електричні мережі

№ варіанту	Втрати електричної енергії, МВт · год (ΔA)	Експертна оцінка якості електричної енергії (K)	Витрати для забезпечення нормованого рівня надійності, млн. грн. (I)
1	14,4	3	1,0
2	10,0	6	1,8
3	16,0	2	1,2
4	24,4	4	2,1
5	11,6	8	2,0
6	14,0	3	1,5
7	20,0	6	0,3
8	17,2	7	0,6
9	26,0	9	2,5
10	18,0	4	1,8
f^*	10,0	9	0,3
f^-	26,0	2	2,5

Згідно методу VIKOR [2] компромісне рішення задачі повинно представляти собою альтернативу, котра найбільш близька до ідеального рішення. При цьому для оцінки міри близькості альтернативи до ідеального рішення служить багатокритеріальна міра, основана на L_p - метриці, котра була запропонована раніше в методах компромісного програмування [3].

У таблиці 2 приведені результати проведених розрахунків згідно методу VIKOR.

Таблиця 2

Розрахунок згідно методу VIKOR

№ варіанту	S	R_1	R_2	R_3	R	Q
1	0,483	0,092	0,285	0,106	0,285	0,553
2	0,37	0	0,143	0,228	0,228	0,288
3	0,594	0,125	0,333	0,137	0,333	0,789
4	0,811	0,3	0,238	0,273	0,3	0,908
5	0,339	0,033	0,048	0,258	0,258	0,34
6	0,551	0,083	0,285	0,182	0,285	0,618
7	0,351	0,208	0,143	0	0,208	0,217
8	0,291	0,15	0,095	0,046	0,15	0
9	0,667	0,333	0	0,334	0,334	0,862
10	0,632	0,167	0,238	0,228	0,238	0,567
S^+, R^+	0,291				0,145	
S^-, R^-	0,811				0,334	

Таблиця 3

Ранжування альтернатив згідно методу VIKOR

Критерії	Ранжування альтернатив (місця)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Q	8	7	2	5	1	10	6	3	9	4
S	8	5	7	2	1	6	3	10	9	4
R	8	7	2	10	5	6	1	4	3	9

Метод багатокритеріального аналізу (ранжування) альтернатив TOPSIS [4] на відміну від VIKOR окрім оцінки відстані від розглядуваної альтернативи до ідеального рішення, одночасно враховує і відстань до найгіршого рішення. При цьому компроміс при виборі оптимальної альтернативи базується на тому, щоб вибране рішення одночасно було максимально близьким до ідеального рішення і в найбільшій мірі віддалене від найгіршого рішення.

У таблиці 4 приведені результати проведених розрахунків згідно методу TOPSIS.

Таблиця 4

Результати розрахунку згідно методу TOPSIS

№ варіанту	D_j^+	D_j^-	C_j^*
1	0,123	0,121	0,495
2	0,113	0,129	0,533
3	0,147	0,103	0,412
4	0,172	0,046	0,212
5	0,113	0,144	0,561
6	0,138	0,098	0,415
7	0,081	0,165	0,67
8	0,06	0,163	0,732

9	0,172	0,13	0,431
10	0,143	0,075	0,346

Таблиця 5

Ранжування альтернативних варіантів згідно методу TOPSIS

Критерій	Ранжування альтернатив (місця)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
C_j^*	8	7	5	2	1	9	6	3	10	4

Алгоритм Беллмана-Заде також в певній мірі пов'язаний з оцінкою міри близькості кожного з альтернативних рішень відносно ідеального рішення, оскільки оптимальне рішення в даному випадку повинно відповідати вимозі одночасного максимального задоволення всіх цілей [5].

Таблиця 6

Розрахунки згідно методу Беллмана-Заде

№ варіанту	$\mu(\Delta A)$	$\mu(K)$	$\mu(I)$	μ_D
1	0,725	0,143	0,682	0,143
2	1,0	0,571	0,318	0,318
3	0,625	0	0,591	0
4	0,1	0,286	0,182	0,1
5	0,9	0,857	0,227	0,227
6	0,75	0,143	0,455	0,143
7	0,375	0,571	1,0	0,375
8	0,55	0,714	0,864	0,55
9	0	1,0	0	0
10	0,5	0,286	0,318	0,286

Таблиця 7

Ранжування альтернатив згідно методу Беллмана-Заде

Критерій	Ранжування альтернатив (місця)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
μ_D	8	7	2	10	5	1	6	4	3	9

Висновки. Отримані результати свідчать про високу ступінь стабільності складу найкращих варіантів застосування розосередженої генерації, котрі були отримані внаслідок застосування різних методів багатокритеріального прийняття рішень (у всіх випадках в число найбільш оптимальних потрапляють варіанти 8, 7, 2, 5). Даний факт збільшує обґрунтованість вибору оптимального рішення. Окрім того необхідно відмітити наступне. Із розглянутих методів багатокритеріального прийняття рішень тільки метод Беллмана-Заде має теоретично доведене обґрунтування, що отримане при його застосуванні оптимальне рішення автоматично належить області Парето. Відповідно дані результати дають непрямий доказ того, що і отримані при використанні методів VIKOR і TOPSIS оптимальні рішення належать області Парето, що підтверджує їх обґрунтованість.

Бібліографічний список

1. Многокритериальная оценка альтернативных вариантов интеграции источников распределенной генерации в распределительные сети / А. Ф. Жаркин, В. А.

Попов, П. А. Замковой [и др.] // Электронное моделирование. – 2016. – Т. 38, № 1. – С. 25 – 29.

2. Opricovic S. Multi-criteria optimization of civil engineering systems / Serafim Opricovic. – Belgrade: Faculty of Civil Engineering, 1998. – 302 p.

3. Yu P.L. A Class of Solutions for Group Decision Problems / P.L. Yu // Management Science. – 1973. – V. 19, №8. – P.P. 936 – 946.

4. Hwang C-L. Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications A State of Art Survey / C-L. Hwang, K. Yoon – Berlin, Heidelberg, N.Y.: Springer-Verlag, 1981. – 270 p. – (Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems; V. 186).

5. Bellmann R.E. Decision – making in a fuzzy environment / R.E. Bellmann, L.A. Zadeh // Management Science. – 1970. – V. 17, №4. – P.P. 141 – 164.

УДК 621.311.001.57(063)

О.О. Закладний, канд. техн. наук, доцент,

С.Л. Прядко ст. викладач, **Є. Г. Брижіцький**, студент

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

ПРОГНОЗУВАННЯ ЗАЛИШКОВОГО РЕСУРСУ АСИНХРОННИХ ДВИГУНІВ

Строк служби асинхронного двигуна значною мірою визначається якістю ізоляції його обмоток. Головним чинником, який впливає на термін служби ізоляції, є її робоча температура. Найчастіше застосовується розрахунок нагрівання за експонентою, тобто представлення моделі двигуна диференціальним рівнянням теплового стану. Найдоцільнішим є підхід, у якому розрахунок поточної температури здійснюється за фактичними втратами в двигуні. Математичне моделювання та експериментальна перевірка підтвердила адекватність такого підходу до прогнозування залишкового ресурсу асинхронних двигунів

Ключові слова: залишковий ресурс, асинхронний двигун, прогнозування, теплова модель.

The service life of the induction motor is largely determined by the quality of its insulation windings. The main factor that will affect the life of insulation is its operating temperature. Often used calculations heating exponentially, ie presentation engine model differential equation thermal state. Is the most appropriate approach in which the current temperature calculation performed by the actual losses in the engine. Mathematical modeling and experimental verification confirmed the adequacy of this approach to predicting the residual life of asynchronous motors

Keywords: life remaining, induction motor, forecasting, thermal model.

Вступ. Одним з методів дослідження теплових процесів асинхронних двигунів (АД) є метод еквівалентних теплових схем заміщення [1, 2]. Теплові процеси в двигуні описуються системою диференціальних рівнянь

$$C \frac{d\tau}{dt} + \Lambda \tau = P, \quad (1)$$

де $\mathbf{C}$ – вектор-стовпець теплоємностей вузлів двигунів, $\mathbf{\tau}$ – вектор-стовпець перевищення температури відповідних вузлів над температурою довкілля, $\mathbf{A}$ – матриця теплопровідностей вузлів, $\mathbf{P}$ – вектор втрат потужності у вузлах АД.

Спрощено рівняння (1)

$$\begin{cases} \frac{d\Delta\tau_m}{dt} = \frac{1}{C_m} [\Delta P_m - A_m \Delta\tau_m - A_{mst}(\Delta\tau_m - \Delta\tau_{st})] \\ \frac{d\Delta\tau_{st}}{dt} = \frac{1}{C_{st}} [\Delta P_{st} - A_{st} \Delta\tau_{st} - A_{mst}(\Delta\tau_m - \Delta\tau_{st})] \end{cases} \quad (2)$$

де $\Delta\tau_m, \Delta\tau_{st}$ – перевищення температури міді й сталі над температурою довкілля; ΔP_m – втрати потужності в міді; C_m, C_{st} – теплоємність міді й сталі; A_m, A_{st} – тепловіддача міді й сталі в довкілля; A_{mst} – теплопередача між міддю і сталлю [3].

Аналіз стану питання. Для розрахунків за наведеною системою рівнянь необхідно визначити початкові параметри моделі – теплоємність і коефіцієнти тепловіддачі, що не завжди можливо. Для цього потрібні такі параметри міді, як середня довжина витків, їх кількість, діаметр дроту, а також геометричні розміри сталі.

Найчастіше застосовується розрахунок нагрівання за експонентою, тобто представлення моделі двигуна диференціальним рівнянням теплового стану

$$\frac{d\Delta\tau}{dt} = \frac{1}{C} [\Delta P - A\Delta\tau], \quad (3)$$

де $\Delta\tau$ – перевищення температури АД над температурою довкілля у разі синусоїдальної напруги живлення; ΔP – «гріючі» втрати потужності в двигуні, $\Delta P = \Delta P_\Sigma - K$; C, A – теплоємність та тепловіддача відповідно, ΔP_Σ – повні втрати потужності в АД, K – постійні втрати потужності в АД.

У моделі (3) прийнято стандартні припущення: двигун розглядається як однорідне тіло з нескінченно великою теплопровідністю і однаковою температурою в усіх своїх точках; тепловіддача в зовнішнє середовище пропорційна різниці температур двигуна й довкілля; навколишнє середовище має нескінченно велику теплоємність, тобто у процесі нагрівання двигуна температура середовища не змінюється; теплоємність і тепловіддача двигуна не залежать від його температури.

Криві нагрівання за моделями (2) і (3) зображено на рис. 1.

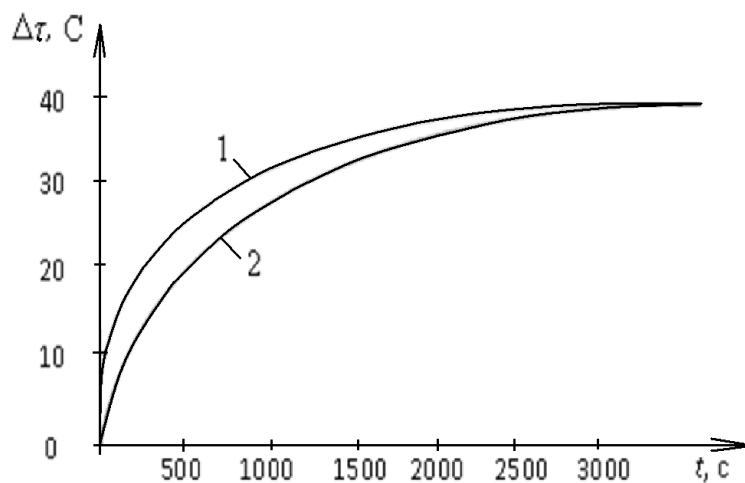


Рис. 1 Криві нагрівання АД за моделями: 1 - (4.2); 2 - (4.3)

Мета роботи: вдосконалити модель прогнозування залишкового ресурсу АД, яка дозволяє оцінювати скорочення строку служби у залежності від режиму навантаження і додаткових втрат, зумовлених несиметрією та несинусоїдальністю напруги, та експериментально перевірити її адекватність.

Методики, матеріали і результати досліджень Існує кілька підходів до визначення усталеного перевищення температури обмотки статора [4]. Їх недоліком є

неврахування параметрів конкретного АД, використання специфічних величин (діаметри розточування і зовнішній діаметр сердечника статора), коефіцієнта номінальних втрат в двигуні, тоді як він не завжди працює в номінальному режимі. Найдоцільнішим є підхід, у якому розрахунок поточної температури здійснюється за фактичними втратами в двигуні.

У придатній для реалізації в цифровому пристрої різницевої формі рівняння (3) має вигляд [3]

$$\Delta\tau_k = \Delta\tau_{k-1} + \frac{\Delta h}{c} [\Delta P - A\Delta\tau_{k-1}], \quad (4)$$

де $\Delta\tau_k$ - перевищення температури в k -й момент часу; $\Delta\tau_{k-1}$ - перевищення температури в $(k-1)$ -й – момент часу; Δh - крок розрахунку.

Розрахунок тепловіддачі здійснюється для усталеного номінального режиму роботи двигуна $A = \Delta P_H / \tau_H$, де τ_H - усталене значення перевищення температури двигуна в номінальному режимі роботи [3].

Згідно [5], сталі нагрівання обмоток статора і ротора відповідно

$$T = \frac{150\Delta\tau_H}{j_H^2}, \quad T_p = \frac{T}{2},$$

де j_H - густина струму в обмотці статора за номінального навантаження.

У формулі (4) $\Delta P = V_1 + V_2 + \Delta P_{1H}k_{3I}^2 + \Delta P_{НСМ} + \Delta P_{НС}$, де V_1, V_2 – змінні втрати в статорі та роторі АД, $\Delta P_{НСМ}, \Delta P_{НС}$ – додаткові втрати в АД від неякісної напруги живлення. Таким чином, ураховуються всі втрати, у т. ч. від несиметрії та несинусоїдальності напруги.

Рівняння (4) можна переписати, як

$$\Delta\tau_k = \Delta\tau_{k-1} + \frac{\Delta h}{T_H} \left[\frac{(V_1 + V_2 + \Delta P_{1H}k_{3I}^2 + \Delta P_{НСМ} + \Delta P_{НС})\Delta\tau_{i3}}{\Delta P_H} - \Delta\tau_{k-1} \right]. \quad (5)$$

На рис. 2 наведено результати моделювання кривих нагрівання і охолодження за рівнянням (5), а також експериментальна крива з [4].

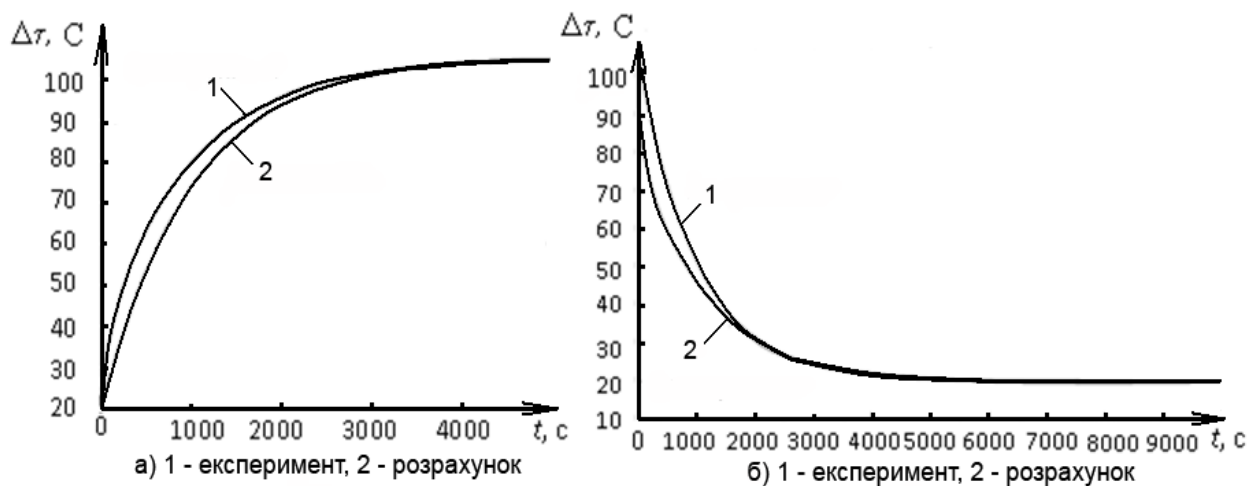


Рис. 2 Експериментальні та розрахункові криві нагрівання (а) й охолодження (б) АД

Існує значна кількість моделей експлуатаційної надійності двигунів [6]. Практичне їх застосування викликає суттєві труднощі, пов'язані з визначенням параметрів моделей, для яких потрібні додаткові дані або експерименти.

Якщо АД працює з незмінною температурою ізоляції, оцінити швидкість процесу її старіння або залишковий ресурс машини порівняно нескладно. Відомі залежності, які пов'язують термін придатності ізоляції даного класу з певним сталим рівнем температури протягом строку служби АД. Для ізоляції класу А є правило «восьми градусів» (правило Монтзігера) [1, 6, 7].

Термін придатності ізоляції АД, який працює зі сталим навантаженням (рис. 3)

$$Z = ce^{-b\tau},$$

де c і b – сталі коефіцієнти для даного виду ізоляції.

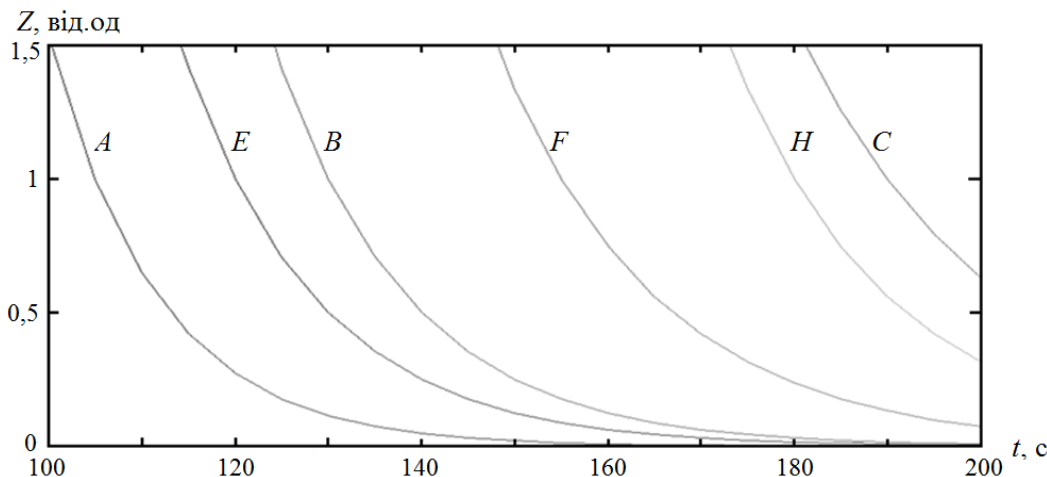


Рис. 3 Залежність відносного значення строку придатності ізоляції від її температури для різних типів ізоляції

Залишковий ресурс АД

$$Z = Z_{\text{поч}} e^{-b\Delta\tau}, \quad (6)$$

де $Z_{\text{поч}}$ - початковий ресурс ізоляції.

Модель (6) ураховує лише теплове старіння, а під час роботи АД ізоляція зазнає ще й електричного і механічного впливу. Можна припустити, що насправді її руйнування внаслідок пробою відбудеться значно раніше.

Якщо температура τ змінюється у часі t , тобто графік електричного навантаження змінний, строк служби ізоляції

$$Z = c \int_0^t e^{-b\tau} dt.$$

Для перевірки достовірності моделі (5, 6) для розрахунку залишкового ресурсу АД виконано експериментальне дослідження методом прискореного експерименту. Здійснено вимірювання параметрів (струмів, напруг і температури) АД типу 4A90LB8Y3 ($P_H = 1,1$ кВт, $n_H = 750$ об/хв, $U_H = 380$ В, $\eta_H = 70\%$, $\cos\phi_H = 0,68$), прогнозування залишкового ресурсу та його порівняння з експериментально встановленим. Дослідження здійснено в умовах послідовного збільшення навантаження до 150% з дискретністю приблизно 5% та витримування на кожному рівні навантаження протягом однієї години (рис.4, а).

Результат прогнозування вказав (рис. 4б, в) на те, що АД повинен вийти з ладу в кінці 11 години роботи за даних умов експерименту. Фактично відмова двигуна відбулась в кінці 13 години. Відносна похибка прогнозування залишкового ресурсу за

експериментом, обумовлена неточністю визначення початкового ресурсу та похибкою власне моделі старіння ізоляції, не перевищує 20%.

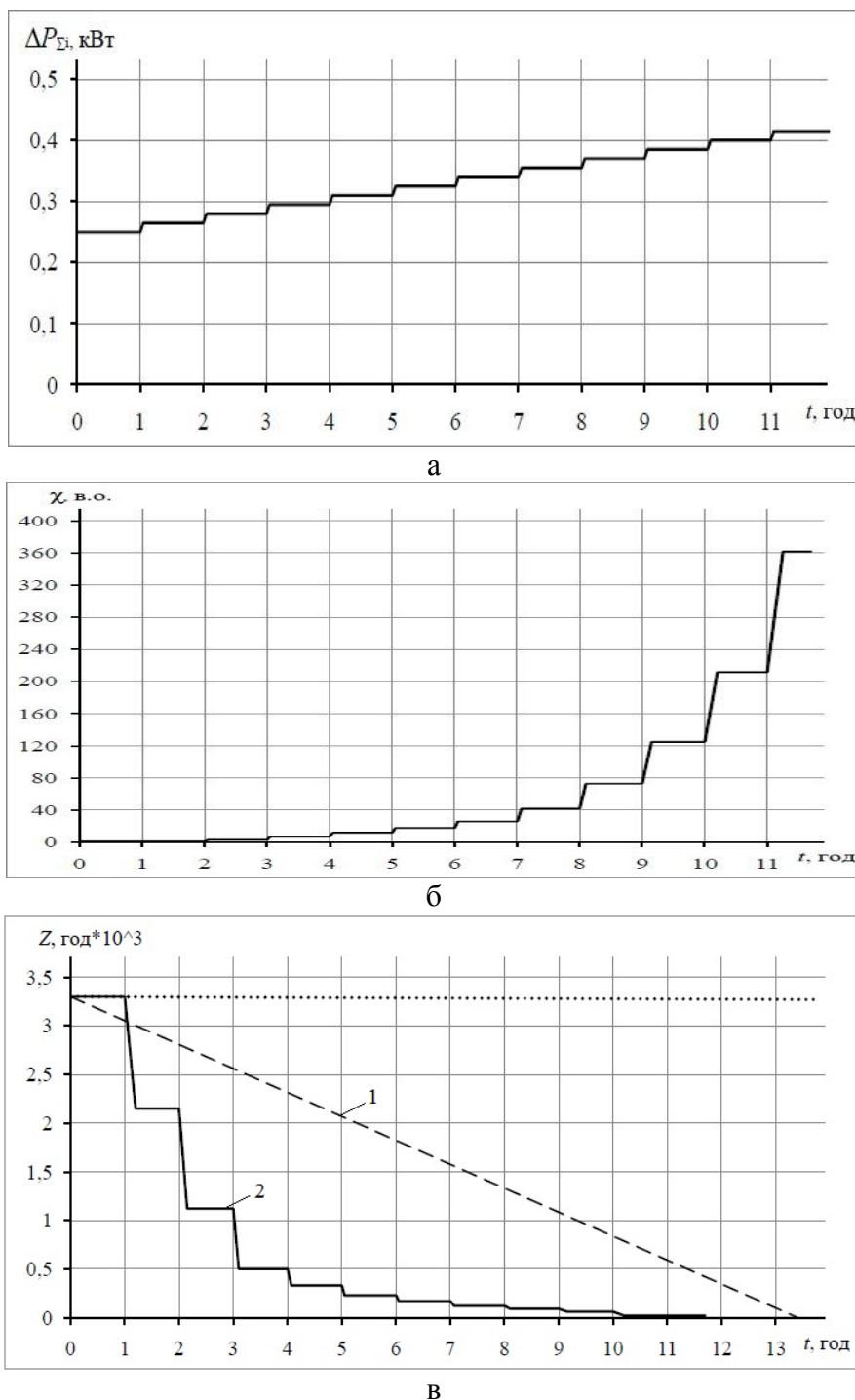


Рис. 4. Графіки зміни в часі: а – сумарних втрат потужності; б – зношування ізоляції; в – залишкового ресурсу (1 - експериментальне значення, 2 - прогнозоване)

Висновки. Вдосконалено теплову модель визначення температури обмоток АД для прогнозування його залишкового ресурсу, яка дозволяє оцінювати скорочення строку служби у залежності від режиму навантаження і додаткових втрат, зумовлених несиметрією та несинусоїдальністю напруги.

Експериментальна перевірка теплової моделі підтвердила достатню точність прогнозування залишкового ресурсу АД. Відносна похибка прогнозування залишкового

ресурсу за експериментом, обумовлена неточністю визначення початкового ресурсу та похибкою власне моделі старіння ізоляції, не перевищує 20%.

Література.

1. Воробьев В.Е. Прогнозирование срока службы электрических машин: Письменные лекции / В.Е. Воробьев, В.Я. Кучер. – СПб.: СЗТУ, 2004. – 56 с.
2. Бурковский А.Н. Нагрев и охлаждение электродвигателей взрывонепроницаемого исполнения / А.Н. Бурковский, Е.Б. Ковалев, В.К. Коробов. – М.: Энергия, 1970. – 184 с.
3. Синчук О.Н. Тепловая модель кранового АД для диагностирования и настройки цифровой защиты от перегрузок / О.Н. Синчук, В.В. Чумак, С.Л. Михайлов // Электротехника, 2003, №3. С. 205-211
4. Определение допустимого тока статора взрывозащищенных асинхронных двигателей серии В, ВР в кратковременных режимах работы/ [А.Н. Бурковский, Т.О. Титкова, Т.П. Канашенкова, В.В. Макеев] // Электротехническая промышленность. Серия “Электрические машины”. Вып. 7(89). 1978г. – С.5-7.
5. Пусковые системы нерегулируемых электроприводов: Монография / [А.П. Черный, А.И. Гладырь, Ю.Г. Осадчук и др.] – Кременчуг: ЧП Щербатых А.В., 2006. – 280 с.
6. Котеленец Н.Ф. Испытания, эксплуатация и ремонт электрических машин: Учебник для вузов / Н.Ф. Котеленец, Н.А. Акимова, М.В. Антонов. – М.: Издательский центр “Академия”, 2003. – 384 с.
7. Филиппов И.Ф. Теплообмен в электрических машинах / И.Ф. Филиппов. – Л.: Энергоатомиздат, 1986. – 256 с.

УДК 621.548

О. В. Старовойт, магістрант

В.В. Дубровська, к.т.н., доцент

В.І. Шкляр, к.т.н., доцент

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»,
Інститут енергозбереження та енергоменеджменту

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ВІТРОВИХ ПОТОКІВ НА ТЕПЛОВТРАТИ БУДІВЛІ

Анотація

Створена спрощена модель типового 5-ти поверхового будинку. Визначено характеристики профілю швидкості потоку вітру з використанням k-ε моделі турбулентності. Проведене комп'ютерне моделювання за допомогою чисельних методів CFD у пакеті програм ANSYS Fluent. Досліджено вплив швидкості потоку вітру, що набігає, на тепловтрати будівлі. Побудована графічна залежність тепловтрат будівлі від швидкості потоку вітру та отримано критеріальне рівняння.

Ключові слова: швидкість потоку вітру, тепловтрати будівлі, CFD модель, моделювання, турбулентність.

Аннотация

Создана упрощенная модель типичного 5-ти этажного дома. Определены характеристики профиля скорости потока ветра с использованием k-ε модели турбулентности. Проведено компьютерное моделирование с помощью численных методов CFD в пакете программ ANSYS Fluent. Исследовано влияние скорости набегающего потока ветра на теплопотери здания. Построена графическая зависимость теплопотерь здания от скорости потока ветра и получено критериальное уравнение.

Ключевые слова: поток ветра, теплопотери здания, CFD модель, моделирование, турбулентность.

Abstract

A simplified model of a typical 5-floor building was created. The characteristics of the wind velocity profile were determined using k-ε turbulent model. Computer modeling by the means of numerical methods in ANSYS Fluent software CFD package was carried out. The influence of the incoming wind flow rate on the heat loss of the building was studied. Graphical dependence of the heat loss of the building from the wind velocity was built and the criterion equation was obtained.

Keywords: wind flow, the heat loss of the building, CFD model, modeling, turbulence.

Вступ

Енергія, яку людство має намір отримувати від вітру має безліч переваг порівняно з викопними ресурсами. Головною серед них є мінімальний вплив на навколишнє середовище. Однак, високошвидкісні потоки вітру, що діють на заселених територіях, несуть значний вплив на теплові характеристики будівель, та сьогодні компенсуються за рахунок тих же викопних ресурсів.

Дана стаття присвячена визначенню масштабів впливу вітру на тепловтрати будівель для подальших пошуків можливості використання цих потоків.

При розрахунку тепловтрат, прийнято спиратися на фізичні закони, що впливають на тепловтрати будівлі та на положення останніх ДСТУ і ГОСТ.

Тепловтрати необхідно розраховувати знаючи теплоізоляційні властивості конструкцій, коефіцієнти тепловіддачі та теплообміну, розрахункові температури у відповідності з кліматичною зоною та призначенням приміщення.

Мета роботи – дослідження впливу швидкості потоку зовнішнього повітря, яке набігає, на теплові втрати будівлі.

Для розв'язку поставленої задачі була побудована математична модель будівлі та проведено комп'ютерне моделювання в програмному середовищі CFD пакету Ansys Fluent.

За розрахункову модель прийнято будівлю розміром 15х50х15 м, що має товщину зовнішніх стін, включаючи перекриття, $\delta=400$ мм, будівля виконана з цегли $\lambda=0,7$ Вт/м·К.

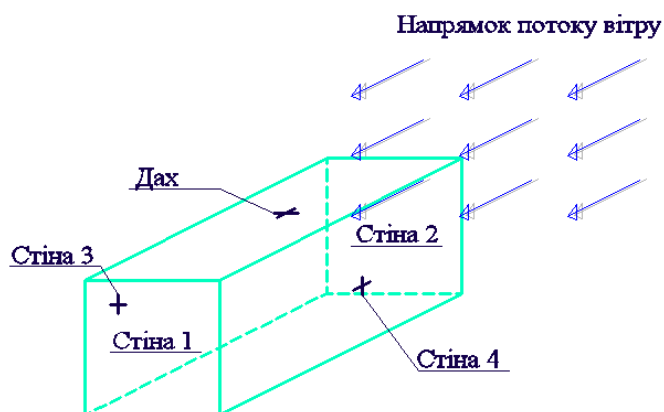


Рисунок 1. Експериментальна модель

Приймалися температури повітря: зовнішнього – 263 К, внутрішнього – 293 К. Напрямок руху вітру співпадав з довгою стороною будівлі.

Тепловтрати будівлі Q_0 , Вт; відповідно з [1] визначалися з виразу:

$$Q_0 = k \cdot F \cdot (t_{\text{вн}} - t_{\text{зов}}), \quad (1)$$

де: $t_{\text{вн}}$, $t_{\text{зов}}$ – внутрішня та зовнішня температури повітря;

k – коефіцієнт теплопередачі, Вт/м²·К;

F – площа поверхонь огорожувальних конструкцій будівлі, м².

Збільшення тепловтрат будівлі від швидкості потоку вітру виражаються через коефіцієнт k_v [2]:

$$Q_v = k_v \cdot k \cdot F \cdot (t_{\text{вн}} - t_{\text{зов}}), \quad (2)$$

$$Q_v = k_v \cdot Q_0 \quad (3)$$

Згідно ДБН розрахункові значення коефіцієнтів тепловіддачі приймаються: $\alpha_{\text{вн}}=8,7$ Вт/м²·К, $\alpha_{\text{зов}}=23$ Вт/м²·К при швидкості вітру 5 м/с і для зимових умов.

Тоді з рівняння (1) знаходимо, що :

$$Q_0 = 111 \text{ кВт}.$$

Коефіцієнт конвективної тепловіддачі на зовнішній поверхні огороження при вимушеному русі повітря визначається в залежності від швидкості повітря w , його термодинамічних параметрів та характерного розміру [3]:

$$Nu = 0,032 \cdot Re^{0.8} \quad (4)$$

$$Nu = \frac{\alpha_k \cdot l}{\lambda} \quad (5)$$

$$Re = \frac{w \cdot l}{\nu} \quad (6)$$

$$\alpha_k = \frac{0,032 \cdot w^{0.8} \cdot \lambda}{\nu^{0.8} \cdot l^{0.2}} \quad (7)$$

ν – коефіцієнт кінетичної в'язкості повітря м²/с.

У табл. 1 наведено розрахований коефіцієнт α_{30B} відповідно до (7), при змінній швидкості повітря та зовнішній температурі -10°C.

Таблиця 1

w, м/с	α_{30B}	w, м/с	α_{30B}
0,1	1,005739	9	36,80265
1	6,345781	10	40,03917
2	11,04865	11	43,21149
3	15,28207	12	46,32656
4	19,23681	13	49,39008
5	22,99647	14	52,40678
6	26,60762	15	55,38065
7	30,09979	16	58,31511
8	33,49323		

З таблиці 1 видно, що розрахункове значення коефіцієнта тепловіддачі $\alpha_{30B} = 23 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$ визначено при швидкості повітря 5 м/с.

Модельовання у програмному середовищі Ansys Fluent.

Модель побудована відповідно до методик моделювання вітрових потоків, які дають найбільш достовірні результати. Наступні рівняння визначали характеристики потоку вітру [4].

Параболічний профіль швидкості, в залежності від висоти z та шорсткості поверхні z_0 :

$$w(z) = \frac{w'}{\kappa} \ln \left(\frac{z+z_0}{z_0} \right). \quad (8)$$

Швидкість тертя (динамічна швидкість):

$$w' = \frac{w(z)}{\ln \left(\frac{z+z_0}{z_0} \right)}, \quad (9)$$

де z' – висота над рівнем моря, на якій задається початкова швидкість (10 м для даних з метеостанцій).

Рівняння кінетичної енергії турбулентності:

$$K(z) = w' \cdot (z + z_0) \cdot \kappa. \quad (10)$$

Швидкість дисипації кінетичної енергії турбулентності:

$$\varepsilon(z) = \frac{(w')^3}{\kappa \cdot (z' + z_0)}. \quad (11)$$

Результати моделювання вітрових потоків наведені на рис. 2.

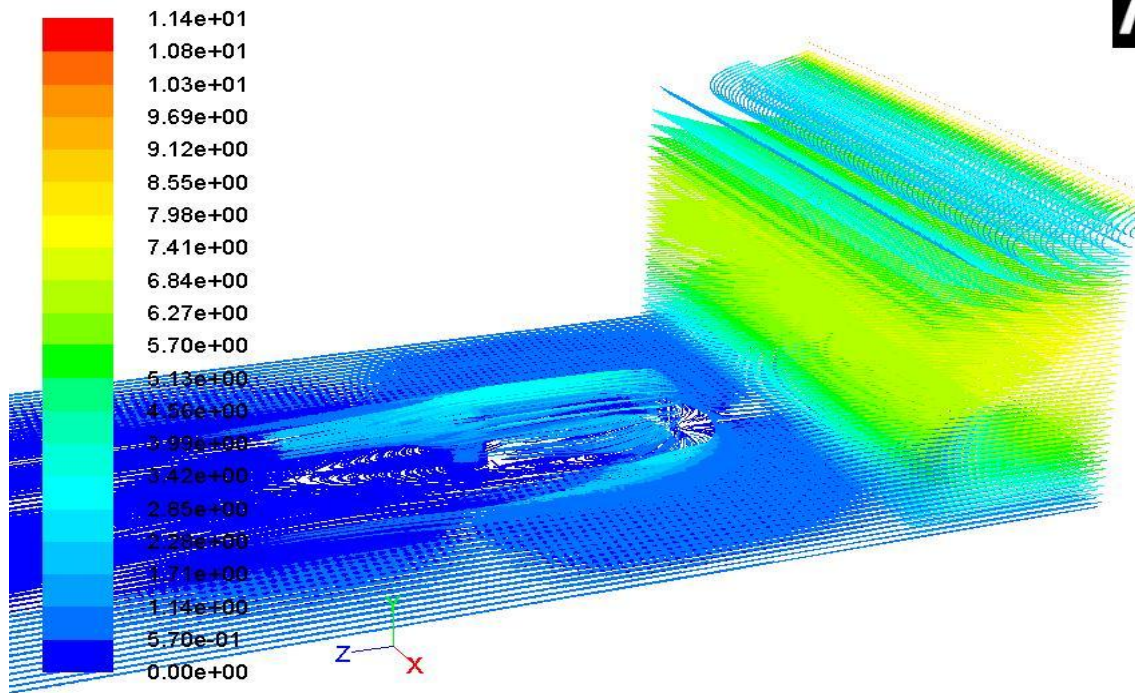


Рисунок 2. Розподіл швидкості потоку вітру

Вплив швидкості потоку вітру на коефіцієнт тепловіддачі та теплові втрати будівлі для різних огорожувальних поверхонь наведено в табл. 2 та 3.

Таблиця 2. Розрахункова теплова потужність $Q_v(w)$

	$w, \text{ м/с}$								
	0	2	4	6	8	10	12	14	16
Стіна 1	21,60	32,67	34,15	35,19	35,50	35,65	35,92	36,07	36,18
Стіна 2	21,65	32,56	34,20	35,42	35,65	35,85	35,97	36,10	36,21
Дах	23,93	32,43	34,33	35,59	35,94	36,12	36,28	36,38	36,45
Стіна 3	7,28	10,13	10,33	10,54	10,61	10,72	10,80	10,86	10,90
Стіна 4	6,28	9,12	10,09	10,75	10,81	10,87	10,88	10,91	10,94
Сума	80,74	116,91	123,09	127,48	128,52	129,21	129,86	130,31	130,68

Таблиця 3. Розрахунковий коефіцієнт тепловіддачі $\alpha_{\text{зов}}(w)$

	$w, \text{ м/с}$								
	0	2	4	6	8	10	12	14	16
Стіна 1	1,94	12,71	19,14	28,15	32,29	34,65	40,96	45,24	48,92
Стіна 2	1,95	12,44	19,33	31,39	35,23	39,64	42,73	46,32	50,21
Дах	2,51	12,08	19,87	33,03	41,53	47,38	53,08	57,31	61,05
Стіна 3	2,61	16,34	19,86	26,15	28,96	34,87	41,47	47,82	53,18
Стіна 4	1,81	8,85	17,76	41,06	46,10	54,20	54,98	58,35	64,36
Середнє	2,15	12,44	19,34	31,32	36,55	41,22	46,03	50,20	54,29

З виразу (3) визначимо k_v при $Q_0 = 111 \text{ кВт}$.

Таблиця 4. Коефіцієнт впливу вітру $k_v, \text{Вт/м}^2\text{К}$, на тепловтрати будівлі, приведений до $Q_0=111 \text{ кВт}$

	$w, \text{м/с}$								
	0	2	4	6	8	10	12	14	16
Стіна 1	0,637	0,963	1,007	1,038	1,047	1,051	1,059	1,064	1,067
Стіна 2	0,638	0,960	1,008	1,045	1,051	1,057	1,061	1,064	1,068
Дах	0,706	0,956	1,012	1,049	1,060	1,065	1,070	1,073	1,075
Стіна 3	0,716	0,996	1,015	1,036	1,043	1,054	1,062	1,068	1,072
Стіна 4	0,617	0,897	0,992	1,057	1,063	1,068	1,070	1,072	1,075
Середнє	0,661	0,958	1,008	1,044	1,053	1,058	1,064	1,067	1,070

З табл.4 видно, що значення коефіцієнту k_v є незначним та коливається в межах від 0,66 до 1,07. Тобто, при швидкостях повітря менше 4-5 м/с розрахункова теплова потужність є завищеною. Це пов'язано з тим, що при розрахунку тепловтрат згідно з ДБН «Будівельна кліматологія» швидкість повітря враховується на рівні 5 м/с в коефіцієнті $\alpha_{\text{зов}}=23 \text{ м/с}$.

Тому, для визначення впливу вітру на тепловтрати будівлі, більш доцільно визначати Q_0 , як тепловтрати при швидкості повітря близької до 0 м/с, умовно позначимо ці тепловтрати як $Q'_0=81 \text{ кВт}$ та розрахуємо значення k'_v і занесемо до табл. 5.

Таблиця 5. Коефіцієнт впливу швидкості вітру $k'_v, \text{Вт/м}^2\text{К}$, на тепловтрати будівлі, приведений до $Q'_0=81 \text{ кВт}$

	$w, \text{м/с}$								
	0	2	4	6	8	10	12	14	16
Стіна 1	1,0	1,513	1,581	1,629	1,644	1,651	1,663	1,670	1,675
Стіна 2	1,0	1,504	1,580	1,636	1,647	1,656	1,662	1,667	1,672
Дах	1,0	1,355	1,434	1,487	1,502	1,509	1,516	1,520	1,523
Стіна 3	1,0	1,392	1,418	1,448	1,458	1,472	1,484	1,492	1,498
Стіна 4	1,0	1,453	1,607	1,712	1,721	1,731	1,733	1,737	1,741
Середнє	1,0	1,448	1,525	1,579	1,592	1,600	1,608	1,614	1,618

Для узагальнення результатів розрахунків побудована графічна залежність та отримано критеріальне рівняння визначення коефіцієнту $k_v(w)$:

$$k_v(w) = 0,1237 \cdot \ln(w) + 1,3191. \quad (13)$$

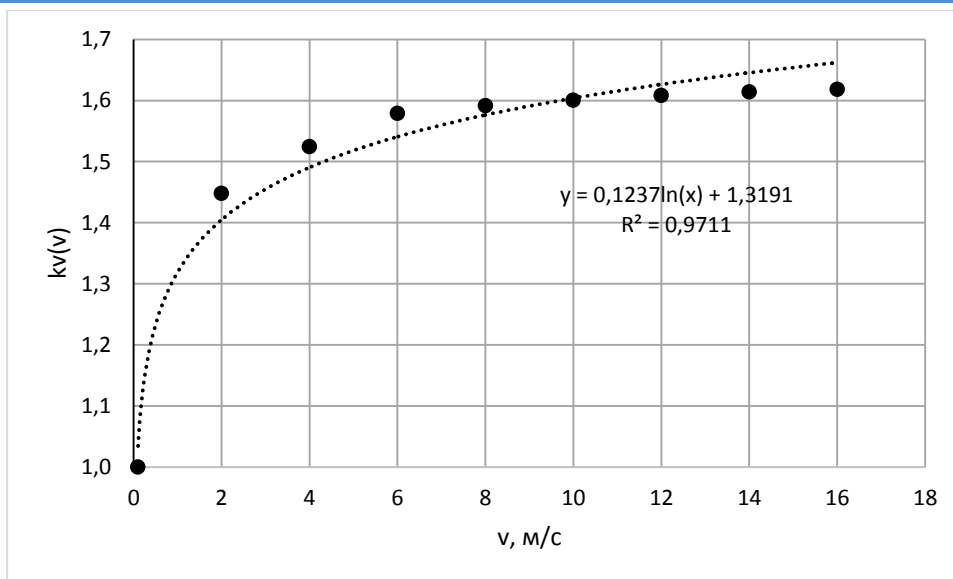


Рисунок 3. Графік залежності тепловтрат будівлі від швидкості потоку вітру

Висновки

Зовнішній потік вітру, який набігає на огорожувальні конструкції будівлі, вносить вагомий внесок на теплові втрати будівлі.

При середній швидкості для Києва 4-5 м/с тепловтрати зростають приблизно на 57%, відносно безвітряної погоди.

При швидкостях вітру більше 10 м/с тепловтрати можуть зростати на 6 - 7% у порівнянні зі значеннями тепловтрат розрахованими за даними [1].

Література:

1. ДСТУ - Н Б В.1.1-27:2010 "Будівельна кліматологія".
2. Зубарев В.В., Минин В.А., Степанов И.Р. Использование энергии ветра в районах Севера. М.: Наука, 1989р. – 208 с.
3. Малявина Є.Г. Теплотери здания. Справочное пособие. М.:АВОК-ПРЕСС, 2007р. – 265с.
4. Л. Т. Матвеев Курс общей метеорологии. Физика атмосферы. Л.: Гидрометеиздат, 1984. – 752 с.

UDC 536.245

Nguen Van Phuc, Sukhodub Iryna,
scientific adviser: Dr. Sc., prof. Deshko V.I.
NTUU “KPI”, Institute of energy saving and energy management

ENERGY PERFORMANCE OF VENTILATION SYSTEM HEAT RECOVERY

ЕНЕРГЕТИЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ТЕПЛОУТИЛІЗАТОРА СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦІЇ

ABSTRACT: CFD modelling of heat exchanger incorporated in ventilation system is performed. Analysis of heat exchanger efficiency and pressure drop is conducted for different flow arrangement and heat exchanger design.

АНОТАЦІЯ: Проведено CFD моделювання теплообмінника, включеного в систему вентиляції. Аналіз ефективності теплообмінника і падіння тиску проводиться для різного розташування потоків повітря і конструкції теплообмінника.

Introduction

One of the most prospective energy saving measures in the ventilation and air-conditioning systems is heat recovery from exhaust air for partial heating/cooling of supply air during the heating/cooling season. Various designs of heat recovery devices are used, including cross-flow recuperative plate heat exchangers [1]. Such systems can provide balanced air exchange in the space and significant energy saving.

Experimental and modelling results for membrane heat exchangers using finite difference method and CFD for cold season can be found in various papers [2-7]. Experimental investigations of ventilation system with membrane heat exchangers for summer conditions of Kyiv are presented in [8]. Almost all the papers deal with modelling of heat exchanger only, without incorporating it in ventilation system. Flow maldistribution accounting can give more accurate results for system energy efficiency, including heat exchanger efficiency and system pressure drop.

In this article authors focus on simulation process and energy efficiency calculation of ventilation heat recovery in cooling mode.

Objects and methods

The principle of unit and heat exchanger construction is taken from Lossnay Core (Mitsubishi Electric). The Lossnay Core is a cross-flow total heat recovery unit constructed of plates and fins made of polymer membrane. The fresh air and exhaust air passages are totally separated allowing the fresh air to be introduced without mixing with the exhaust air.

Research methods: SOLIDWORKS Flow Simulation software was used for simulation process in ventilation system heat exchanger. The structure of the ventilation system will be simplified; authors focus on computational simulation and energy efficiency for heat exchanger. In the simulation process the values of input air temperature are not changed; the values of input air flow rate are changed. The assumption of no cross leakages and short circuits is made. Also air flow configuration and heat exchanger structure are also varied to see its impact on energy efficiency and pressure drop in the system.

Modelling procedure and results

Case 1: scaled-down model.

Model description: Simulation of the system with scaled-downsize (1/10 of actual size).

Dimensions:

- Ventilation system external dimension: 78 mm×58,38 mm×27,63 mm
- Heat exchanger dimensions: 16 mm×16 mm×56,38 mm
- Fins (waveform): 2 mm×4 mm (height × width)
- Heat exchanger plate: 16 mm×16 mm
- The number of heat exchanger plates: 26
- The total heat exchange surface area: $16 \cdot 16 \cdot 26 \cdot 10^{-6} = 0,006656 \text{ m}^2$

Materials properties:

- Fluid: dry air with temperature dependent properties;
- Solid Materials: membrane ($\rho = 1060 \text{ kg/m}^3$; $c_p = 1340 \text{ J/kg} \cdot \text{K}$; $\lambda = 0,12 \text{ W/m} \cdot \text{K}$).

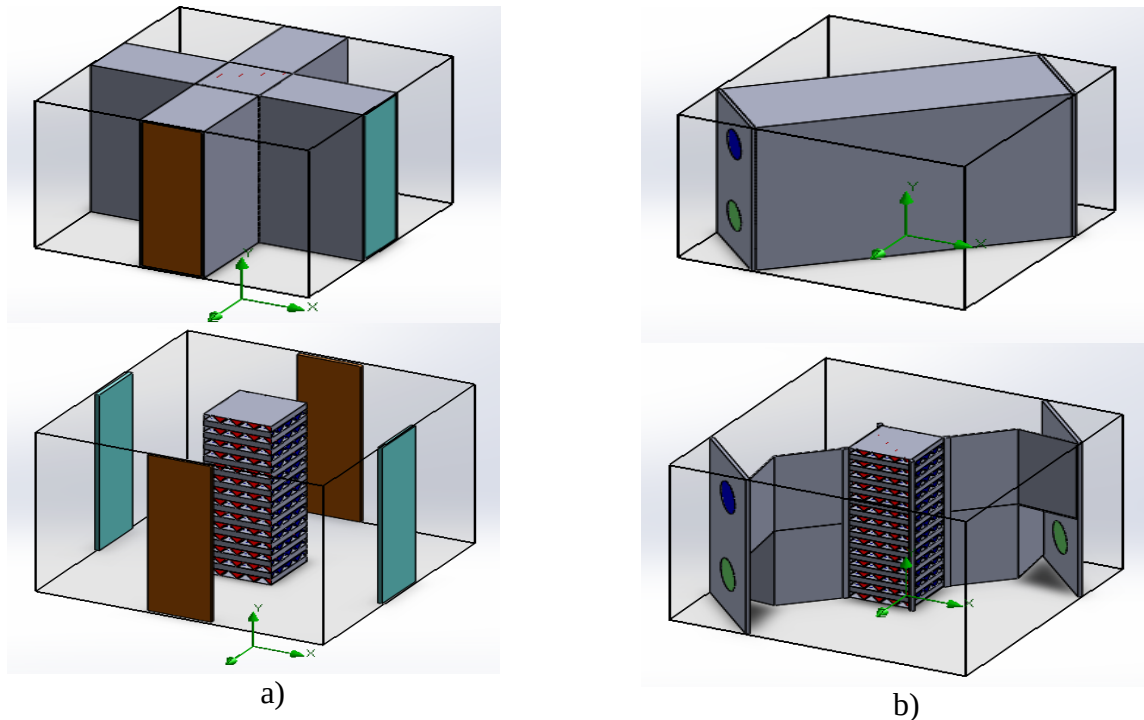


Figure 1. Models and heat exchanger general view

Two types of cross-flow configuration are investigated: direct (Fig. 1a) and actual (Fig. 1b).

Boundary conditions:

- Return Air (RA): Inlet volume flow: $V_{RA} = \text{variable}$; temperature: $T_{RA} = 297 \text{ K}$; Boundary Layer: laminar
- Exhaust Air (EA): Static pressure: $P_{EA} = 101325 \text{ Pa}$
- Outdoor Air (OA): Inlet volume flow: $V_{RA} = \text{variable}$; temperature: $T_{OA} = 307 \text{ K}$; Boundary Layer: laminar
- Supply Air (SA): Static pressure: $P_{SA} = 101325 \text{ Pa}$.

Fig. 2 depicts location of cross-section for actual flow arrangement (temperature, velocity and relative pressure contours). Velocity, temperature and relative pressure contours and fluid flow trajectories are shown in Fig. 3 for direct flow configuration and Fig. 4 for actual flow configuration.

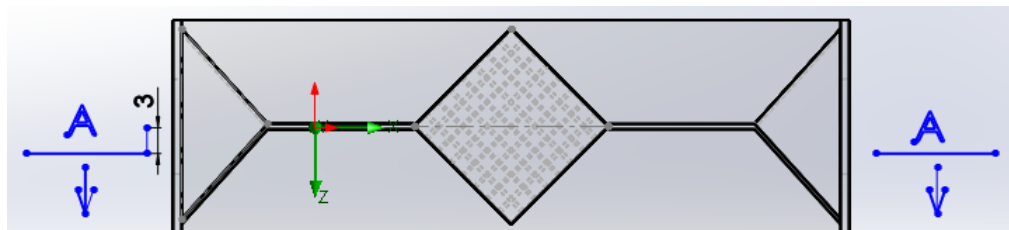


Figure 2. Cross-section for temperature, velocity and relative pressure contours

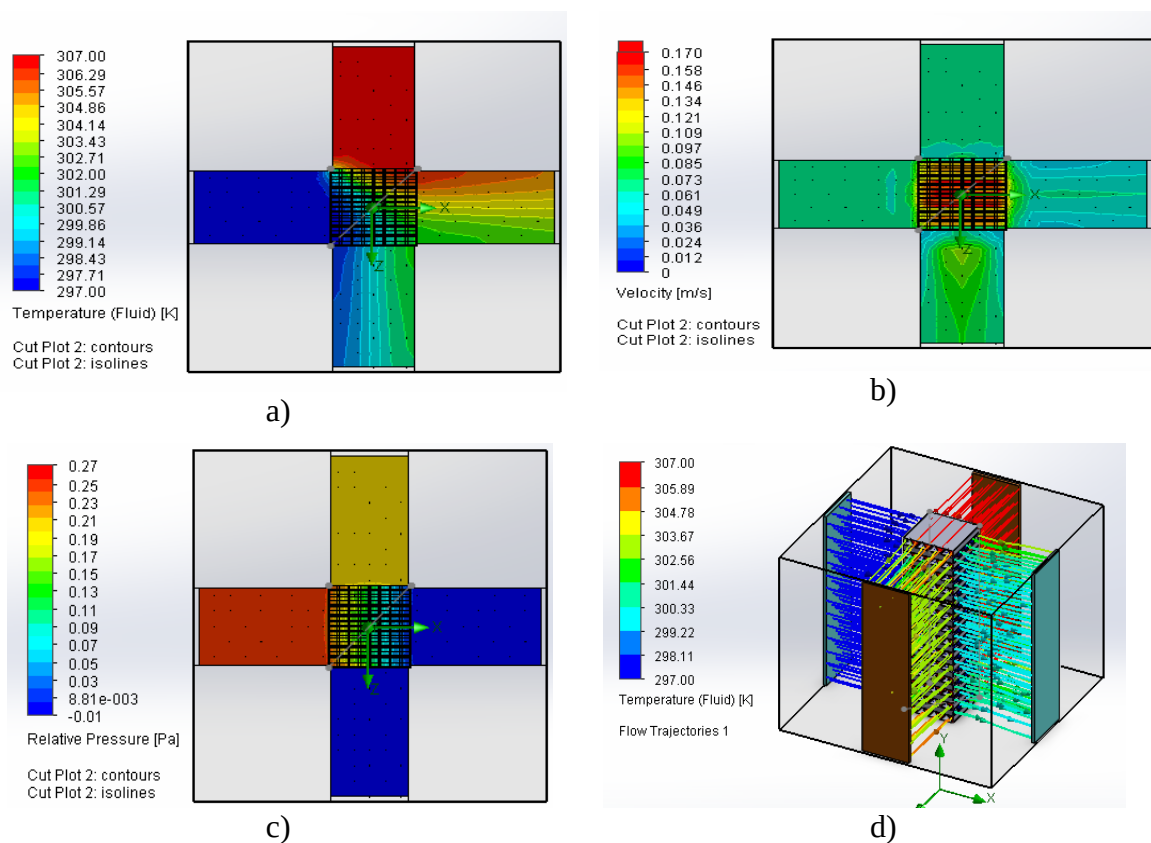


Figure 3. Temperature (a), velocity (b) and relative pressure (c) contours and fluid flow trajectories (d) for direct flow configuration

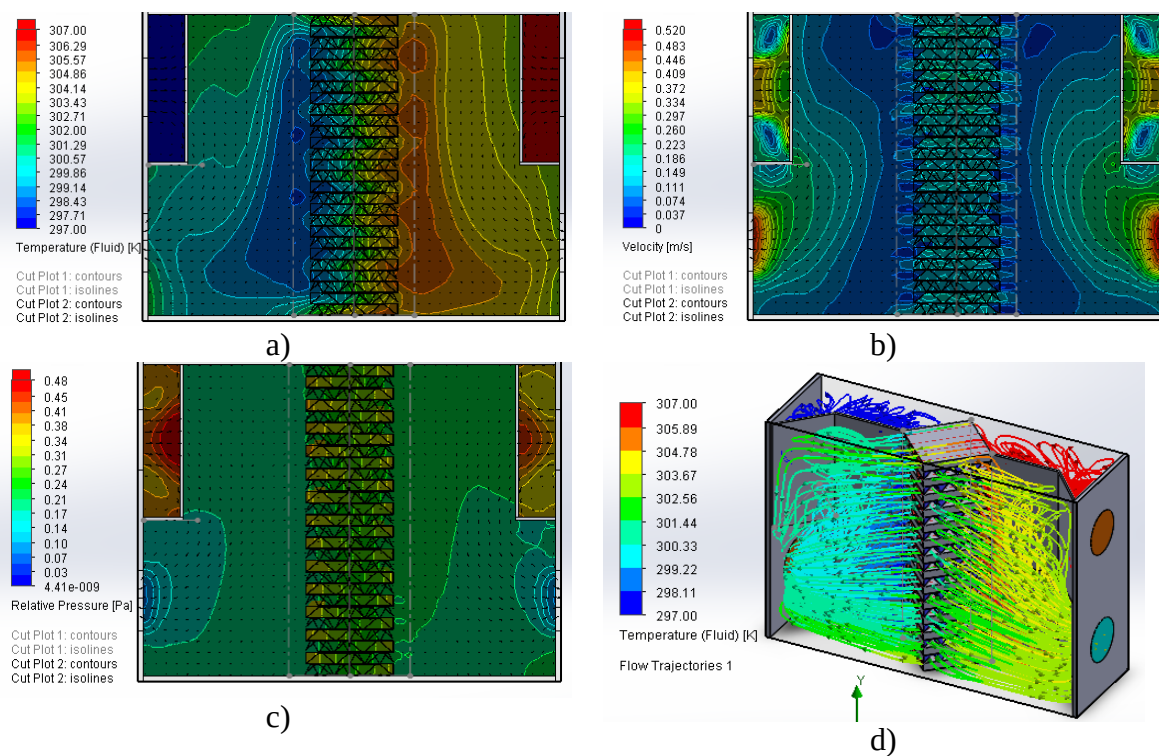


Figure 4. Temperature (a), velocity (b) and relative pressure (c) contours for cross-section A-A (fig. 2) and fluid flow trajectories (d) for actual flow configuration

Efficiency and pressure drop evaluation

The sensible utilized heat in the heat exchanger is calculated using the formula:

$$Q_1 = c_p G_1 (T_{EA} - T_{RA}) \quad (1)$$

$$Q_2 = c_p G_2 (T_{OA} - T_{SA}) \quad (2)$$

where G_1 , G_2 – mass flow rate of exhaust and supply air; c_p – specific heat capacity; T_{EA} , T_{RA} , T_{OA} , T_{SA} – exhaust air, room air, outdoor air and supply air temperatures

The sensible efficiency of the heat exchanger is calculated using the formula:

$$\eta_t = \frac{G_2 c_p (T_{OA} - T_{SA})}{(G c_p)_{\min} (T_{OA} - T_{RA})} \cdot 100\% = \frac{(T_{OA} - T_{SA})}{(T_{OA} - T_{RA})} \cdot 100\% \quad (3)$$

The pressure difference between the nodes SA & RA and OA & EA:

$$\Delta P_1 = P_{RA} - P_{EA} \quad (4)$$

$$\Delta P_2 = P_{OA} - P_{SA} \quad (5)$$

The small difference between ΔP_1 and ΔP_2 occurs due to the different number of flow passages in the heat exchanger for two heat transfer fluids. Temperature and pressure values are obtained by measuring surface parameters. Simulations were performed and results were analyzed for various inlet volume flow rates. Heat exchanger efficiency and pressure loss dependence on inlet volume flow rate is presented in Fig. 5. Index ' is used for plate heat exchanger without fins. ΔP is average value for supply and exhaust air flows.

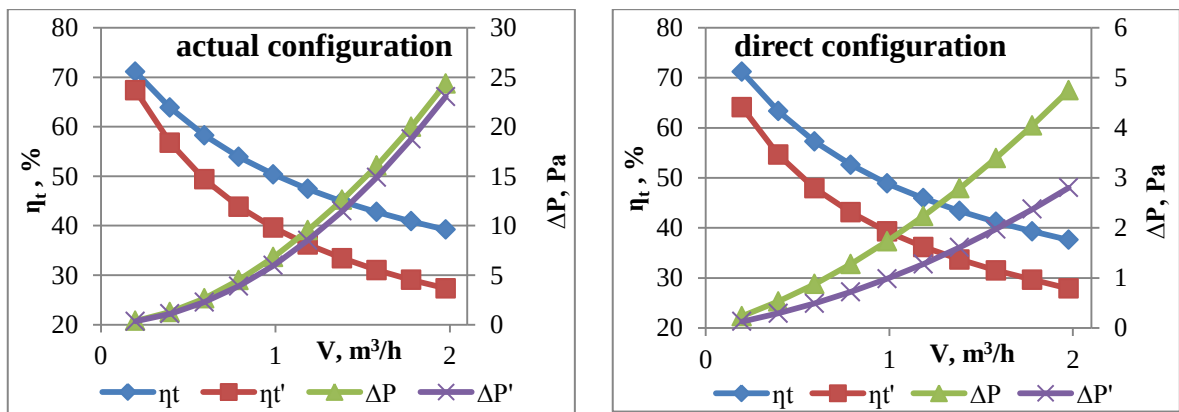


Figure 5. The relationship between heat exchanger efficiency, pressure drop and inlet air volume flow rate (' - for plate heat exchanger without fins)

From the above results, we can see that the heat exchanger efficiency is inversely proportional and pressure drop is directly proportional to the inlet volume flow rate. Using of fins in plate heat exchanger will bring the greater values of sensible efficiency, but also will cause the greater pressure loss in it. On the other hand fins will increase strength and durability, especially when heat exchangers are made of membrane or treated paper). So fins are used for construction purpose and for heat transfer enhancement. The results also show the effect of the heat exchanger and the entrance/exit designs on a system resistance/pressure drop. Most of the pressure drop in the model of actual configuration is connected with air flow organization, rather than the resistance of the heat exchanger.

Case 2: actual size model.

Model description: Simulating the system operation with actual size. In this case it is not possible to calculate construction of finned heat exchanger. So the case of heat exchanger without fins will be simulated.

Dimensions:

- External dimension of the system: 780 mm×502,4 mm×275 mm
- Heat exchanger dimensions: 180 mm×180 mm×500,4 mm

Heat exchanger plate: 180 mm×180 mm

The number of heat exchanger plates: 238

The total heat exchange surface area: $180 \cdot 180 \cdot 238 \cdot 10^{-6} = 7.7112 \text{ m}^2$

Material properties and types of boundary conditions are the same as in case 1.

Velocity, temperature and relative pressure distribution and fluid flow trajectories are shown in Fig. 6 for direct flow configuration and Fig. 7 for actual flow configuration.

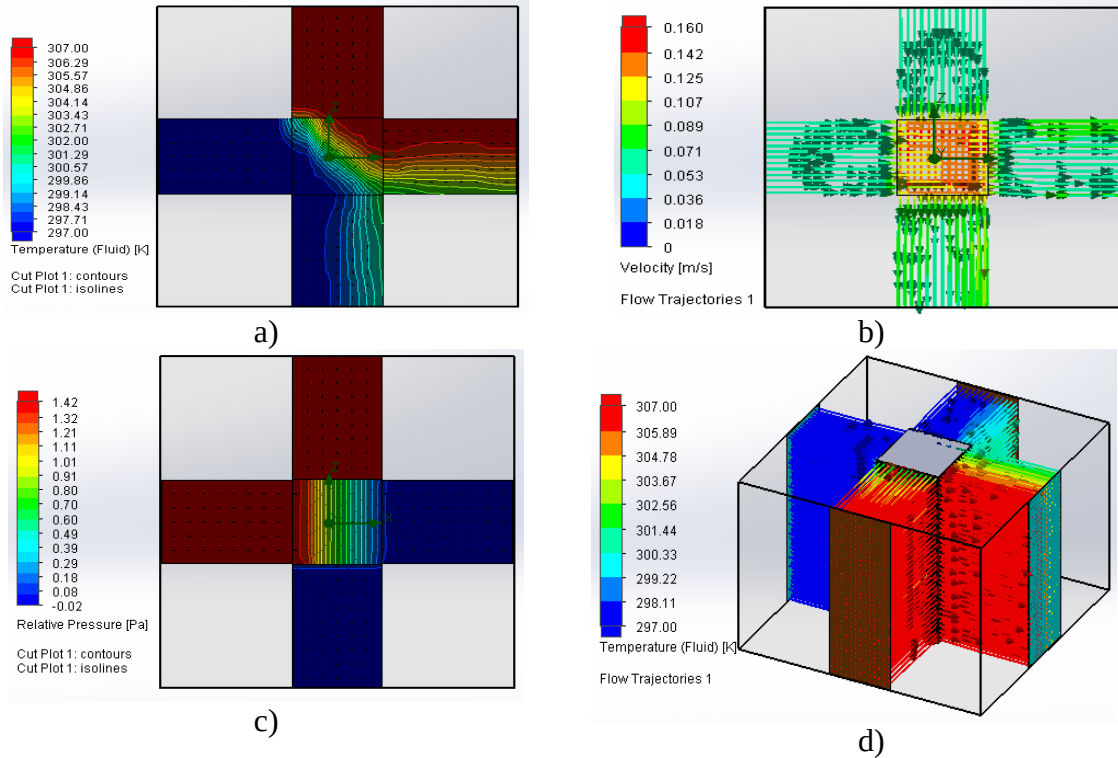


Figure 6. Temperature (a), velocity (b) and relative pressure (c) contours and fluid flow trajectories (d) for direct flow configuration

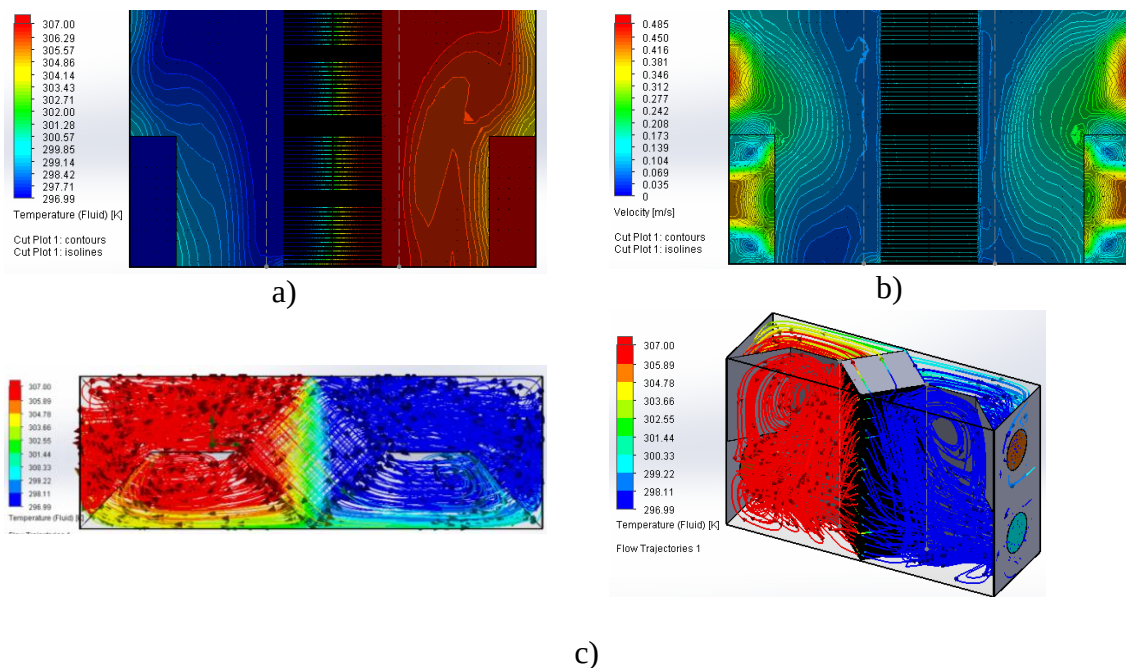


Figure 7. Temperature (a) and velocity (b) contours and fluid flow trajectories (c) for actual flow configuration

As in the first case simulations were performed and results were analyzed for various inlet volume flow rates. Heat exchanger efficiency and pressure loss dependence on inlet volume flow rate is presented in Fig. 8.

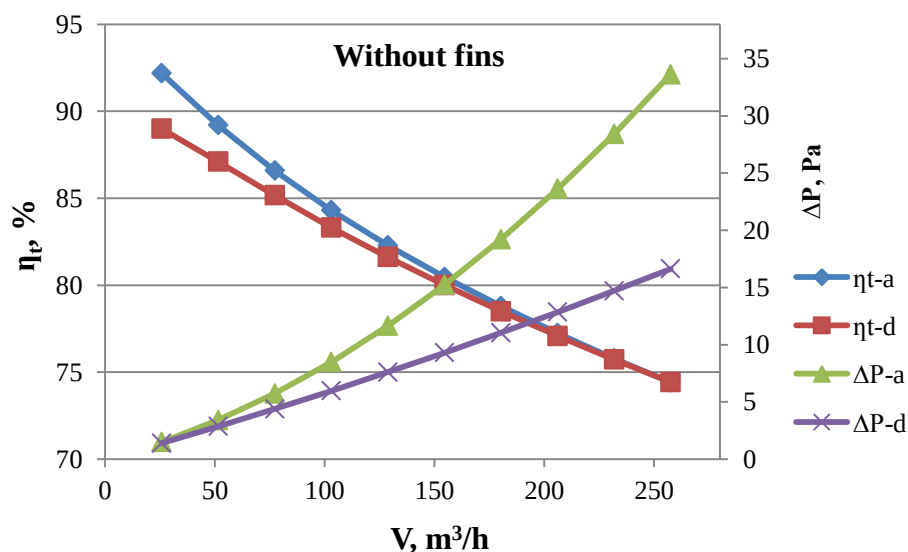


Figure 8. The relationship between heat exchanger efficiency, pressure drop and inlet air volume flow rate (a - actual flow arrangement, d –direct flow arrangement)

From the above results, we can see that the heat exchanger efficiency is inversely proportional and pressure drop is directly proportional to the inlet volume flow rate. The results are similar to the first case.

Conclusions

CFD modelling of heat exchanger incorporated in ventilation system is performed. Analysis of heat exchanger efficiency and pressure drop is conducted for different flow arrangement and heat exchanger design. From the above results, we can see that the heat exchanger efficiency is inversely proportional and pressure drop is directly proportional to the inlet volume flow rate. Also using of fins in plate heat exchanger will bring the greater values of sensible efficiency, but also will cause the greater pressure loss in it. Most of the pressure drop in the model of actual configuration is connected with air flow organization, rather than the resistance of the heat exchanger. The obtained modelling results correspond with passport data of ventilation unit (the difference up to 3%) [9].

References

- 1) Besant R., Simonson C. Air-to-Air Exchangers // ASHRAE Journal, April 2003, pp. 42-50.
- 2) Zhang L.-Z. Heat and mass transfer in a cross-flow membrane-based enthalpy exchanger under naturally formed boundary conditions // Int. J. of Heat and Mass Transfer (2007), Vol. 50, pp. 151-162.
- 3) Al-Waked, R., Nasif, M.S., Morrison, G., Behnia M. / CFD simulation of air-to-air enthalpy heat exchanger // Energy Conversion and Management (2013), Volume 74, pp. 377–385.
- 4) Дешко В.І., Суходуб І.О., Попков А.В. Енергетичний баланс систем вентиляції з утилізацією // Будівельні конструкції. – 2014. - №77. – С. 213 – 216

- 5) Zhang J., Fung A.S. Experimental study and analysis of an energy recovery ventilator and the impact of defrost cycle // Energy and Buildings (2015), Volume 87, pp. 265–271.
- 6) Anisimov A., Jedlikowski A., Pandelidis D. Frost formation in the cross-flow plate heat exchanger for energy recovery // International Journal of heat and mass transfer (2015), No 90, pp. 201-217.
- 7) Deshko V. I., Karvatskii A. Ya., Sukhodub I. O. Heat and mass transfer in cross-flow air-to-air membrane heat exchanger in heating mode // Applied Thermal Engineering, Volume 100, 5 May 2016, Pages 133–145
- 8) Кордюков М.И., Дешко В.И., Суходуб И.О. Особенности процессов теплообмена рекуперативного мембранного теплообменника «воздух-воздух» в летний период // Холодильная техника и технология. – 2014. – №1 (147). – С. 24 – 31
- 9) <http://www.mitsubishi-aircon.com.ua/>

УДК 620.97

О. В. Губська, магістрант
В.В. Дубровська, к.т.н., доцент
В.І. Шкляр, к.т.н., доцент

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»,
Інститут енергозбереження та енергоменеджменту

ДОСЛІДЖЕННЯ ПАСИВНОЇ СИСТЕМИ ОПАЛЕННЯ ЗІ СТІНОЮ ТРОМБА-МІШЕЛЯ

Анотація

Проведено аналіз надходження дійсної прямої та розсіяної сонячної радіації для міст України за кожен місяць опалювального сезону. Виконаний розрахунок доцільності застосування пасивної сонячної системи опалення з стіною Тромба-Мішеля з визначенням коефіцієнтів ефективності та заміщення теплоти для різних регіонів країни.

Ключові слова: пасивна система опалення, стіна Тромба-Мішеля, коефіцієнт ефективності, сонячна радіація, коефіцієнт заміщення теплоти.

Аннотация

Проведен анализ поступления действительной прямой и рассеянной солнечной радиации для городов Украины за каждый месяц отопительного сезона. Выполнен расчет целесообразности применения пассивной солнечной системы отопления со стеной Тромба-Мишеля с определением коэффициентов эффективности и замещения теплоты для различных регионов страны.

Ключевые слова: пассивная система отопления, стена Тромба-Мишеля, коэффициент эффективности, солнечная радиация, коэффициент замещения теплоты.

Abstract

Analysis of real flow direct and diffuse solar radiation for cities of Ukraine according to each month heating season. Performed calculation of usefulness of passive solar heating system with Trombe-Michel wall with the definition of efficiency ratios and the replacement rate of heat for different regions.

Keywords: passive heating system, Trombe-Michel wall, efficiency factor, solar radiation, the replacement rate.

Застосування поновлюваних джерел енергії для систем теплопостачання є актуальним і досить перспективним в даний час, так як традиційні джерела енергії не безмежні. В останні роки в багатьох країнах світу велика увага приділяється розробці і впровадженню активних і пасивних систем теплопостачання, що використовують енергію сонця. Активні системи використовують сонячні колектори для отримання гарячої води. Сонячні пасивні системи використовуються тільки для опалення.

Принцип пасивного використання сонячної енергії полягає у безпосередньому нагріванні огорожувальних конструкцій сонячною радіацією з подальшою передачею теплоти в приміщення, що обігрівается. Пасивна система опалення (ПСО) відрізняється відносною простотою конструкції та дозволяє зменшити витрату органічного палива на опалення [1].

Існують наступні основні типи пасивних систем: відкриті і закриті. У відкритих пасивних системах сонячні промені потрапляють в опалювальне приміщення через збільшені віконні отвори і нагрівають будівельні конструкції, які стають приймачами і акумуляторами теплоти. В закритих системах потік сонячної радіації поглинається потужною огорожувальною конструкцією, яка одночасно є акумулятором теплоти. Одним з різновидів закритої ПСО є стіна Тромба-Мішеля, яка складається з чорної теплоакумуючої стіни орієнтованої на південь, повітряним прошарком і одно, двох або трьохкамерного скла [2]. Теплота сонячної радіації нагріває повітря між склінням і стіною, де повітря циркулює в межах житлового приміщення через вентиляційні отвори, які розташовані в нижній і в верхній частині конструкції, створюючи ефект термосифона [3].

Метою роботи є дослідження доцільності застосування пасивної системи опалення зі стіною Тромба-Мішеля для міст України.

Методологія. За методикою роботи [4] для визначення коефіцієнта заміщення теплоти, витраченої на опалення приміщення з системою пасивного обігріву, тепловою сонячної радіації необхідно розрахувати:

- теплоту сонячної радіації, що поступає в приміщення через скління і поглинається одиницею зовнішньої поверхні стіни теплоприймача системи ПСО протягом кожного розрахункового місяця, МДж/м²:

$$q_{\text{полг}} = K_{\text{пер}} \cdot K_{\text{заг}} \cdot \beta_{\text{с.з}} [(\tau\alpha)_s P_s f_s K_{\text{інс}} S' + (\tau\alpha)_d P_d f_d K_{\text{обл}} D + r(\tau\alpha)_r P_r f_r (S' + D)],$$

де $K_{\text{пер}}$ – коефіцієнт що враховує вплив рам вікон і рівний відношенню площі світлопрозорої частини до загальної площі світлопрозорого вирізу;

$K_{\text{заг}}$ – коефіцієнт, що враховує забруднення скла;

$\beta_{\text{с.з}}$ - коефіцієнта теплопропускання сонцезахисних пристроїв;

S' , D - місячна сума відповідно прямої і розсіяної сонячної радіації, що падає на горизонтальну поверхню;

$K_{\text{інс}}$ - коефіцієнт інсоляції системи прямої радіації при наявності затінюючих пристроїв;

$(\tau\alpha)_d$, $(\tau\alpha)_r$ - зведена поглинальна здатність системи відповідно для розсіяної і відбитої радіації;

r - коефіцієнт відбиття від землі;

$(\tau\alpha)_s$ - приведена поглинальна здатність для прямої радіації:

$$(\tau\alpha)_s = (\tau\alpha)_1 (\tau/\tau_1)_{\theta_c} \cdot (\alpha/\alpha_1)_{\theta_r},$$

де $(\tau/\tau_1)_{\theta_c}$ та $(\alpha/\alpha_1)_{\theta_c}$ визначають за графіком (рис. 1 та рис. 2) в залежності від середньомісячного кута падіння сонячної радіації на світлопрозору θ_c та тепло поглинаючу θ_T поверхні.

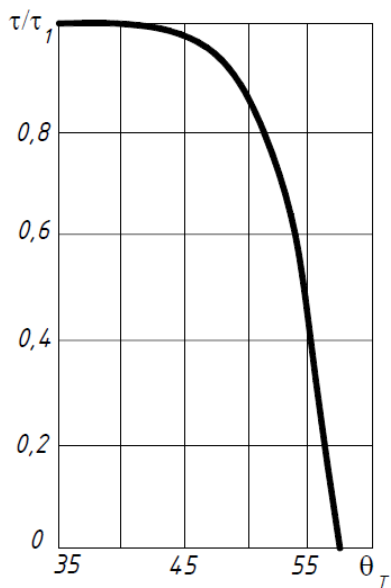


Рисунок 1. Залежність коефіцієнта відбиття від землі до коефіцієнта пропускання сонячної радіації скління (τ/τ_1) від кута падіння випромінювання.

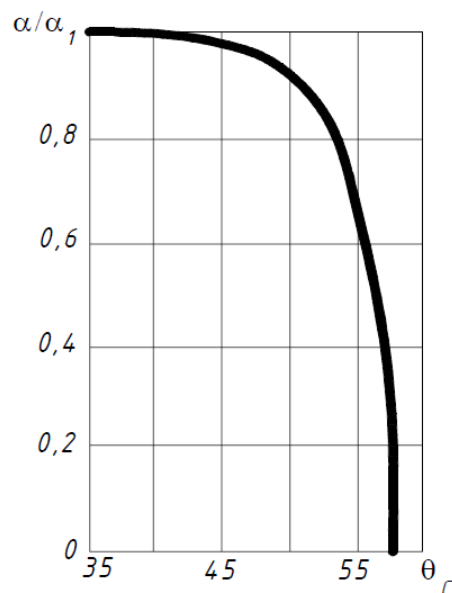


Рисунок 2. Залежність α/α_1 від кута падіння випромінювання.

f_s, f_d, f_r - коефіцієнти перерахунку сонячної радіації, що проходить через світлопрозору поверхню на її тепло сприймаючі поверхні;

P_s, P_d, P_r - коефіцієнти положення світлопрозорої поверхні відповідно для прямої, розсіяної і відбитої радіації [5];

- кількість теплоти сонячної радіації, що надходить в приміщення, знаходять за формулою:

$$Q_{\text{пост}} = A_c \cdot q_{\text{погл}} \cdot \eta,$$

де A_c - площа поглинаючої поверхні системи ПСО, м^2 ; $q_{\text{погл}}$ - кількість поглиненої сонячної радіації, МДж/м^2 ; η - коефіцієнт ефективності системи опалення «Тромба»;

- сумарні тепловтрати приміщення за відсутності сонячної радіації, МДж :

$$Q_{\text{ТП}} = 86,4 \cdot 10^{-3} \cdot m \cdot (\sum_i \frac{A_i}{R_{oi}} + 0,28 \cdot M_{\text{інф}}) \cdot (t_v - t_n),$$

де A_i - площа захисних конструкцій, м^2 ; R_{oi} - опір теплопередачі захисних конструкцій, $\text{м}^2 \cdot \text{К/Вт}$; $M_{\text{інф}}$ - кількість зовнішнього повітря, яке інфільтрується в приміщення, кг/год ; t_v - розрахункова температура в приміщенні, $^{\circ}\text{C}$; t_n - розрахункова температура зовнішнього повітря, $^{\circ}\text{C}$ [6].

- коефіцієнт опалення приміщення:

$$K_{OT} = \frac{Q_{\text{пост}}}{Q_{\text{ТП}}}.$$

По значенню K_{OT} для кожної з систем ПСО, розміщених в приміщенні, визначаються коефіцієнти заміщення $f_{\text{зам}}$ витрати теплоти на опалення теплотою

сонячної радіації за рисунком 3 та 4 після чого коефіцієнт заміщення всього приміщення знаходиться за формулою:

$$f_{\text{зам}} = \frac{\sum_{\Gamma} f_{\text{зам.г}} \cdot Q_{\text{пост}}}{\sum_{\Gamma} Q_{\text{пост}}}$$

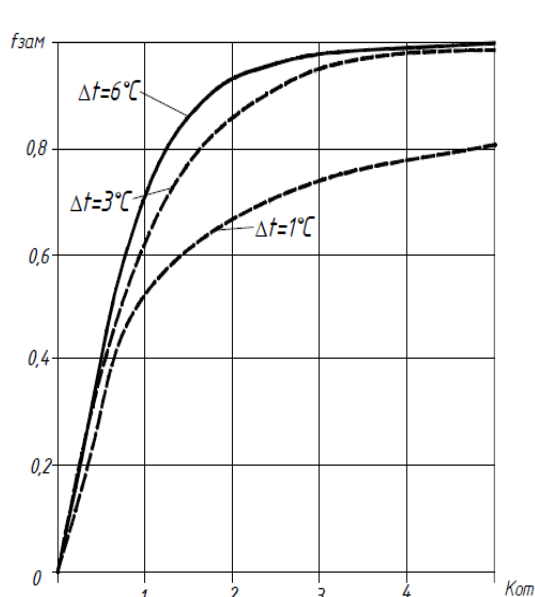


Рисунок 3. Залежність коефіцієнта заміщення від коефіцієнта опалення приміщення, яка має систему непрямого обігріву з циркуляцією.

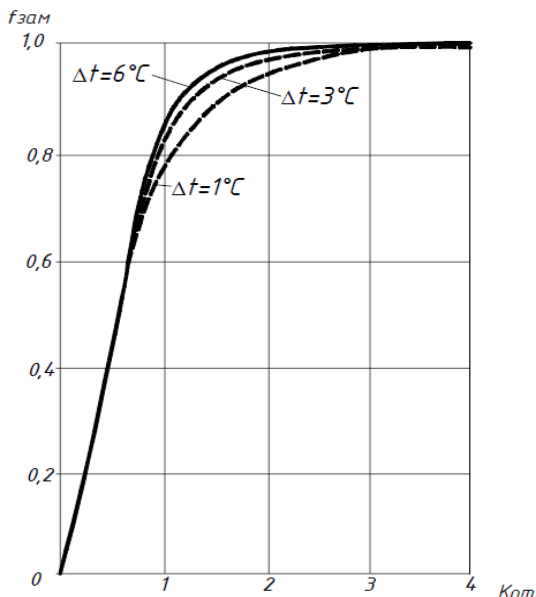


Рисунок 4. Залежність коефіцієнта заміщення від коефіцієнта опалення приміщення, яке має систему непрямого обігріву без циркуляції.

Об'єктом дослідження є житловий будинок площею 150 м² з пасивною системою опалення типу стіна Тромба-Мішеля з природною циркуляцією повітря. Теплоакумулююча стіна складалася з керамзитобетону та пофарбована в чорний колір і мала наступні розміри: ширина – 5 м, висота – 3 м, товщина – 0,3 м. Зверху та знизу стіни знаходяться 5 циркуляційних отворів, площа яких складає 0,2 м² [7]. Склона стіна являє собою двокамерний склопакет. Повітряний прошарок між скляною стіною та теплопоглинаючою поверхнею – 0,1 м. Будинок добре утеплений, тепловтрати якого біля 25 кВт·год /м² [8]. Стіна має південну орієнтацію і сонцезахисний навіс, винос якого складає 0,75 м та кут нахилу – 55°, для зменшення перегріву в літній період [9].

Результати дослідження. Для обрахунку ефективності пасивної сонячної системи зі стіною Тромба-Мішеля, використовувались фактичні дані надходження прямої і розсіяної сонячної радіації в продовж дійсної години, дня, місяця опалювального сезону для Києва і Одеси. Тенденція надходження сонячної радіації в продовж опалювального сезону зображена на рис. 5 [6].

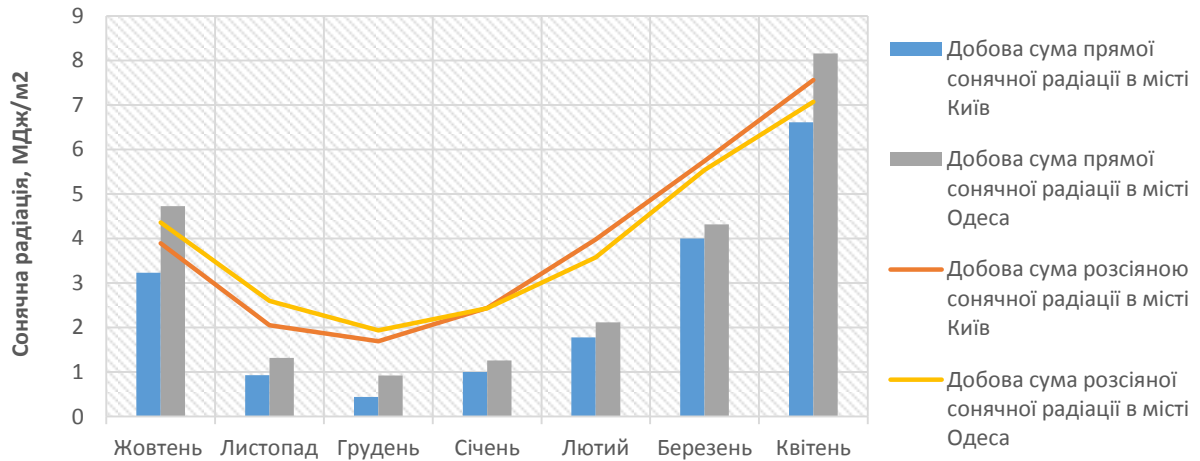


Рисунок 5. Надходження фактичної прямої і розсіяної сонячної радіації на горизонтальну поверхню при середніх умовах хмарності в Києві та Одесі.

Розглядаючи ефективність ПСО в продовж дня для кожного місяця опалювального сезону в Києві та Одесі (рис. 6-7) для будинків однакового типу, бачимо більшу ефективність південного регіону на 10% ніж північного.

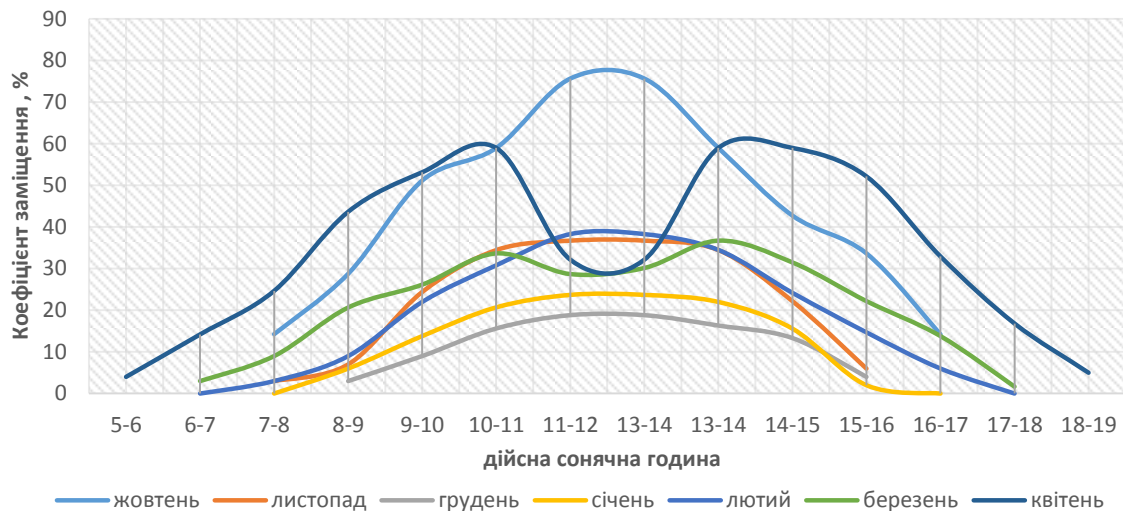


Рисунок 6. Залежність коефіцієнта заміщення теплоти від дійсної сонячної години в місті Київ

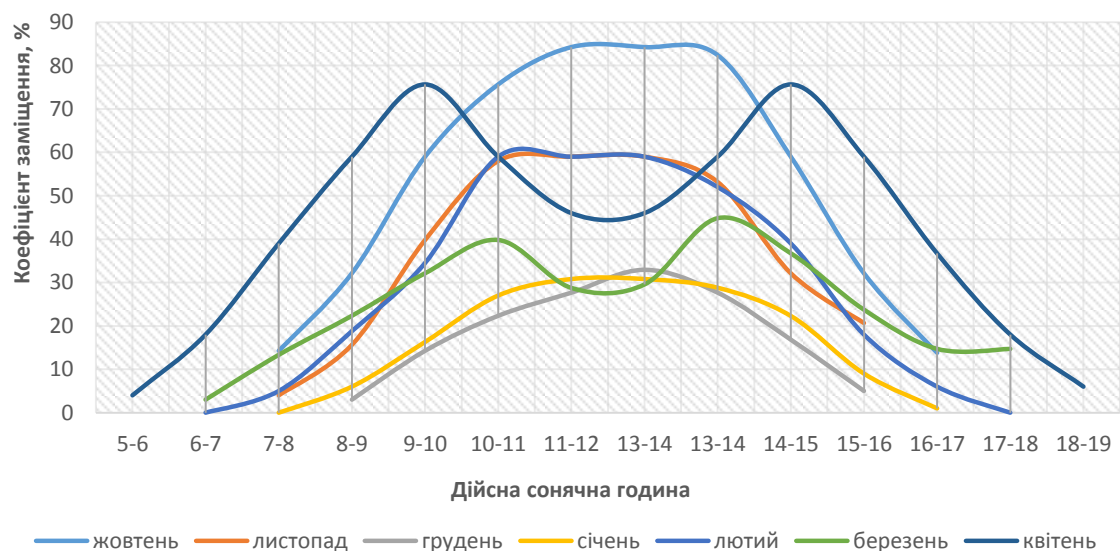


Рисунок 7. Залежність коефіцієнта заміщення теплоти від дійсної сонячної години в місті Одеса

Схилення Сонця в зимовий період нижче ніж в літній, кут падіння прямого сонячного випромінювання на вертикальну поверхню стіни пропорційно спадає, а потім зростає [6]. Для березня та квітня в години наближення до сонячного полудня характерне зменшення коефіцієнта заміщення за рахунок збільшення кута падіння сонячної радіації та зменшення приведеної поглинальної здатності світлопрозорої та теплопоглинаючої поверхонь.

Після розрахунків ПСО типу стіна Тромба-Мішеля за січень місяць опалювального періоду на прикладі декількох міст, які мають різну широту місцевості, при однакових архітектурних рішеннях отримали результати, які наведені в таблицях 1-3.

Таблиця 1. Надходження прямої і розсіяної сонячної радіації та кількість поглиненої теплоти одиницею поверхні стіни теплоприймача протягом розрахункового місяця

Місто	φ	S	D	Q _{погл}
	град п.ш	МДж/м ²		
Чернігів	51,3	57	54,5	169,1
Київ	50,3	66	58	182,3
Вінниця	49,2	73,5	60,5	191,3
Кіровоград	48,3	78	64,5	195,6
Миколаїв	46,58	84,5	69	194,1
Одеса	46,4	83,5	67	189,6
Сімферополь	44,57	99	68	198,7

Як бачимо з статистичних даних сумарної сонячної радіації, в місті Одеса та Сімферополі спостерігається нижче значення теплоти, яка надходить на одиницю вертикальної поверхні стіни Тромба-Мішеля, ніж передбачено. Таке відхилення залежить від багатьох факторів, один з них це кліматичні умови.

Таблиця 2. Коефіцієнти ефективності ПСО

Місто	η	η_0	$\Delta\eta$
Чернігів	0,440	0,422	0,018
Київ	0,442	0,422	0,020
Вінниця	0,443	0,422	0,021
Кіровоград	0,446	0,422	0,024
Миколаїв	0,450	0,422	0,027
Одеса	0,449	0,422	0,027
Сімферополь	0,455	0,422	0,032

На коефіцієнт ефективності системи в цілому при однакових архітектурних параметрах впливають: конструктивні рішення для забезпечення природної циркуляції, кількість теплоти сонячної радіації, що знаходить на 1 м² поверхні ПСО та середньомісячна температура повітря навколишнього середовища. З даних видно що система краще працюватиме в південних містах України, так як розрахункова середньомісячна температура повітря вища ніж в північних регіонах.

Таблиця 3. Кількість теплоти сонячної радіації, сумарні тепловтрати будівлі, коефіцієнт опалення та коефіцієнт заміщення витрати теплоти на опалення для різних міст України

Місто	$Q_{\text{пост}}$	$Q_{\text{тп}}$	$K_{\text{оп}}$	$f_{\text{зам}}$
	МДж/м ²			%
Чернігів	1301,3	10273	0,13	14,3
Київ	1409,8	10273	0,14	14,7
Вінниця	1483,5	10308	0,14	15,2
Кіровоград	1525,6	9905	0,15	15,6
Миколаїв	1527,4	9056	0,17	16,3
Одеса	1489,1	9021	0,17	16,3
Сімферополь	1581,1	8211	0,19	18,8

З розрахованих даних бачимо, найменший коефіцієнт заміщення теплотою сонячної радіації ПСО за січень місяць в північних регіонах.

Висновки

Пасивні сонячні системи є доступним варіантом для використання енергії сонця в системах обігріву та охолодження будівель, але обмеження існуючих моделей для оцінки їх енергетичної ефективності зменшує їх застосування.

Для визначення доцільності використання ПСО в містах України необхідно розглядати систему індивідуально, для зменшення затрат на встановлення стіни Тромба-Мішеля та збільшення економії паливно - енергетичних ресурсів на опалення будівлі. Підхід полягає в знаходженні оптимальних розмірів поглинаючої стіни, її матеріалу і товщини, також кількості та розмірів вентиляційних отворів для природної циркуляції повітря, величини повітряного прошарку між стіною і склінням, вибір самого скління (одно-, дво-, трьохкамерні склопакети), необхідні розміри козирка та використання інших пристроїв для зменшення перегріву будинку в літній період.

Література

1. Ржеганек Я., Яноуш А. Снижение теплопотерь в зданиях. Перевод с чешского. М.: Стройиздат, 1988. – 168 с.
2. Вольфганг Файст. Основные положения по проектированию пассивных домов. Перевод с немецкого. М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2008. – 144 с.
3. Энергетическое оборудование для использования нетрадиционных и возобновляемых источников энергии / В.И. Виссарионов, С.В. Белкина, Г.В. Дерюгина и др.; под ред. В.И. Виссарионова. – М.: ВИЭН, 2004. – 448 с.
4. Амерханов Р.А., Богдан А.В. Проектирование систем энергообеспечения. М.: Энергоатомиздат, 2010. – 548 с.
5. Амерханов Р.А. Оптимизация сельскохозяйственных энергетических установок с использованием возобновляемых видов энергии. – М.: Колос, 2003. – 532 с.
6. ДСТУ-Н Б В.1.1 – 27:2010 Будівельна кліматологія
7. Амерханов Р. А. Проектирование систем теплоснабжения сельского хозяйства: учебник / Р. А. Амерханов, Б. Х. Драганов; под. ред. Б. Х. Драганова. – Краснодар, 2001. – 200 с.
8. ДСТУ Б В.2.6 – 189:2013 Методи вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будівель.
9. Зингер Б.И. Характеристики и примеры конструктивных решений раздвижных перегородок, сдвижных и поворотнo-откидных дверей, солнцезащитных занавесей и жалюзи. – М.:Стройиздат,1994. – 126 с.

Студент Яцименко С.П.
Керівник доц.,к.т.н. Єщенко О.І.

ПРАКТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ БУДИНКІВ ЖИТЛОВОЇ СФЕРИ

Першим кроком на шляху підвищення енергоефективності комунальних об'єктів є проведення енергетичного аудиту, який дає можливість визначити причини та наслідки незадовільного стану споживання паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР) .

Необхідність енергоаудиту будівель житлової і громадської сфери зумовлена значними витратами енергоресурсів в житлово-комунальному господарстві (30 % від загально національних витрат).

Проведення енергодослідження дає реальну можливість суттєво зменшити попит на енергоносії шляхом розробки та впровадження енергозберігаючих заходів для конкретної забудови з метою підвищення рівня енергоефективності будівлі.

Насамперед питання термомодернізації стосуються житлової забудови 60–80 х років минулого століття, яка складає до 90% житлового фонду. Вказаний сектор

забудови масових серій не відповідає сучасним вимогам до теплозахисту та звукоізоляції.

Ефективним засобом з покращення рівня теплозахисту є теплотехнічна санація будинків. Для будинків так званої «хрущовської» забудови резерв зниження енерговитрат складає від 45 до 55% за розрахунками та практичним досвідом в Україні, Німеччині, державах Прибалтики.

Отже роботи та інвестиції в термосанацію будинків є на сьогодні вкрай актуальними та необхідними з позицій енергозбереження в ЖКГ та енергонезалежності країни в цілому.

Накопичений практичний досвід з проведення енергоаудиту дає можливість визначити, що загальний обсяг робіт загалом складається з 3-х етапів.

Перший етап.

1. Збір та аналіз інформації щодо існуючого стану об'єкту енергоаудита.
2. Визначення енергоспоживання за два-три попередніх років
3. Визначення тепловтрат розрахунковими та інструментальними методами.

Методи дослідження:

- визначення та аналіз розрахункових питомих тепловитрат на опалення впродовж опалювального періоду;
- візуальне та інструментальне (зокрема, тепловізором) обстеження;

3. Встановлення класу енергетичної ефективності будівлі за методикою ДВН В.2.6. – 31:2006. Теплова ізоляція.

Другий етап виконується на підставі результатів 1-го етапу, їх аналізу та узагальнення. Задачею даного етапу є оптимізація рівня теплозахисту будинку за техніко - економічними показниками.

1. Розробка заходів щодо зниження рівня тепло споживання шляхом зменшення витрат та втрат теплової енергії в будівлі.
2. Обґрунтування вибору технології та матеріалів при виконанні робіт з теплоізоляції з аналізом варіантів.
3. Розрахунки економічної ефективності запропонованих заходів з урахуванням екологічних та соціальних чинників.
4. Визначення класу енергетичної ефективності будівлі внаслідок впровадження запропонованих заходів. Порівняння базового, нормативного та проектного рівня енергоефективності

Третій етап.

1. Консалтингове супроводження з реалізації проектів з тепло- модернізації (теплозахист, система опалення).
2. Розробка та впровадження системи енергоменеджменту в умовах експлуатації з енергомоніторингом теплоспоживання до складу якого входить:
 - оперативний контроль за параметрами теплоносія в ІТП з автоматичним зняттям значень параметрів;
 - контроль параметрів мікроклімату в характерних приміщеннях будівлі;
 - візуальний та сенсорний контроль системи опалення.
3. Фінансовий моніторинг, який включає:
 - витрати за теплову енергію, холодну воду, ел. енергію (щомісячно протягом року);

- витрати на обслуговування інженерних систем будинку.
4. Аналіз експлуатаційної поточної інформації з розробкою прогнозової моделі з витрат енергоносіїв з урахування цін та тарифів.

В ІЕЕ НТУУ «КПІ» розроблена методика комплексного енергоаудиту відповідно до міжнародних стандартів серії ISO 50000.(1) За результатами такого енергоаудиту виконуються енергозберігаючі заходи, ефективність яких ілюструється у таблицях 1 і 2 (за узагальненим досвідом країн Балтії та Польщі за останнє десятиріччя).

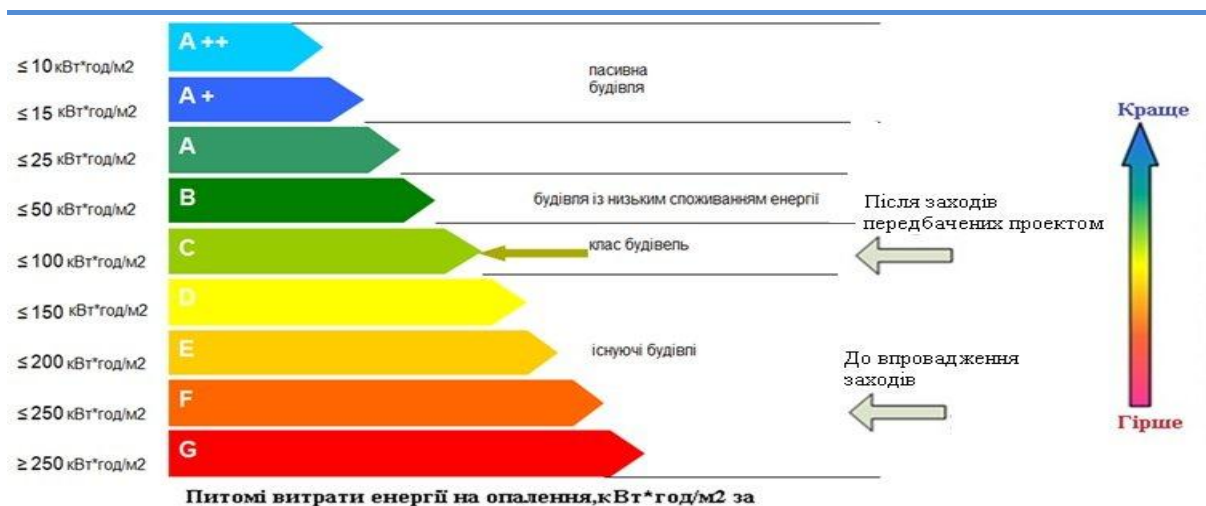
Таблиця 1. Ефективність енергозберігаючих заходів

<i>Енергозберігаючі заходи</i>	<i>Можлива економія, %</i>
Теплоізоляція зовнішніх стін	10–20
Заміна вікон	5–10
Теплоізоляція покрівлі, підвалів, дахових приміщень	2–5
Модернізація системи опалення	5–15

Таблиця 2. Енергетичні показники житлового будинку

<i>Назва показнику</i>	<i>Одиниця вимірювання</i>	<i>До термосанації</i>	<i>Після термосанації</i>
<i>Розрахункові річні витрати теплової енергії, Q_{річ}</i>	<i>кВт•год Гкал</i>	<i>1 640 300 1 410</i>	<i>380 100 327</i>
<i>Розрахункове значення питомих тепловитрат на опалення, q_{буд}</i>	<i>кВт•год/м²</i>	<i>175,2</i>	<i>55,3</i>
<i>Різниця розрахункового і нормативно-допустимого значення (E_{max} = 73 кВт•год/м²) 100•(q_{буд} - E_{max})/ E_{max}</i>	<i>%</i>	<i>+133,4</i>	<i>-26,7</i>
<i>Клас енергетичної ефективності</i>		<i>F</i>	<i>B</i>

Схема класифікації будівель по енергетичним витратам при проведенні енергетичного аудиту.



Для підвищення ефективності енергоаудит має бути комплексним - досліджуються енергетичні (теплова та електрична енергія) та матеріальні потоки (гаряча і холодна вода, стічні води), а також технічний стан системи опалення.

Літературні джерела:

1. ДСТУ_Н Б А.2.2.5:2007. Проектування. Настанова з розроблення та складання енергетичного паспорта будинків при новому будівництві та реконструкції [Текст]. – Уведено вперше ; чинний від 2008.07.01. – К. : Мінрегіонбуд України, 2008. – 44 с.
2. ДСТУ Б EN ISO 13790:2011. Енергоефективність будівель. Розрахунок енергоспоживання при опаленні та охолодженні [Текст]. – На заміну ГОСТ 26629.85; чинний з 01.01.2013. – К. : НДІБК, 2011. – 229 с.
3. Мхитарян Н.М. Энергосберегающие технологии в жилищном и государственном строительстве. – К.:Наукова думка. – 2000. – 416 с.
4. ДБН В.2.6-31:2006 «Теплова ізоляція будівель». – Киев.: Мінбуд України, 2006. – 64 с.

УДК 621.472

Бондаренко В.В.

Науковий керівник: Студенець В.П., к.т.н., доц.

АНАЛІЗ РОБОТИ СОНЯЧНИХ КОЛЕКТОРІВ РІЗНИХ ТИПІВ ТА ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОЇ ПЛОЩІ ГЕЛІОПОЛЯ.

В роботі виконано порівняння технічних характеристик сонячних колекторів різних типів. Знайдене оптимальне співвідношення між продуктивністю геліосистеми та часткою заміщення основного палива для побутових систем з допомогою комп'ютерного моделювання

Ключові слова: сонячний колектор, побутові геліосистеми.

PERFORMANCE ANALYSIS OF DIFFERENT TYPES OF SOLAR COLLECTORS AND DETERMINATION OF THE OPTIMAL AREA OF COLLECTOR FIELD.

Comparison of technical characteristics various types of solar collectors is given. The optimum ratio was found between performance of system and proportion of substitution of primary fuel for household systems by using computer simulation.

Key words: solar collector, home solar systems

Вступ

Ринок України насичений сонячними колекторами різних типів та моделей, що пропонують різні виробники. З такої великої кількості варіантів дуже складно обрати той, що є оптимальним для певних цілей. Ще складніше раціонально підібрати площу сонячних колекторів для даних потреб, оскільки неправильний підбір обладнання може негативно вплинути на продуктивність роботи геліосистеми, її строк служби та економічну привабливість проекту.

Аналіз стану питання

На ринку України виробниками представлено 2 основні типи колекторів: плоскі та трубчасті. І перші, і другі мають свої переваги та недоліки.[1]

Переваги плоских колекторів:

- Високий оптичний ККД
- Менша вартість
- Здатність самоочищатися від снігу

Переваги трубчастих колекторів:

- Низькі тепловтрати
- Можливість генерувати високі температури
- Простота монтажу

При виборі типу колектору досить важко визначити важливість та значимість кожного з факторів для споживача.

Одним з основних показників роботи геліосистеми є частка заміщення теплового навантаження. Частка заміщення - величина, що показує, яка частина енергії, використаної для потреб ГВП, була отримана завдяки роботі геліосистеми.

Зрозуміло, що покупці часто хочуть придбати геліосистему з максимально високою часткою заміщення, оскільки чим більшою є частка заміщення, тим більшою є економія енергії. Але чим більша частка заміщення, тим менша питома продуктивність на квадратний метр площі абсорбера - через неможливість уникнути «перевиробництва теплоти» влітку і зниження коефіцієнта корисної дії колектора (коефіцієнт корисної дії падає при зростанні різниці температур між колектором і навколишнім середовищем).

Тому проектування ефективної геліосистеми - це пошук компромісу між продуктивністю і часткою заміщення теплового навантаження [2].

Мета роботи

Порівняння сонячних колекторів, представлених на ринку України за параметрами приведеної вартості (на одиницю площі), оптичного ККД та коефіцієнта теплопередачі через поверхню колектора. Визначення оптимальної площі геліополя для побутових систем шляхом пошуку мінімальної вартості гарячої води при використанні для її підігріву геліосистеми за допомогою програмного забезпечення GetSolar.

Порівняння сонячних колекторів, представлених на ринку України

В роботі були порівняні сонячні колектори від основних європейських виробників, представлених на ринку України: Buderus, Vaillant, Viessman, Meibes, Ensol. Колектори були порівняні за результатами сертифікату Solar Keymark [4]. Результати порівняння наведені в таб.1 Для наочності представимо основні показники у вигляді діаграм (рис.1-4).

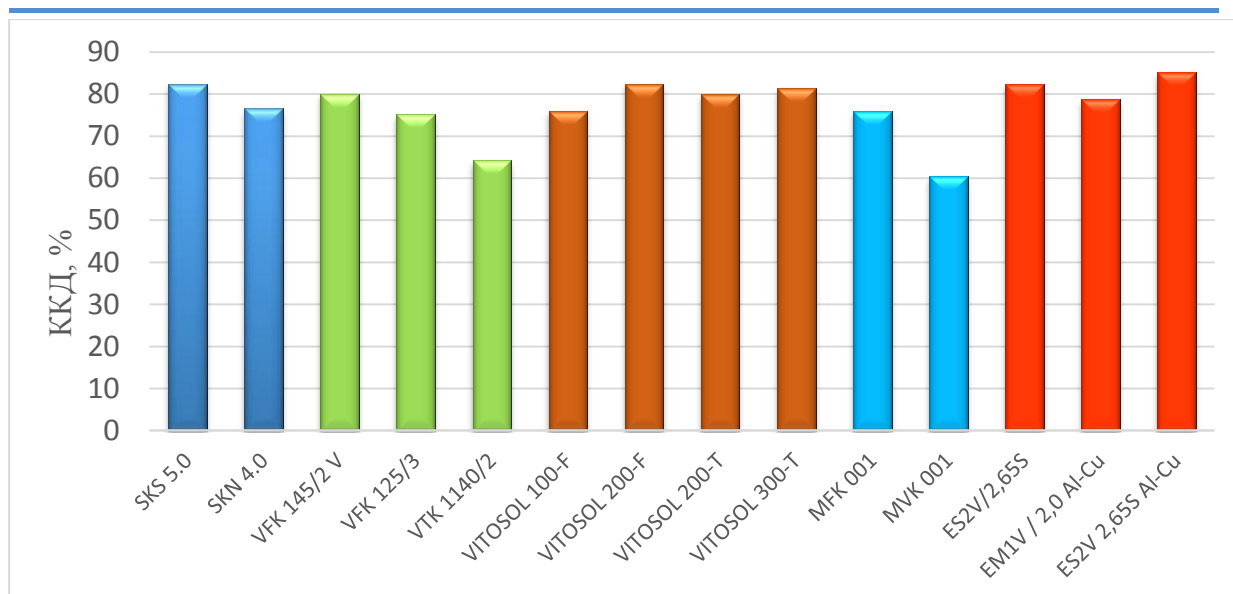


Рис.1 – Оптичний ККД колекторів

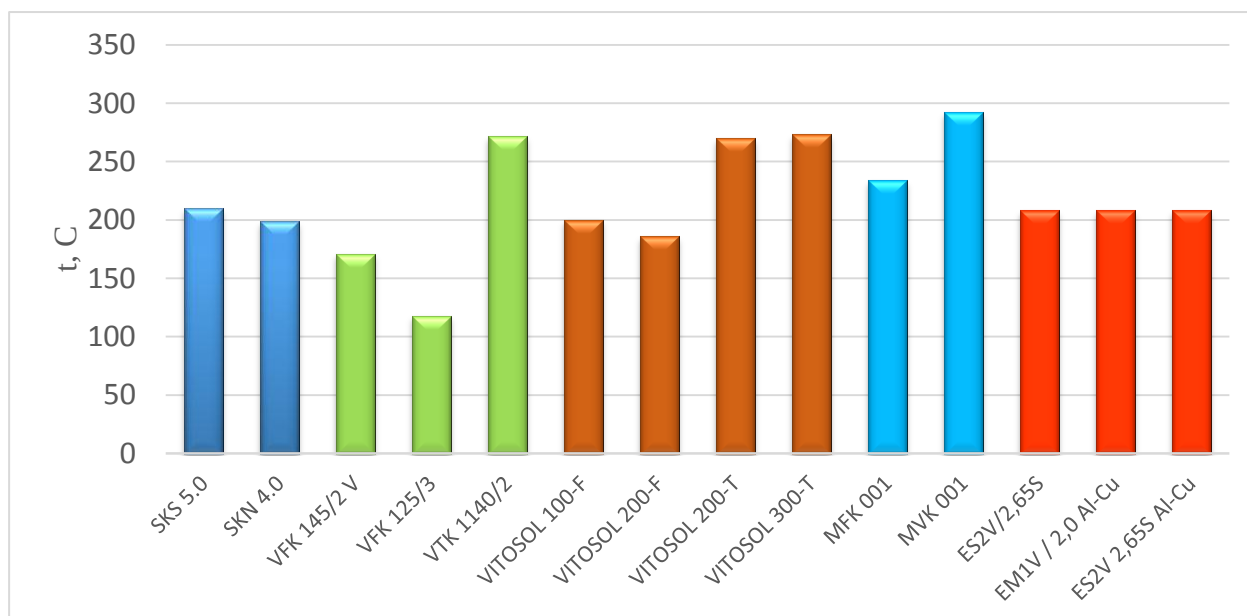


Рис.2 – Температура стагнації колекторів

Таблиця 1 – Технічні характеристики сонячних колекторів

Колектор		Тип	Площа абсорбера, м ²	Оптичний ККД, %	Температура стагнації, °С	Вартість, €	k1, Вт/(м ² ·К)	k2, Вт/(м ² ·К)	Вартість, €/м ²	Вартість, €	к _{сум} , Вт/(м ² ·К)
Buderus	SKS 5.0	П	2,25	82,4	210	949	3,47	0,015	17,8	421,8	3,485
	SKN 4.0	П	2,25	76,6	199	779	4,036	0,0108	17,8	346,2	4,0468
Vaillant	auroTHERM VFK 145/2 V	П	2,35	80,1	171	810	3,32	0,023	16,2	344,7	3,343
	auroTHERM VFK 125/3	П	2,35	75,2	118	573	3,98	0,018	16,2	243,8	3,998
	auroTHERM VTK 1140/2	Т	2	64,2	272	1803	0,885	0,001	18,5	901,5	0,886
Viessman	VITOSOL 100-F	П	2,3	76	200	578	4,14	0,0108	18,3	251,3	4,1508
	VITOSOL 200-F	П	2,3	82,4	186	782	4,04	0,0182	17,8	340,0	4,0582
	VITOSOL 200-T	Т	3,03	80,1	270	2436	1,1	0,0076	26,1	804,0	1,1076
	VITOSOL 300-T	Т	3,02	81,3	273	3062	1,33	0,0067	26,2	1013,9	1,3367
Meibes	MFK 001	П	2,3	76	234	750	3,46	0,016	18,3	326,1	3,476
	MVK 001	Т	2,23	60,5	292	1329	0,85	0,01	18,8	596,0	0,86
Ensol	ES2V/2,65S	П	2,44	82,4	208	550	2,905	0,03	20,1	225,4	2,935
Ensol	EM1V / 2,0 Al-Cu	П	1,876	78,8	208	377	3,485	0,017	21,3	201,0	3,502
Ensol	ES2V 2,65S Al-Cu	П	2,44	85,2	208	442	3,92	0,15	20,1	181,1	4,07

П – плоский колектор

Т – трубчастий колектор

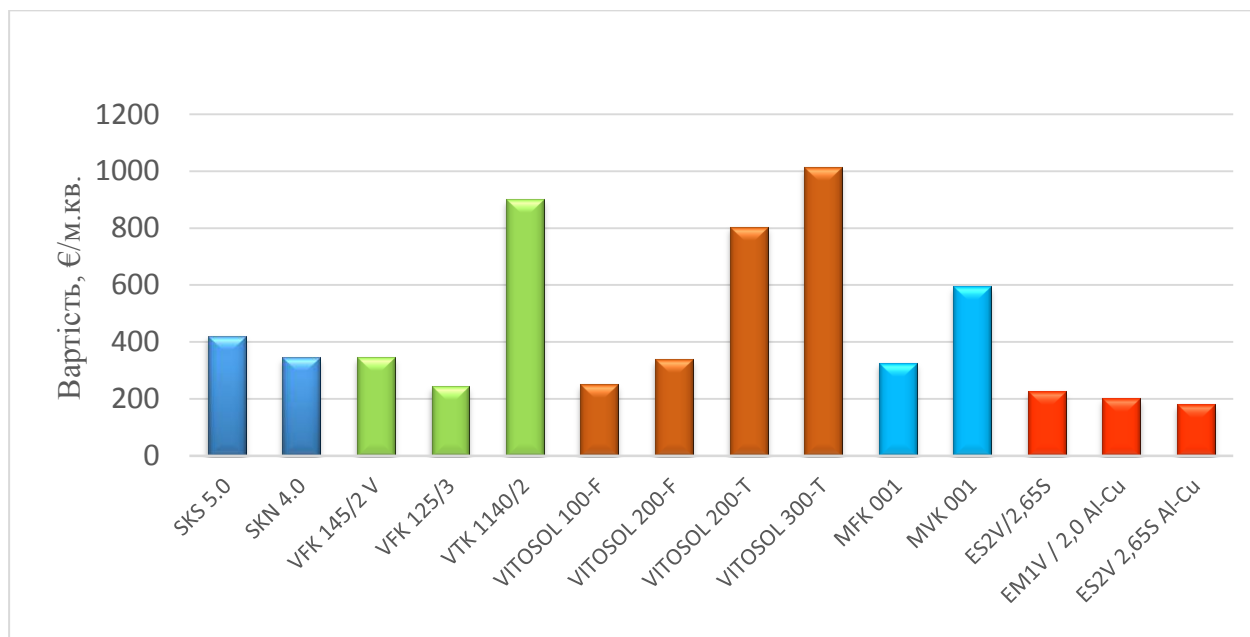


Рис.3 – Вартість приведена на одиницю площі абсорбера

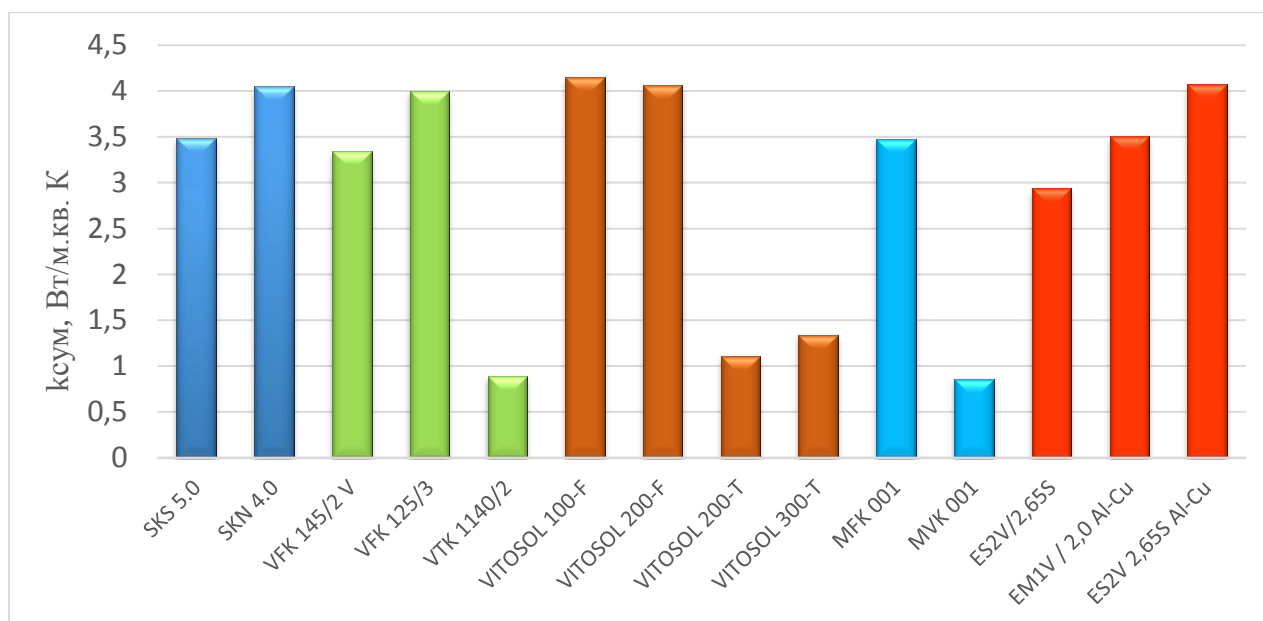


Рис.4 - Сумарний коефіцієнт теплопередачі через поверхню колектора

Для порівняння продуктивності роботи плоских та трубчастих колекторів за різних умов на основі сертифікату Solar Keymark наведена залежність ККД колектора від різниці температур між абсорбером та навколишнім середовищем (рис.5). Випробування проведені при рівні інсоляції 1000 Вт/м^2 [4].

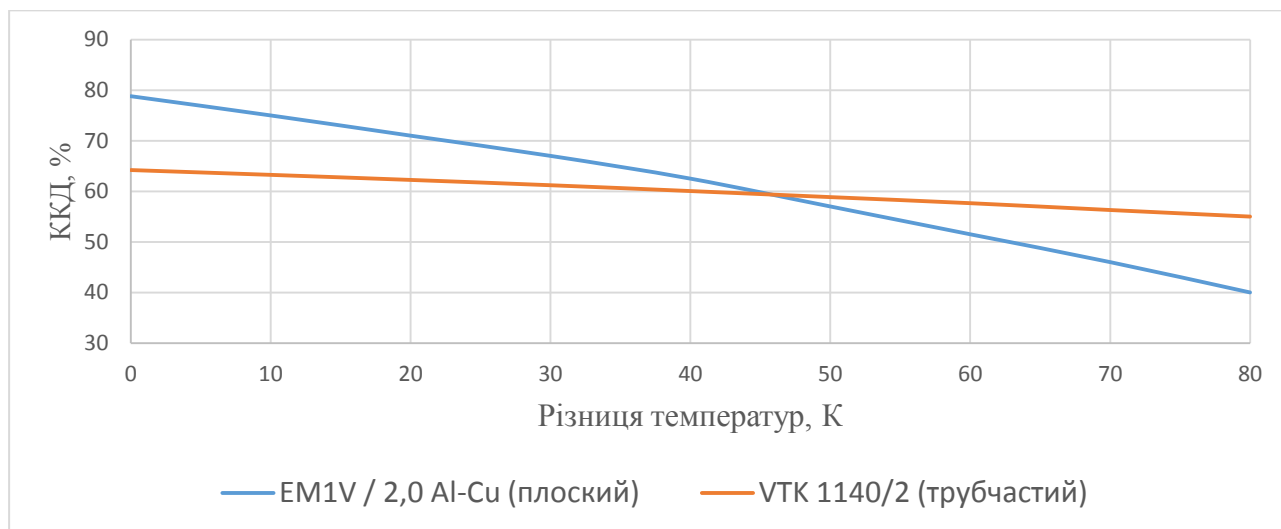


Рис.5 – Залежність ККД колектора від різниці температур між абсорбером та навколишнім середовищем.

Визначення оптимального співвідношення між часткою заміщення та продуктивністю сонячного колектора для побутових систем.

Після встановлення геліосистеми вартість підігріву гарячої води є сумою двох складових: витрат на догрів гарячої води з допомогою основного джерела (газовий, твердопаливний котел тощо) та амортизаційних відрахувань [3].

Першу складову можна обчислити за формулою:

$$T_{\text{гв}} = \frac{E}{f} \psi(1 - f), \quad (1)$$

де: E – річна економія коштів за рахунок роботи геліосистеми,
 f – частка заміщення.

Амортизаційні відрахування обчислюються за формулою:

$$T_A = \frac{I}{t}, \quad (2)$$

де: I – початкові інвестиції у встановлення геліосистеми,

t – термін експлуатації геліосистеми, у даному випадку 25 років.

Для подальших розрахунків обрано колектор типу Ensol EM1V/2,0 Al-Cu, що показав одні з найкращих показників при аналізі у попередньому пункті. Вартість геліосистеми, що базується на колекторах данного типу включає:

- колектор,
- подвійна насосна станція Ensol 2-12 л/хв. з насосом Grundfos,
- система гідравлічного підключення для колекторів,
- мембранний розширювальний бак з комплектом підключення,
- контролер геліосистеми,
- теплоносій для геліоконтура,
- трубопровід,
- кріплення колекторів до даху.

При розрахунку вартості геліосистеми враховується відшкодування частини тіла кредиту на енергозберігаюче обладнання, що відбувається згідно постанови Кабінету міністрів України.

Для пошуку мінімальної вартості гарячої води при використанні для її підігріву геліосистеми використовується програмне забезпечення GetSolar, що дозволяє моделювати роботу геліосистеми.

Вихідні дані для моделювання:
 споживання гарячої води – 350 л/доба,
 температура холодної води - 10° С,
 температура гарячої води - 50° С,
 місце установки – Київ,
 кут нахилу колектора – 45°,
 відхилення від південного напрямку – 0°,
 об'єм накопичуючого бака – 400 л,
 максимальна температура бака – 85° С,
 традиційне джерело енергії – газовий котел з вентиляторним пальником (3 ККД 92%-взимку / 80% - навесні, восени / 60% - влітку),
 схема підключення – бівалентний бак,
 профіль споживання гарячої води – нормальний (піки вранці та ввечері, спади вночі та вдень).

Для зміни частки заміщення нагріву гарячої води проведено декілька перерахунків для різної кількості колекторів - 1, 2, 3, 4, 5, 6. 7. Основні отримані результати занесено до таблиці 2.

Таблиця 2 – Результати моделювання роботи геліосистеми

Кількість колекторів	Площа абсорбера, м ²	ККД геліосистеми, %	Частка заміщення, %	Економія газу, м ³	Економія, грн
1	1,88	58	25	213	1465
2	3,75	49	41	355	2442
3	5,63	43	54	470	3233
4	7,50	38	62	542	3728
5	9,38	33	67	585	4024
6	11,26	29	71	612	4210
7	13,13	25	73	631	4341

За отриманими результатами виконано розрахунки за формулами (1), (2) для кожного варіанту та розраховано сумарну вартість підігріву гарячої води. Результати наведено у таблиці 3.

Таблиця 3 – Результати розрахунків

Кількість колекторів, шт	Вартість геліосистеми, євро	Вартість геліосистеми, грн	Витрати на догрів води, грн/рік	Амортизаційні відрахування, грн/рік	Сумарні витрати, грн/рік	Вартість підігріву води, грн/м ³
1	876	25395	4396	1016	5411	42,36
2	1191	34530	3514	1381	4895	38,32
3	1513	43868	2754	1755	4509	35,29
4	1877	54445	2285	2178	4463	35,93
5	2191	63539	1982	2542	4524	35,21
6	2508	72735	1720	2909	4629	36,43
7	2897	84001	1605	3360	4966	39,87

За результатами, викладеними у таблицях 2, 3, побудовані залежності для основних характеристик геліосистеми (рис.6-10).

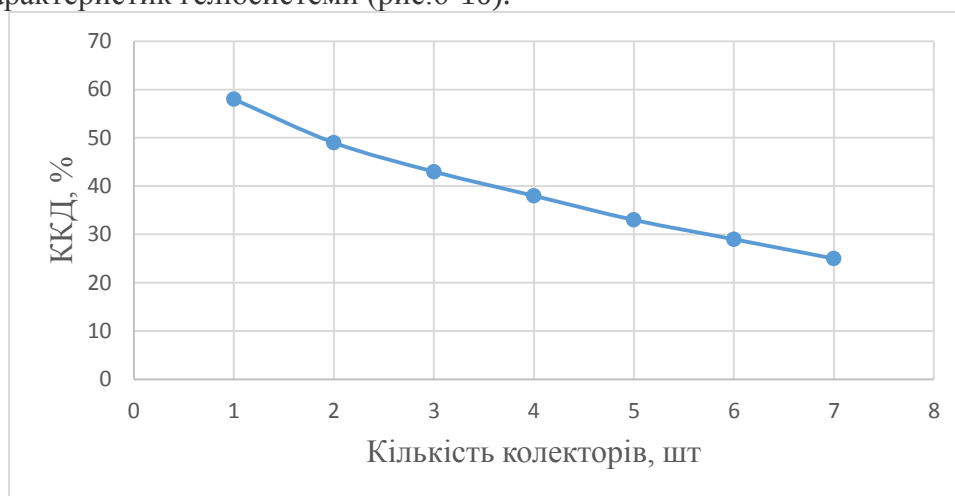


Рис.6 – ККД геліосистеми

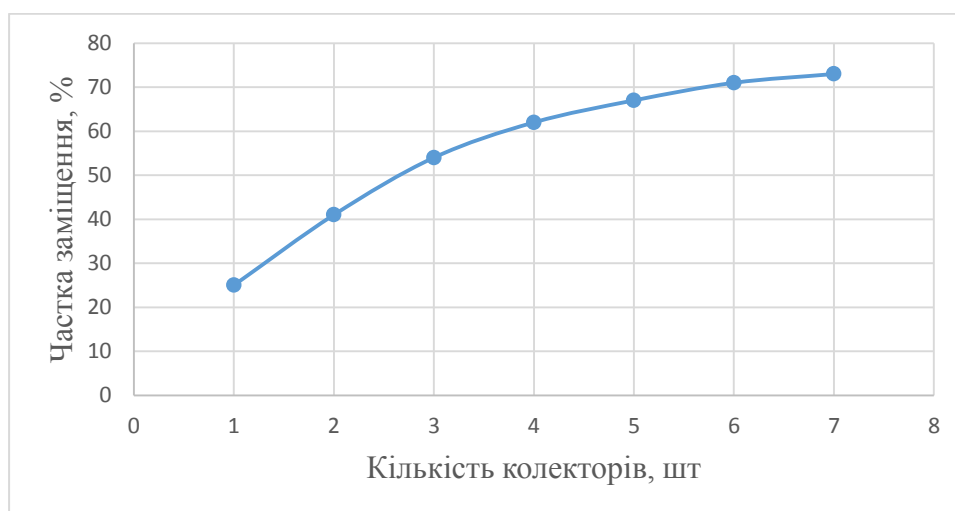


Рис.7 – Частка заміщення енергії для підігріву гарячої води геліосистемою.

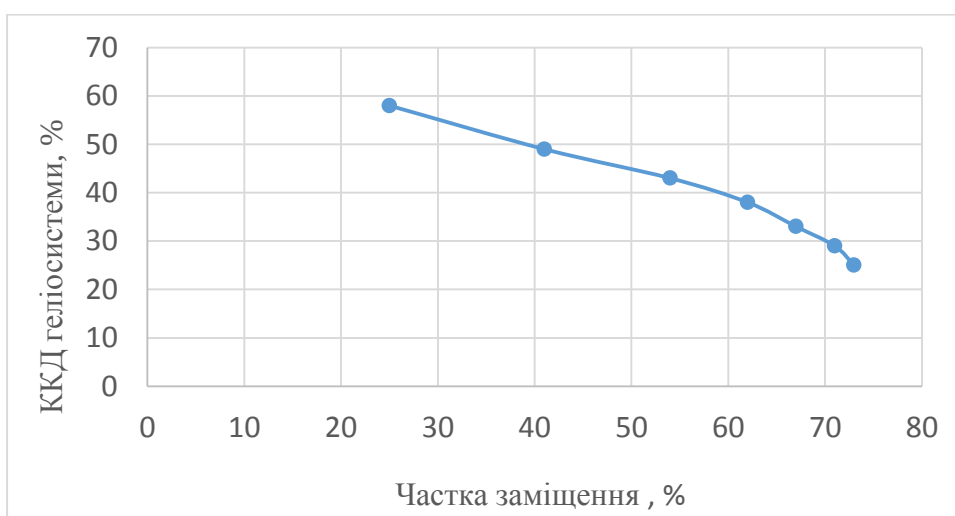


Рис.8 – Залежність ККД геліосистеми від частки заміщення теплового навантаження.

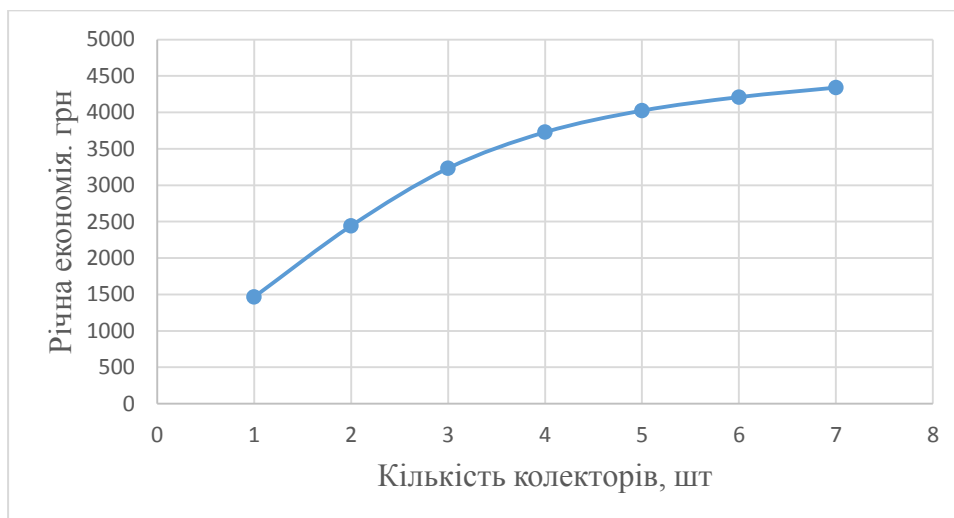


Рис.9 – Економія коштів від роботи геліосистеми.

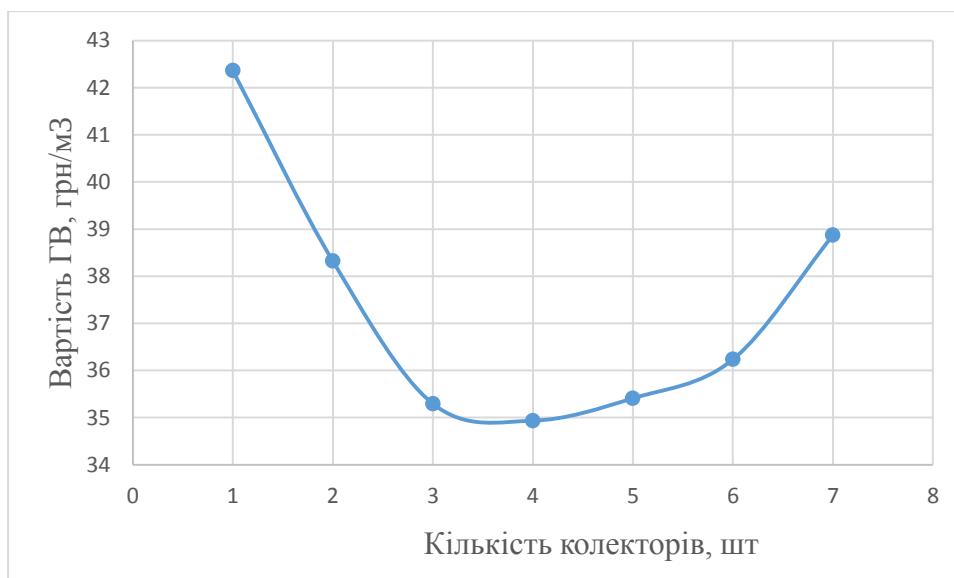


Рис.10 – Вартість гарячої води за умови заміщення частини енергії для її підігріву геліосистемою.

Висновок

Проаналізувавши технічні дані колекторів, що представлені на ринку України можна дійти висновку, що плоскі колектори мають перевагу під час роботи з малою різницею температур між абсорбером та навколишнім середовищем, а трубчасті при великій різниці температур. Отже, враховуючі суттєву різницю у вартості колекторів та той факт, що пік продуктивності геліосистеми припадає на літній період, коли різниця температур не є великою, то можна зробити висновок, що для побутових геліосистем плоскі колектори є більш відповідними. Для систем, в яких необхідно отримати велику температуру теплоносія (технологічні процеси, абсорбційні та адсорбційні холодильні машини тощо) має місце використання трубчастих колекторів.

При пошуку оптимальної площі колекторів для побутових систем було отримано результат 3-5 колекторів при споживанні 350 л на добу, отже оптимальна площа геліополя – 1,6-2,7 м² площі абсорбера на кожні 100 л споживання гарячої води на добу. Частка заміщення теплового навантаження геліосистемою за цих умов складає 54-67%, а ККД геліосистеми – 33-43%.

Література

1. Бекман У., Клейн С., Даффи Дж. Расчёт систем солнечного теплоснабжения – М: Энергоиздат, 1985. – 80 с.
2. Книга о Солнце. Руководство по проектированию систем солнечного теплоснабжения. К 10-летию ООО «Виссманн» в Украине. К. «Злато-Граф», 2010. – 194 с.
3. Харченко Н.В. Индивидуальные солнечные установки. – М: Энергоатомиздат, 1991. – 208 с.
4. The Solar Keymark [Електронний ресурс]: Product Certification - <http://www.estif.org/solarkeymarknew>

УДК 621.43.056:632.15

Яковенко С.О., студент

науковий керівник:

Студенець В.П, к.т.н., доц.

НТУУ"КПІ", ІЕЕ

ДОСЛІДНИЙ СТЕНД «СОНЯЧНИЙ ІМІТАТОР – ДВИГУН СТИРЛІНГА» З РЕКУПЕРАЦІЄЮ ВІДВЕДЕНОЇ ТЕПЛОТИ

Проведено експериментально-аналітичне дослідження роботи науково-дослідного стенду «сонячний імітатор – двигун Стирлінга» з рекуперацією відведеної теплоти з метою визначення ефективності процесу перетворення сонячної енергії в механічну з одночасною рекуперацією охолоджувальної води.

RESEARCH UNIT "SOLAR SIMULATOR - STIRLING ENGINE" WITH SINK HEAT RECOVERY

An experimental and analytical study of research stand "solar simulator - Stirling engine" with heat recuperation assigned to determine the efficiency of converting solar energy into mechanical energy with simultaneous cooling water recovery .

Вступ. Сонце є найпотужнішим джерелом енергії для нашої планети. Сонячна енергія не забруднює навколишнє середовище, в той-же час є найдоступнішим джерелом, що працює безкоштовно і безперервно. Вчені багатьох країн працюють над завданням переробки сонячної енергії в електричну.

Сонячна енергетична установка на основі двигуна Стирлінга чудово справляється з цим завданням. Хороший ККД, простота обслуговування, безшумність і надійність конструкції двигуна Стирлінга зумовлюють ефективність його використання в таких системах. Сонячний імітатор фокусується на ресивері для розігріву двигуна. Охолоджує систему водяний насос, який також працює від сонячної енергії.

Аналіз стану питання. Порівнюючи з працюючими на внутрішньому згорянні двигунами Отто або Дизеля, двигун Стирлінга залежить тільки від зовнішнього надходження тепла. Що є джерелом теплоти – принципового значення не має. Тому двигун Стирлінга є ідеальним кандидатом для перетворення сонячного випромінювання в механічну енергію:

1. У двигуні Стирлінга постійна кількість робочого газу постійно нагрівається і охолоджується.

2. Через розширення при нагріванні і стискання при охолодженні, робочий газ приводить в рух два поршня, кожен з яких прикріплений до валу — таким чином передається енергія.

3. Ефективність двигуна Стірлінга зростає при зростанні температури, тому він є ідеальною комбінацією для виробництва енергії через сонячний колектор.

4. Тут немає внутрішнього згоряння, тому установка Стірлінга працює майже безшумно.

5. Потенційний життєвий цикл двигуна Стірлінга є дуже тривалим, оскільки немає внутрішнього зносу через горіння палива.

З використанням водяного насоса на сонячній батареї відбувається процес рекуперації теплоти, за рахунок цього ми отримуємо додаткові можливості: охолодження двигуна Стірлінга, що позитивно впливає на його ККД та в той самий час нагріваємо воду за рахунок тепла, що виробляє двигун Стірлінга.

Мета роботи. Метою роботи є створення сонячної енергетичної установки на базі двигуна Стірлінга УДС – 1 для дослідження когенераційного процесу.

Задачі дослідження:

- Створення дослідницької сонячної енергетичної установки на базі підібраних структурних елементів: сонячного концентратора, двигуна Стірлінга УДС – 1, електрогенератора, водяного насоса.
- Проведення експериментальних досліджень з доведення роботоздатності створеної СЕУ та визначення основних робочих параметрів її структурних елементів.
- Аналіз отриманих експериментальних результатів для подальшого проведення теоретичних розрахунків з визначення основних характеристик процесу перетворення енергії сонячного випромінювання у механічну енергію, з одночасним використанням теплоти, що відводиться у циклі Стірлінга.

Методики, матеріали і результати досліджень.

План досліджень:

- Налагодження дослідницького стенду «сонячний імітатор – двигун Стірлінга» з рекуперацією відведеної теплоти.
- Проведення експериментальних досліджень з вимірюванням основних характеристик роботи установки.
- Обробка результатів експерименту.

На базі Інституту енергозбереження та енергоменеджменту НТУУ «КПІ» створено експериментальний науково-дослідний стенд «сонячний імітатор – двигун Стірлінга» з рекуперацією відведеної теплоти (Рис. 1), який складається з таких елементів:

- сонячний імітатор на базі кварцево-галогенної лампи із термовипромінювачем КГТ 220-1000-3 та світильником для неї.
- двигун УДС-1 як динамічний перетворювач.
- водяний насос на сонячній батареї SP2-320607

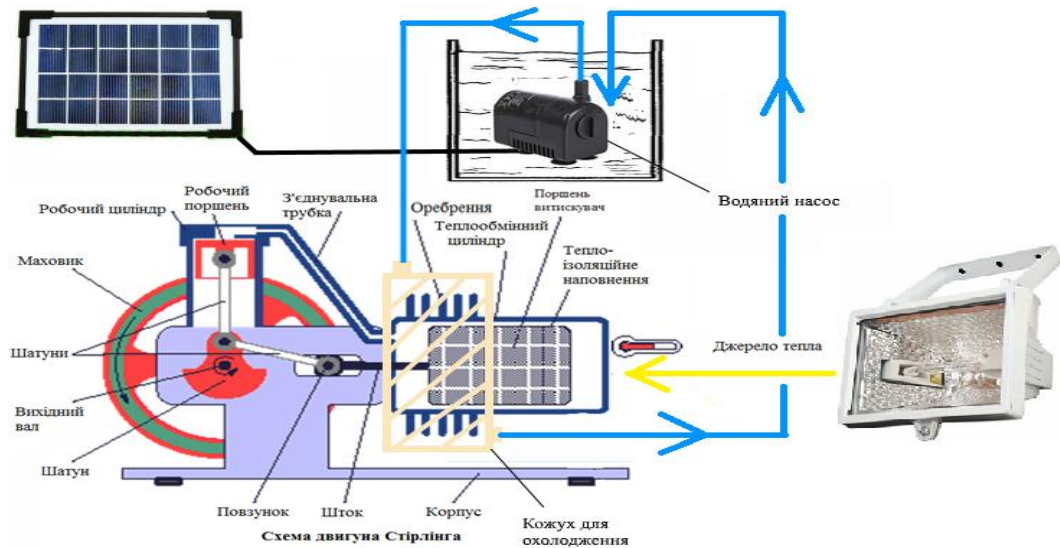


Рис. 1 Схема експериментального стенду

1. Двигун Стірлінга УДС-1

Як динамічний перетворювач була вибрана модель УДС-1 (ДС односторонньої дії, витискувального типу, з робочим і додатковим циліндрами, розташованими під кутом 90°), схема якої представлена на Рис. 2 з позначенням її складових елементів:

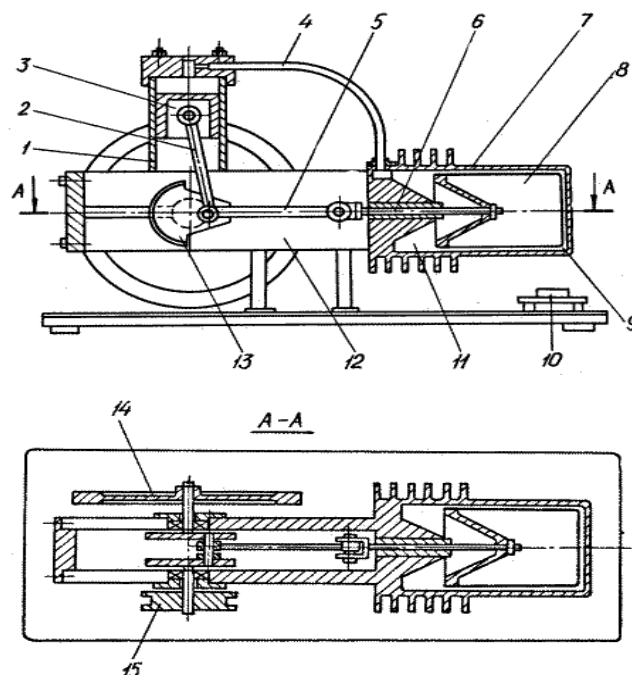


Рис. 2 Учбово-демонстраційна модель двигуна Стірлінга УДС-1:

1 – робочий циліндр, 2 – шатун, 3 – робочий поршень, 4 – трубка внутрішнього контуру, 5 – шатун, 6 – втулка, 7 – циліндр, 8 – поршень-витискувач, 9 – гаряча порожнина, 10 – місце для зовнішнього підводу теплоти, 11 – холодна порожнина, 12 – корпус, 13 – кривошип, 14 – маховик, 15 – шків.

2. Сонячний імітатор

У якості сонячного імітатора було обрано кварцево-галогенну лампу КГТ 220-1000-3 (Рис. 3) встановлену у світильник «e.halogen.1000.black» (Рис. 4)

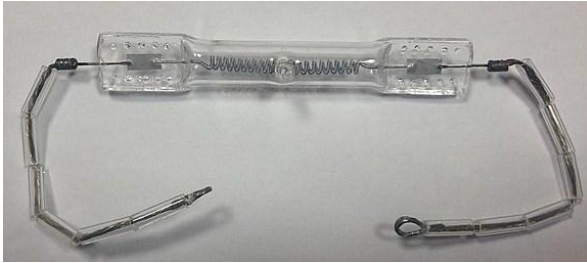


Рис. 3 Інфрачервона лампа КГТ220-1000-3



Рис. 4 Світильник «e.halogen.1000.black»

3. Водяний насос на сонячній батареї SP2-320607

В якості водяного насоса на сонячній батареї було обрано насос марки SP2-320607 (Рис. 5).



Рис. 5 Водяний насос на сонячній батареї SP2-320607

Експериментальне дослідження.

Під час експерименту були виміряні:

- Температури поверхні гарячої порожнини $[T_1]$ УДС-1
- Температури води перед підведенням до установки $[T_1^B]$ та через 5 хвилин роботи двигуна $[T_2^B]$
- Частота обертання УДС-1 $[n]$
- Тиск у робочому циліндрі $[P]$

В таблицях 1 - 4 приведені зняті експериментальні дані під час проведення досліджень.

Таблиця 1. Експериментально отримані дані. Дослід 1

№ експерименту	U, Вольт	T ₁ , °C (L = 7см)	T ₁ , °C (L = 8см)	T ₁ , °C (L = 9см)	T ₁ , °C (L = 10см)	T ₁ , °C (L = 12см)
1	150	265	285	295	280	245
2	200	315	370	382	356	305

Таблиця 2. Експериментально отримані дані. Дослід 2

№ експерименту	U, Вольт	n, об/хв (L = 7см)	n, об/хв (L = 8см)	n, об/хв (L = 9см)	n, об/хв (L = 10см)	n, об/хв (L = 12см)
1	150	290	322	351	344	303
2	200	327	423	502	476	380

Початкова температура для всіх експериментів T₁^Б = 15 , °C.

Таблиця 3. Експериментально отримані дані. Дослід 3

U, Вольт	T ₂ ^Б , °C (T ₁ = 265°C)	T ₂ ^Б , °C (T ₁ = 285°C)	T ₂ ^Б , °C (T ₁ = 295°C)	T ₂ ^Б , °C (T ₁ = 280°C)	T ₂ ^Б , °C (T ₁ = 245°C)
150	19,3	21,5	22,4	21,2	20,1

Таблиця 4. Експериментально отримані дані. Дослід 4

U, Вольт	T ₂ ^Б , °C (T ₁ = 315°C)	T ₂ ^Б , °C (T ₁ = 370°C)	T ₂ ^Б , °C (T ₁ = 382°C)	T ₂ ^Б , °C (T ₁ = 356°C)	T ₂ ^Б , °C (T ₁ = 305°C)
200	20,1	23,2	24,3	22,8	21

Після отримання експериментальних даних можемо побудувати графіки залежностей на

Рис. 6 – 11

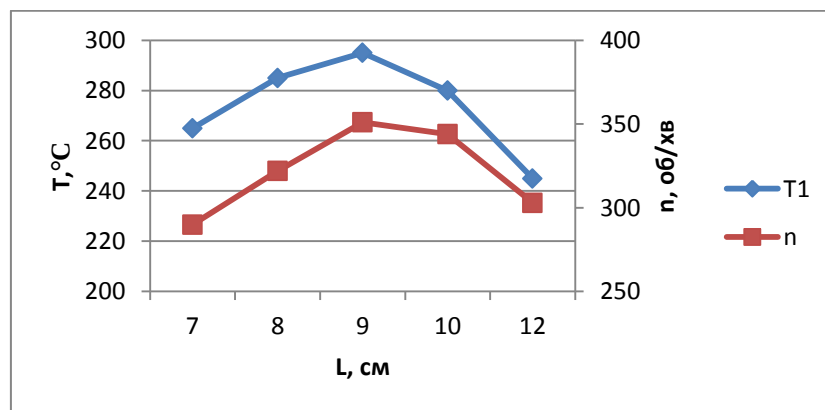


Рис. 6 Залежність швидкості обертання та температури гарячої порожнини УДС-1 від відстані до імітатора при U = 150 В.

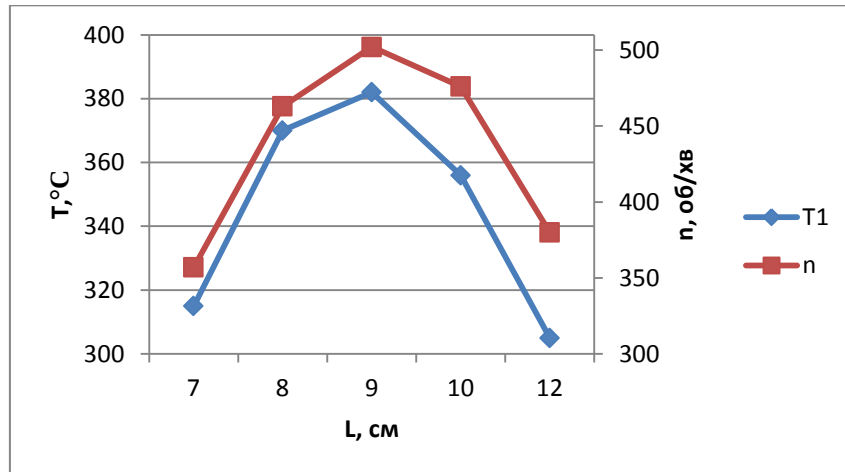


Рис. 7 Залежність швидкості обертання та температури гарячої порожнини УДС-1 від відстані до імітатора при $U = 200$ В.

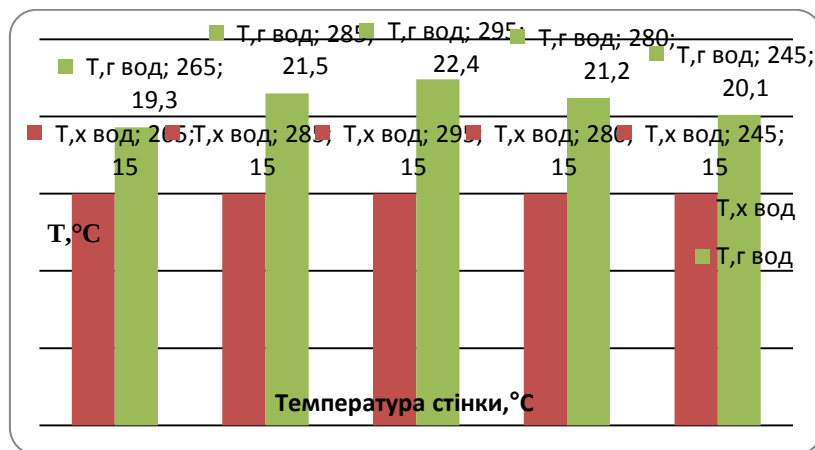


Рис. 8 Залежність температури охолоджувальної води від температури гарячої порожнини УДС-1 при $U = 150$ В ($\tau = 5$ хв)

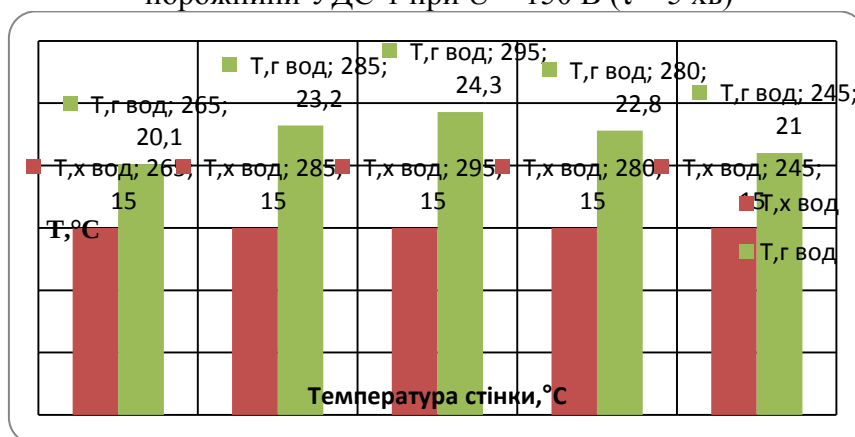


Рис. 9 Залежність температури охолоджувальної води від температури гарячої порожнини УДС-1 при $U = 200$ В ($\tau = 5$ хв)

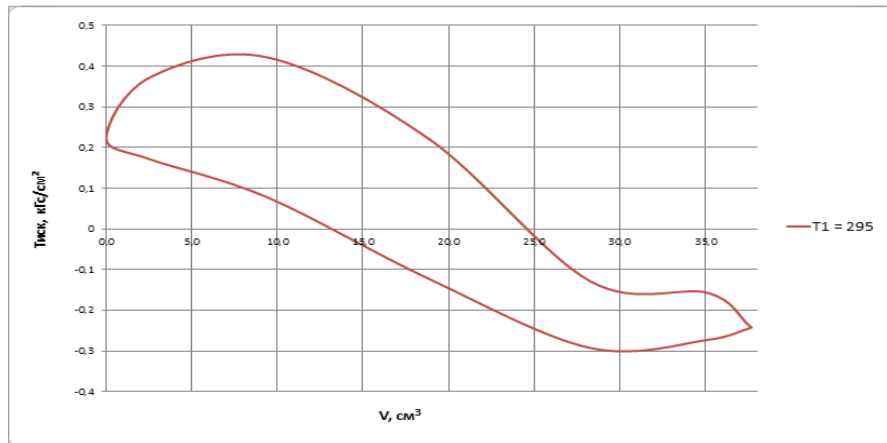


Рис. 10 Індикаторна діаграма УДС-1, $U = 150$ В, $L = 9$ см
 $T_1 = 295$ °С, $n = 351$ об/хв.

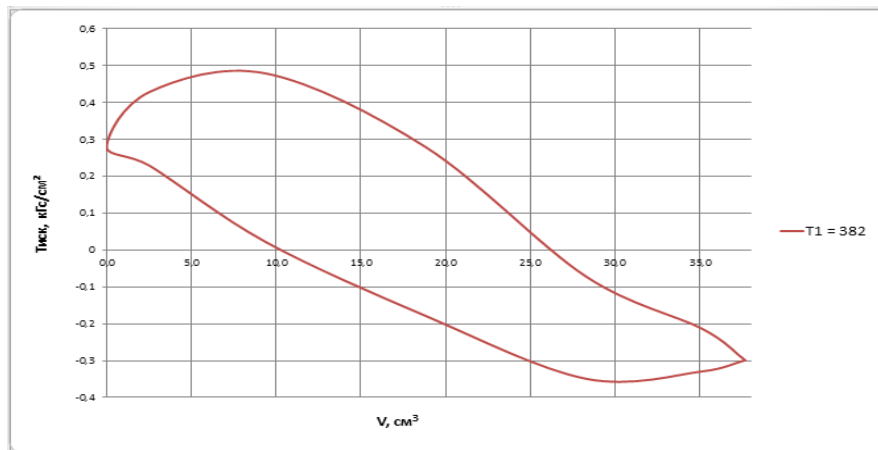


Рис. 11 Індикаторна діаграма УДС-1, $U = 200$ В, $L = 9$ см
 $T_1 = 382$ °С, $n = 502$ об/хв.

Висновки.

1. Температура гарячої порожнини T_1 та швидкість обертання n УДС-1 мають максимальні значення при відстані до імітатора $L = 9$ см, яка є оптимальною для роботи установки.
2. Температура нагріву води у процесі рекуперації теплоти, відведеної в циклі УДС-1, $T_2^B = 24,3$ °С по відношенню до початкової $T_1^B = 15$ °С (час роботи стенду $\tau = 5$ хв, ел. напруга імітатора $U = 200$ В).
3. Отримані індикаторні діаграми роботи УДС-1 дозволяють розрахувати величини механічної роботи, отриманої на установці, яка є функцією робочої відстані до імітатора та його потужності.

Література.

1. Ридер Г. Двигатели Стирлинга/ Ридер Г., Хупер Ч.- Пер. с англ. М.: Мир, 1986, - 464с
2. Walker, G. Stirling-Cycle Machines. - Oxford University Press, 1973. – 156 с.

УДК 31.18.278

Гетманчук Ганна Олександрівна

Керівник Константінов Сергій Михайлович професор, к.т.н.

Інститут енергозбереження та енергоменеджменту

НТУУ КПІ

Вплив електрофізичних властивостей на ефективність розщеплення води.

Актуальність: з кожним роком все гостріше постає питання пошуку і розробки відновлювальних джерел енергії, у зв'язку з тим, що запаси природних енергоресурсів невинно зменшуються. В даний час вже застосовуються альтернативні види енергії такі як: енергія вітру, припливів та відливів, енергія сонця, геотермальна енергія, біоенергія. Але є проблеми, що обмежують розвиток цих джерел енергії: по-перше, вони можуть застосовуватись лише у певних районах земної кулі, де для них створені сприятливі природні умови, по-друге, для спорудження цих електростанцій необхідні значні капіталовкладення. Одним з найперспективніших та екологічно чистих видів енергії є водень.

Мета: Інтенсифікація процесу отримання водню із води при одночасному зниженні енерговитрат, шляхом дослідження резонансного електромагнітного поля на розщеплення води.

Розвитку водневої енергетики приділялася увага ще в середині 70-х років минулого століття, але нині це питання стоїть більш гостро. Переваги водню як палива пов'язані не тільки з тим, що при його згорянні утворюється екологічно чиста водяна пара. Він має великий запас енергії: при згорянні 1 т. водню виділяється стільки ж тепла, стільки при згорянні 3,5 т. органічного палива. Крім того, на відміну від вуглеводневого, він здатний до окиснення при низьких температурах з прямим перетворенням хімічної енергії в електричну, що може виявитися вирішальним аргументом в його застосуванні в енергетиці. Пристрої, що дозволяють реалізувати цю унікальну особливість, так звані паливні елементи або електрохімічні генератори енергії, характеризуються дуже високим коефіцієнтом корисної дії – 70-80 %, тобто в 2-2,5 рази перевищують ККД теплових двигунів. Але слід мати на увазі, що у вільному вигляді водню на Землі немає, це не паливо, а енергоносіє.

Існують два основних промислових методи одержання водню. Один із них – екологічно чистий, заснований на електролізі або електрохімічному розкладанні води або водяної пари. Разом з тим найперспективнішим з точки зору екології та економіки є отримання водню електролізом води. Однією з перешкод для широкомасштабного використання електролітичного методу до нині було велике споживання електричного струму. Але застосування поновлюваних і екологічно чистих методів отримання електричної енергії, яке буде використовуватися для електролізу води, – це дійсно екологічно чиста комплексна технологія.

Витрати енергоресурсів (нафта, газ, електроенергія) на опалення виробничих приміщень сільськогосподарських об'єктів залежать від багатьох факторів: кліматичних умов регіону, продуктивності технологічного обладнання, тощо. Нині маємо невтішні прогнози – запаси природних ресурсів з кожним роком зменшуються, а ціни на них зростають. Використання вітрових та геотермальних електростанцій, енергії Сонця на нинішньому етапі розвитку залишаються перспективними

напрямами, але з високою собівартістю і при їх спорудженні, в деяких випадках, порушується мікроклімат місцевості.

Перспективним є видобування водню із води. Він також на цей час малопродуктивний і затратний, але на відміну від усіх інших не змінює мікроклімат і покращує екологію. Тому питання встановлення впливу електрофізичних властивостей на процес отримання водню із води є актуальним.

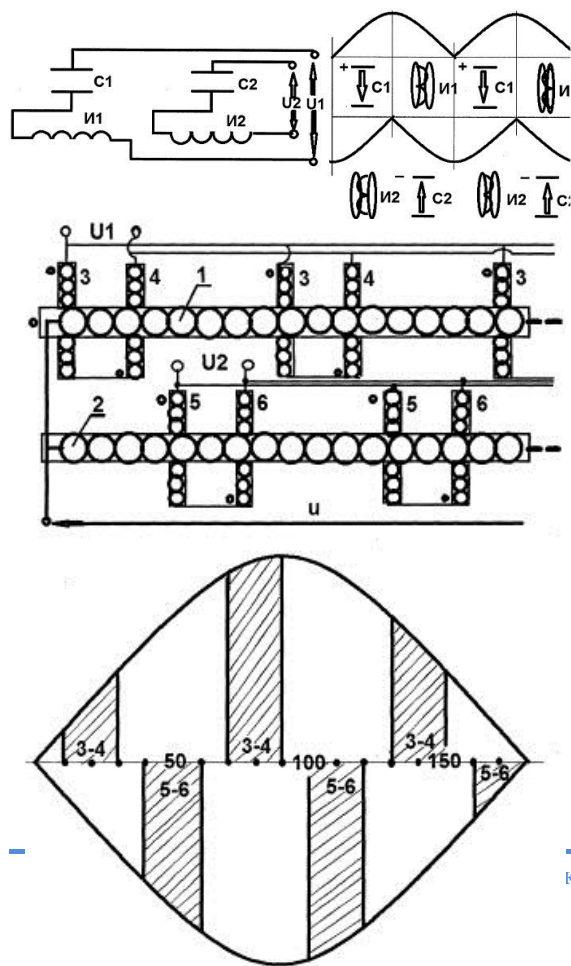
Аналіз стану питання

У промисловості застосовують цілий ряд технологій розкладання води для отримання водню: хімічний, термохімічний, термічний, електроліз та інші, але всім їм властивий один і той же недолік – у технологічному процесі отримання водню використовується дорога високопотенціальна енергія. Таке виробництво водню, природно, завжди буде залишатися неекономічним і екологічно небезпечним, а, отже, безперспективним. З цієї та інших причин витрати електроенергії на вироблення одного кубометра водню з урахуванням перенапруги при традиційному електролізі в промислових умовах складають 18-21,6 МДж, а загальна витрата енергії (з урахуванням виробництва самої електроенергії) перевищує 50 МДж, що робить водень неприпустимо дорогим (\$ 8.96 за еквівалент галона бензину, 0.997 кг (дані за жовтень 2014 р)). З позиції енерговитрат найбільш енергоємний – термохімічний спосіб, а більш економний спосіб розкладання води під дією резонансного електромагнітного поля.

Мета роботи

Дослідити прилад, завдяки якому відбувається зниження споживаної потужності, віднесеної до одиниці кінцевого продукту.

Методики, матеріали і результати досліджень



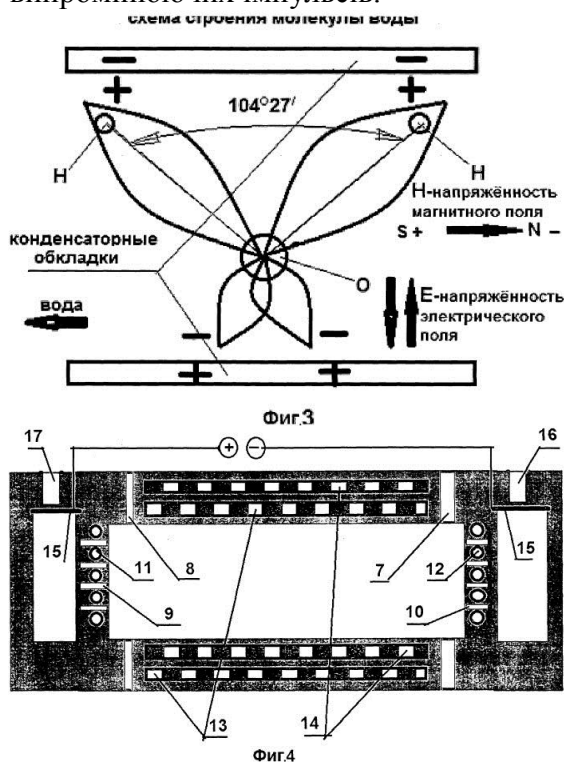
Фиг2

Відомо винахід, який відноситься до техніки отримання водню з води електролізом і може бути використано в якості вузла для перетворення теплової енергії при спалюванні водню в механічну (авт.БагичГеннадийЛеонидович), де розкладання води відбувається під дією резонансного електромагнітного поля, частота н-ої гармоніки якого наближається до власної частоти води. З викладеного видно, що на молекулу води діють тільки лінійні сили, що знижує продуктивність розкладання на одиницю споживаної потужності, крім того, частота впливу на воду далека від резонансної частоти води.

Технічний результат полягає в отриманні водню розкладанням води зі збільшенням частоти періодичного впливу напруженості електричних полів на воду. Спосіб отримання водню з води включає розкладання води під дією двох електромагнітних резонансних полів,

вектори напруженості електричних полів яких по черзі змінюють напрямок на 180 градусів при постійно спрямованій перпендикулярно їм сумарній напруженості магнітних полів від індуктивності контурів. Водневий осередок містить два коливальних контури, конденсаторні пластини (13, 14) яких перфоровані таким чином, що пластини першого конденсатора (13) взаємодіють через отвори в пластині другого конденсатора (14) і, навпаки, пластини другого конденсатора (14) взаємодіють через отвори в пластині (13) першого. Індуктивності (11, 12), що мають протилежний намотування напрямком, розташовані між обкладками конденсаторів. 2 н.п. ф-ли, 4 іл.

Зазначена мета досягається тим, що на молекулу води поперемінно діють дві протилежно спрямовані сили, що викликаються напруженням електричних полів при постійно спрямованій перпендикулярно їм напруженості магнітного поля (див. Фіг. 3). Як бачимо зі схеми, на молекулу води крім лінійних сил поперемінно діють з високою частотою два протилежно спрямованих моменту, ще більше посилюючи реакцію розпаду молекули води. Таким чином, в результаті одночасного випромінювання по одній або багатьох координатах, де по кожній координаті відбувається випромінювання, щонайменше, двох полів, вектори напруженостей яких спрямовані зустрічно, в результаті чого отримують об'ємне пульсуюче енергетичне поле, розміри якого визначаються виразом $\frac{c}{n}$, де c - швидкість світла, n - по координатно частота випромінюючих імпульсів.



односпрямовані напрями векторів напруженостей магнітних полів за рахунок протилежних намоток індуктивностей. Згідно фіг. 4 водневий осередок складається з конденсаторних пластин 13 конденсатора С1, конденсаторних пластин 14 конденсатора С2. Конденсаторні пластини перфоровані таким чином, щоб забезпечити ємнісну функцію, тобто пластини одного конденсатора взаємодіють один з одним через отвори конденсаторної пластини іншого конденсатора, і навпаки. Між конденсаторними пластинами з деяким зрушенням розташовані індуктивності 11 і 12, що представляють собою площинні котушки, між витками яких є отвори 9 і 10 для

При однокоординатному випромінюванні отримують однокоординатне пульсуюче енергетичне поле, при двокоординатному - двокоординатне і т.д. На фіг. 4 і фіг. 1 зображено пристрій (воднева осередок), що реалізує запропонований спосіб. Водневий осередок складається з двох коливальних контурів, що містять конденсатори С1, С2 і індуктивності І1 і І2, на які подаються напруги U1 і U2, що представляють собою високовольтні випрямлені напруги імпульсної форми, наприклад синусоїдальної, зрушені відносно один одного на 90 градусів. При подачі таких напружень на два коливальних контури і розміщення індуктивностей між пластинами конденсаторів створюється можливість змінювати напрямок вектора напруженості електричного поля на 180 градусів, не змінюючи при цьому сумарні

виходу кисню і водню. Всі перераховані елементи залиті діелектриком. Конденсаторні пластини з метою збільшення переданої електричної енергії заливаються діелектриком з великим значенням діелектричної проникності, наприклад сополімером. 16 і отвори 17 служать для відводу газів. Для нейтралізації іонів кисню служить металева сітка 15, заряджена позитивно, а для нейтралізації іонів водню служить металева сітка 16, заряджена негативно. Для потоку води служать отвори 7 і 8. Зображена на фіг. 4 воднева осередок може мати будь-яку форму, наприклад паралелепіпеда, або бути перетином тора. Робота осередку полягає в тому, що при подачі на контури напруги і забезпечивши через отвори 7, 8 потік води вона починає розкладатися на водень і кисень, які, послідовнопроходячи через отвори 9 і 10 індуктивностей, нейтралізуються і через вихідні отвори виходять за своїм призначенням.

Як відомо, резонансна частота води дорівнює $1,87 \times 10^{14}$ Гц. Це та частота, при якій потрібна мінімальна кількість електроенергії для розкладання одиниці об'єму води на кисень і водень. На фіг. 2 зображений блок живлення, вихідна частота якого максимально наближається до резонансної частоти води. Блок Містить 1 і індуктивності 2, намотані в протилежні сторони і утворюють при U -вхідній напрузі по протилежні знаки синусоїди. Індуктивності 1 і 2 мають магнітні зв'язки відповідно з площинними парними котушками 3, 4 і 5, 6, що виробляють позитивні і негативні вихідні імпульси, причому котушки 4, 6 зрушені по фазі, наприклад, на 20 градусів по відношенню до котушок 3, 5. А по зрушення фазі між парами котушок 3 і 4, 5 і 6 становить, наприклад, 40 градусів. Вся група котушок індуктивності 2 зрушена по фазі по відношенню 1 котушок індуктивності, наприклад, на 40 градусів. Іншими словами котушки 3 виробляють ЕРС одного знаку, а котушки 4 - протилежного. Тому проміжок часу між котушками 3-4 - це час проходження, наприклад, позитивних імпульсів. Аналогічно відбувається з котушками 5-6, тільки утворені ними імпульси мають протилежну полярність і утворені в тимчасовому діапазоні між 4 і 3 котушками.

Висновки

Перевага пристрою в порівнянні з прототипом полягає в тому, що на одиницю енергії, що витрачається проводиться більше кінцевого продукту за рахунок інтенсифікації впливу на молекулу води руйнівних сил і збільшення частоти впливу цих сил.

Пропонований винахід може знайти найширше застосування - від електростанцій різної потужності, як стаціонарних, так пересувних, що буде сприяти скороченню високовольтних ліній електропередач. Застосування винаходу для транспортних засобів через ідеальної екологічної чистоти дозволить різко оздоровити клімат на Землі.

Перелік посилань:

- 1.Класи МПК для винаходуСпосіботриманняводню з води та пристрій для йогоздійснення (RU 2535304)[ел. ресурс]. Режим доступу: <http://www.freepatent.ru/patents/2535304>.
- 2.Червінський Л. С. Аналіз технологій та впливу електрофізичних властивостей на процес отримання водню із води / Л. С. Червінський, С. О. Сисак, Д. М. Андреев. – 2011.
3. Чому ми ніколи не будемо їздити на водневих автомобілях [ел. ресурс]. Режим доступу: <http://zilm.livejournal.com/340545.html>

УДК 697.1

Білоус І.Ю., Жижа М.І.

Науковий керівник: д.т.н. проф. Дешко В.І.

МОДЕЛЮВАННЯ ПЕРЕРИВЧАСТОГО ОПАЛЕННЯ БУДІВЕЛЬ
МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРЕРЫВИСТОГО ОТОПЛЕНИЯ ЗДАНИЙ
MODELING INTERMITTENT HEATING BUILDINGS

АНОТАЦІЯ: В роботі розглянуто різні варіанти переривчастого опалення та визначено економію для різних графіків теплового навантаження. Запропоновано рекомендації по підбору переривчастого опалення.

АННОТАЦИЯ: В работе рассмотрены различные варианты прерывистого отопления и определены экономии для различных графиков тепловой нагрузки. Предложены рекомендации по подбору прерывистого отопления.

ABSTRACT: The paper considers various options identified intermittent heating and saving schedules for different thermal load. Recommendations on selection of intermittent heating.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: рівень опалення, переривчасте опалення, комфортну умови, енергоефективність.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: уровень отопления, прерывистое отопления, комфортную условия, энергоэффективность.

KEY WORDS: level heating, intermittent heating, comfortable, energy efficiency.

Вступ. Проблема економії енергетичних ресурсів на сьогодні стоїть як ніколи гостро. Особливо гостро проблема енергозбереження стоїть перед державами з різко вираженим континентальним кліматом, до яких відноситься Україна. По даним [1] витрата теплової енергії на підтримання функціонування будівель складає біля 2,3 ГДж/рік, тобто більше 25% в енергобалансі країни.

Аналіз стану питання. Зниження витрати енергоносіїв на опалення будівель може досягатися різними шляхами. Один з шляхів – це використання сучасних будівельних матеріалів та технологій на стадіях як проектування та і експлуатації. Другим напрямком є використання відновлювальних та альтернативних джерел енергії в системах розподіленої генерації. Третій напрямок, масове використання автоматичного керування системами тепlopостачання будівель. Останній підхід є найбільш ефективним з точки зору забезпечення комфортних умов з врахуванням добових та сезонних коливань зовнішніх погодних умов [2-4]. Для перевірки функціонування системи управління створюється математична модель.

Метою роботи є моделювання переривчастого опалення та визначення економії теплової енергії від впровадження регулювання системи опалення.

Завдання:

- 1) створити нестационарну модель об'єкта;
- 2) отримати та проаналізувати значення температури приміщення в залежності від зниження рівня опалення в неробочі години;
- 3) дослідити введення форсування системи опалення для забезпечення комфортних умов у робочі години.

Методика, матеріали і результати дослідження. Процес теплоспоживання будівель являється складним динамічним розподіленим процесом теплообміну, в

умовах впливу великого числа фізичних і конструкційних параметрів, а також зовнішніх кліматичних факторів.

Один з елементів оцінки ефективності використання енергетичних ресурсів є створення математичних моделей на базі програмних продуктів. Програмний продукт EnergyPlus дозволяє аналізувати енергетичні характеристики будівель, визначати енергетичну потребу будівель з метою підвищення енергоефективності. Даний програмний продукт є одним з найбільш точних та розгорнутих програмних пакетів для моделювання енергопотреб будівель, у вільному доступі [5].

Опис моделі. Для дослідження переривчастого опалення була створена модель кімнати за допомогою EnergyPlus. Розміри кімнати 5,5х6,1 м, висота приміщення 3,2 м. Кімната має одну зовнішню стіну (5,5 м) з вікном (5х2,5 м) орієнтовану на північ. Конструкція будівлі відповідає вимогам забудови 70-х років. Термічний опір зовнішньої стіни $1,2 \text{ м}^2\text{°C/Вт}$, вікно з подвійним застлінням у дерев'яних спарених плетіннях. Погодні умови обирались для лютого місяця типічного року за міжнародними даними IWEC (International Weather for Energy Calculations) для міста Києва, за характером зміна температури близькі до середньої температури за опалювальний період [6]. На рис. 1 наведено добову зміну зовнішнього повітря та сонячні теплонадходження.

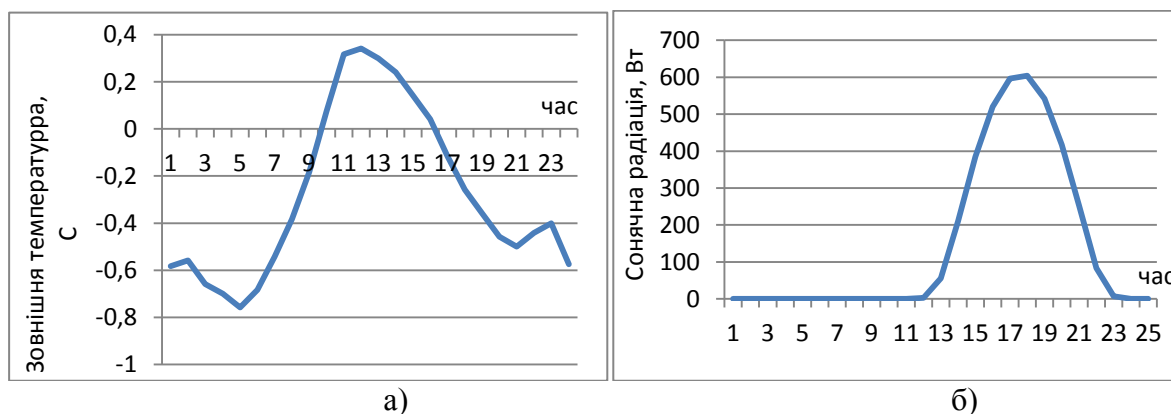


Рисунок – 1 Зовнішня температура (а) та кількість сонячної радіації, яка потрапляє на поверхню вікна

Крім погодних умов задавався рівень опалення, який забезпечував прийнятний рівень температури повітря в приміщенні. Для дослідження переривчастого опалення моделювались теплові режими кімнати при різних значеннях рівня опалення у нічні години та розігріву перед початком робочого періоду.

Розглянуто випадок, коли система працює без регулювання, та починаємо вводити переривчасте опалення. Рівень опалення в неробочі години (20:00 – 6:00) понижували. На рис. 2 наведена температура внутрішнього повітря для різних рівнів опалення. З збільшенням глибини провалу в неробочі години, температура внутрішнього повітря в робочі не встигає догрітися до рівня температури без регулювання. За умови однакової добової зміни внутрішніх та зовнішніх чинників, що впливають на рівень температури в приміщенні, тривале використання графіку зміни переривчастого опалення призведе до просідання графіка зміни та зменшення середнього значення внутрішньої температури повітря.

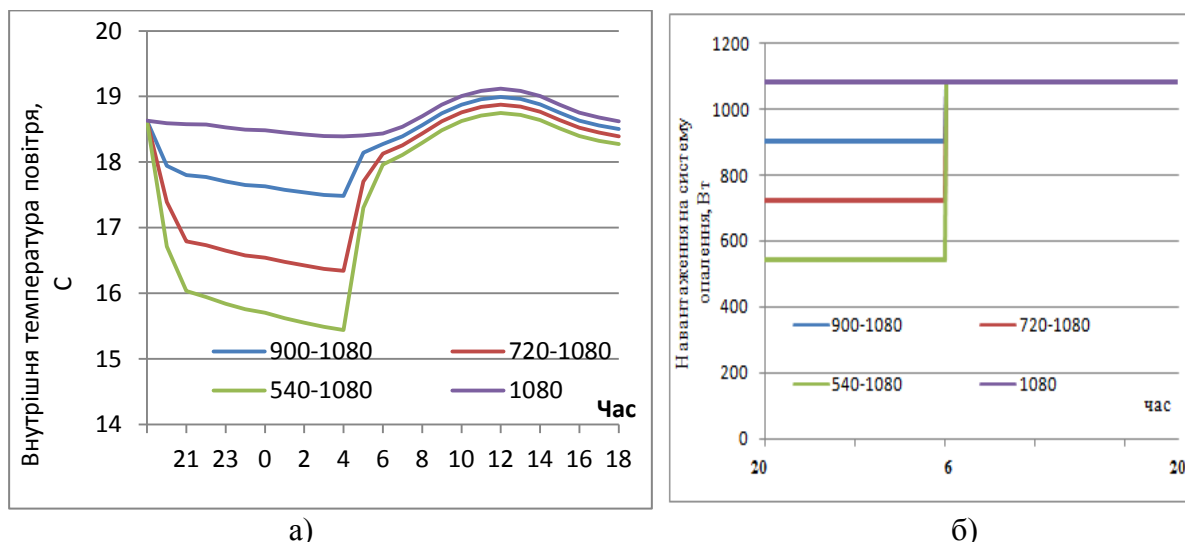


Рисунок 2 – Добова зміна температури внутрішнього повітря на початку регулювання (а) для різних графіків зниження опалення (б)

На рис. 3 наведено залежності внутрішньої температури від різної глибини провалу для точок, де температура стрімко змінює свої значення. Проаналізовано точки: початок підвищення рівень опалення після нічного провалу (6:00); після першої години підвищення рівня опалення, коли температура в приміщенні стрімко змінюється (7:00); коли внутрішня температура в робочі години не суттєво залежить від величини провалу (12:00).

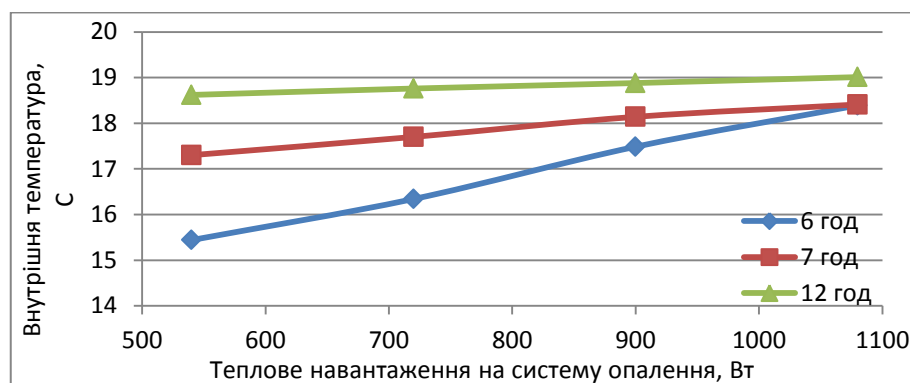


Рисунок 3 – Залежність внутрішньої температури повітря від величини рівня опалення

При потужності системи опалення 1080 Вт (без регулювання) температура в 7:00 та 6:00 співпадає, що пов'язане з відсутністю сонячних теплонадходжень та однаковим рівнем опалення. За відсутності регулювання та додаткових теплонадходжень з 20:00 до 7:00 внутрішня температура майже не змінюється, що видно з рис. 2а. Сонячні теплонадходження змінюють рівень температурив в приміщенні в 12:00 на 1°C.

Для забезпечення комфортного рівня температури в робочі години вводили форсування системи опалення. На рис. 3 наведено внутрішню температуру повітря з наявністю форсування системи опалення.

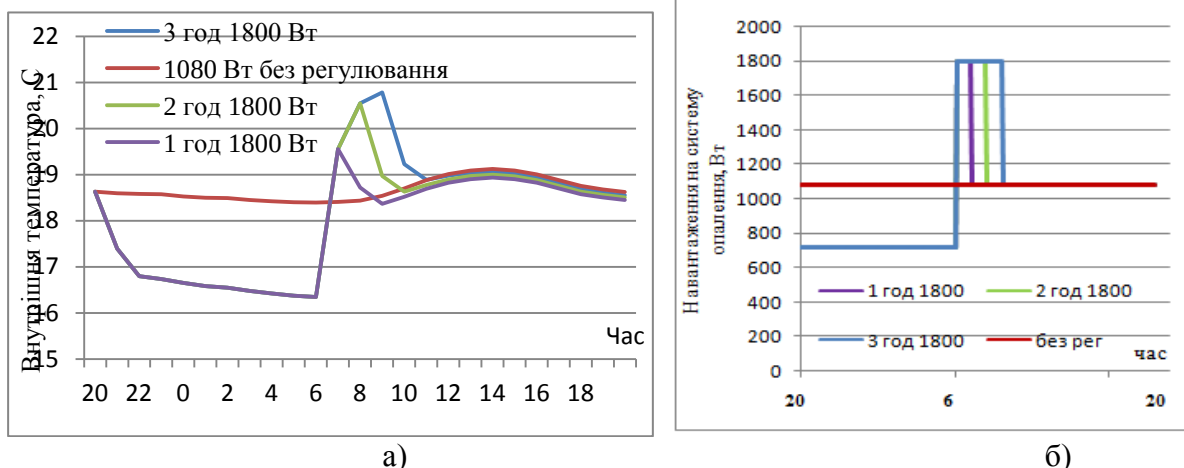


Рисунок 4 – Добова зміна температури внутрішнього повітря (а) для різних графіків опалення (б) з форсуванням системи опалення

З рис. 4.а видно, що внутрішня температура повітря під час форсування системи опалення має явно виражену максимальну та мінімальну температуру. Детально розглянуті дані точки на рис. 5а. На рис. 5б наведено відхилення внутрішньої температури при форсуванні системи опалення в порівнянні з відсутністю регулювання для максимальної температури робочих годин, що досягається в 14:00.

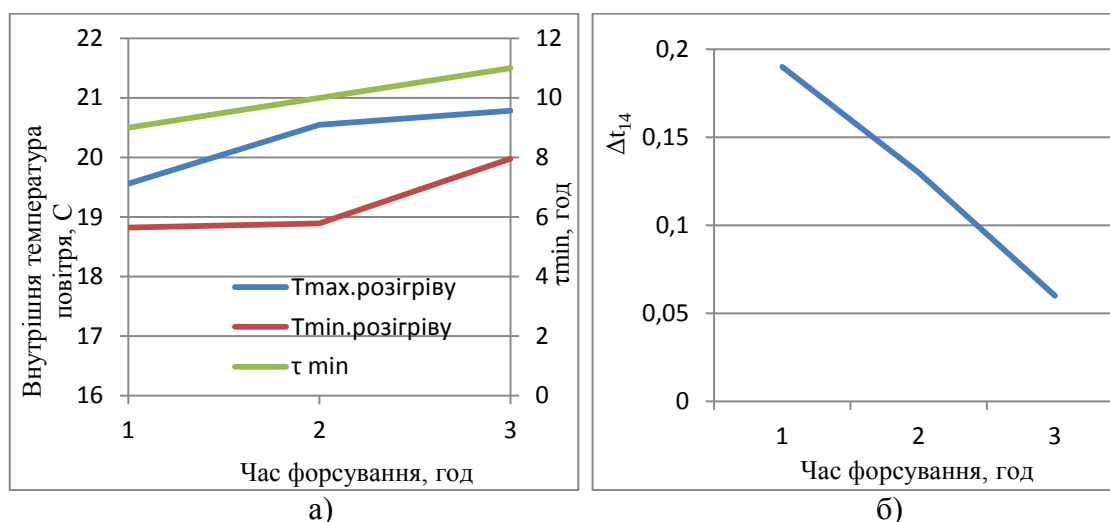


Рисунок 5 – Максимальна та мінімальна температура для піку розігріву, час з мінімальною температурою після форсування (а). Різниця температур за наявності регулювання для 14:00 (б)

На рис. 5 (б) видно, що різниця відхилення температур з введенням регулювання для годин з максимальною внутрішньою температурою незначна. Форсування системи опалення дозволяє швидше вийти на потрібну температуру в робочі години.

На рис. 6 розглянутий варіант для розігріву системи опалення 3 год та випадок, коли кількість теплоти підведена за форсування системи опалення однакова, але графік має іншу ширину та висоту (конфігурацію).

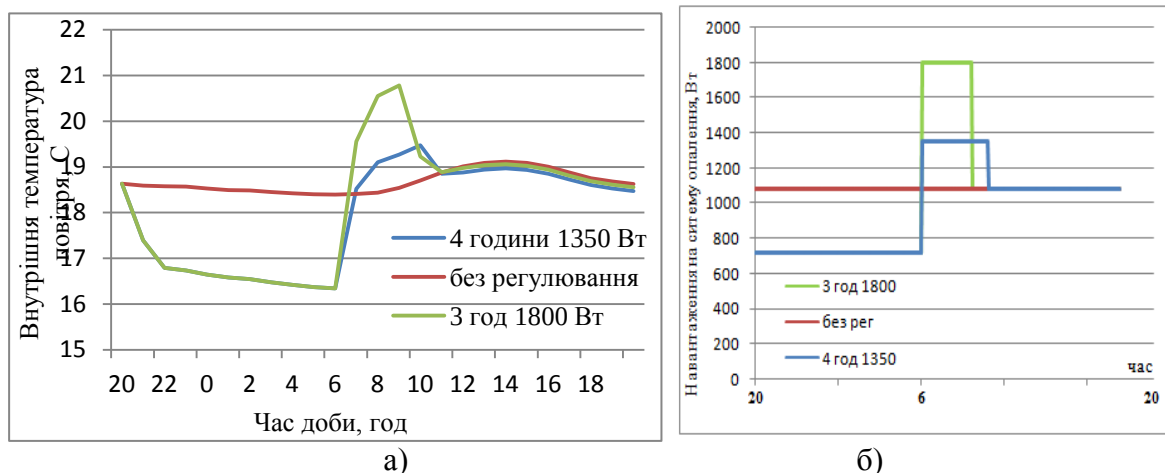


Рисунок 6 – Вплив різних форм форсування системи опалення (б) на внутрішню температуру повітря (а)

В обох випадках при форсуванні системи опалення було спожито 5,4 кВт·год теплової енергії. При розігріві системи опалення 4 години з потужністю 1350 Вт температура змінюється не так стрімко в порівнянні з розігрівом 3 години – 1800 Вт.

Через постійне регулювання системи опалення, графік внутрішньої температури буде просідати, що пов'язане з незначним недогрівом в робочі години. Для розглянутого типу конструкцій та зовнішніх умов стабілізація графіка зміни внутрішньої температури повітря досягається на 6-8 день, для розглянутого діапазону пониження рівня опалення в неробочі години, при цьому знижується внутрішньої температура повітря на 1,5–2 °С.

На рис. 7 наведено рівень опалення та внутрішню температуру повітря для різної глибини провалу в неробочі години, за умови, що в робочі години температура в приміщенні буде така ж як без регулювання, що досягається підбором відповідного збільшення рівня базового опалення. На десятий день після введення регулювання з параметрами зниження рівня опалення в неробочі години до 540, 720, 900 Вт та однаковими зовнішніми умовами, коли внутрішня температура повітря перестає змінювати свою характеристику, визначено економію теплової енергії.

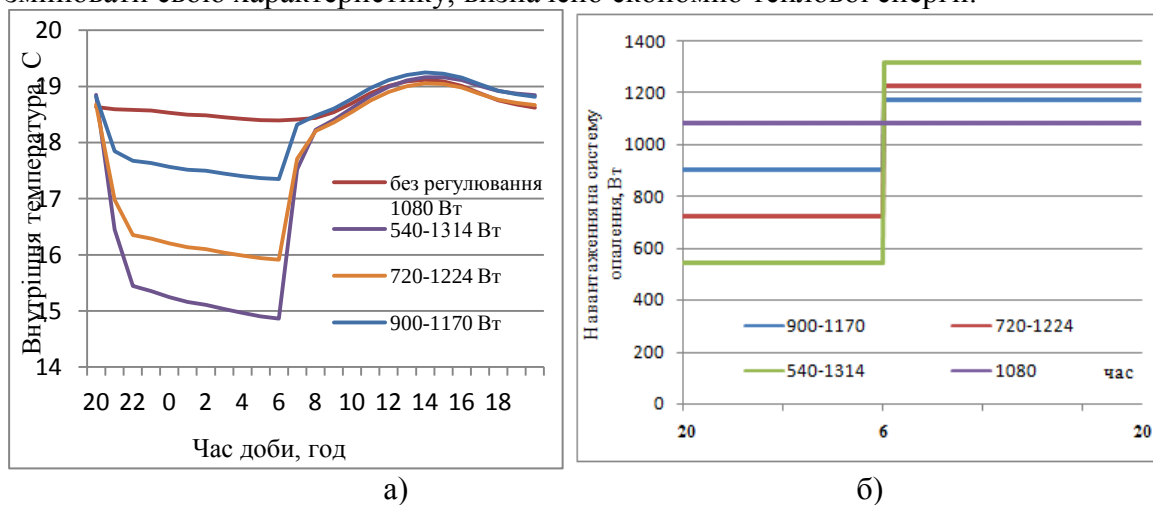


Рисунок 7 – Добова зміна температури внутрішнього повітря (а) для різних графіків опалення (б) з постійним зниженням температури в нічні години

При зниженні рівня опалення з 20:00 до 6:00 економія теплової енергії становитиме: 1) 2% для графіка 900-1170 Вт; 2) для 6% – 720-1224 Вт; 3) 8,2% – 540-1314 Вт.

Аналогічний підбір графіків зміни навантаження на систему опалення проведено за наявності форсування (рис. 8).

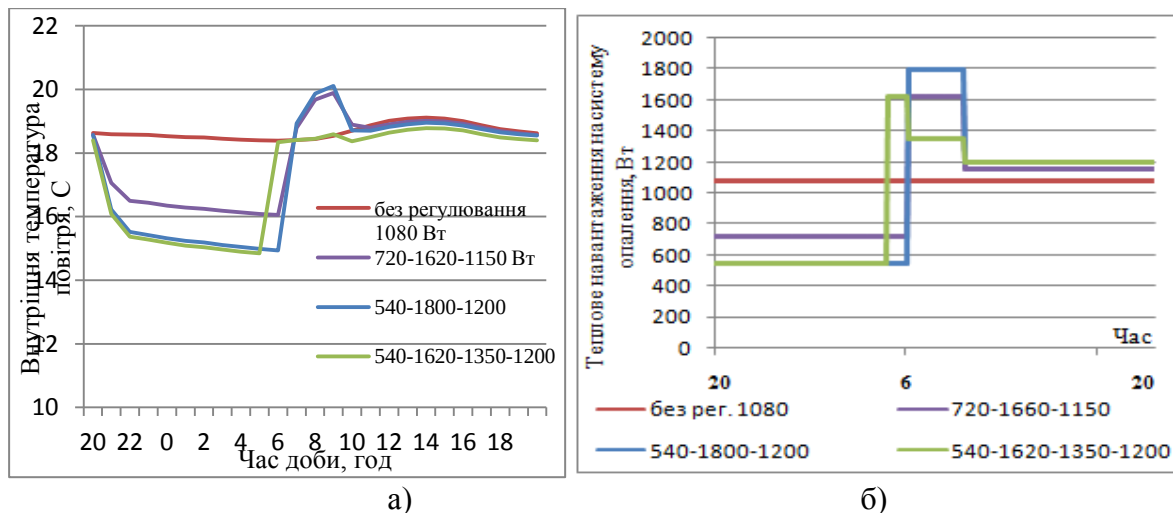


Рисунок 8 – Добова зміна температури внутрішнього повітря (а) для різних графіків опалення (б) з постійним зниженням температури в нічні години та розігрівом системи опалення

Економія теплової енергії від зниження температури в нічні години та форсування системи перед робочими годин становить: 1) для графіку 720-1620-1150 Вт – 4,6%; 2) для графіку 540-1800-1200 – 7,2%; 3) 540-1620-1350-1200 Вт – 8,2%.

Висновки. В результаті проведених досліджень за допомогою створеної нестационарної моделі кімнати на базі EnergyPlus опрацьовані методи та отримані дані для визначення режимів переривчастого опалення будівель з урахуванням конструкцій оболонки та погодних умов.

Література:

1. Маляренко В.А. Анализ критерия энергоефективности здания и сооружения / В.А. Маляренко, Н.А. Орлова // Интегрированные технологии та энергосбережения, 2004. – №2. – С. 43–48.
2. 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.
3. Дешко В.І. Моделирование теплового состояния помещений при измерении режимов параметров отопления / В.І. Дешко, М.М. Шовкалюк, А.В. Ленькин // Промышленная теплотехника. Т.31 - 2009. - №6. - С. 75-80.
4. Круковский П.Г. Возможности и проблемы применения способа экономии энергии путем регулирования температуры помещений / П.Г. Круковский, М.А. Метель, О.Ю. Тадля // Промышленная теплотехника. - 2009. - №7. - С. 24.
5. The official website EnergyPlus Energy Simulation Software [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://app1.eere.energy.gov/buildings/energyplus>.
6. https://energyplus.net/weather-location/europe_wmo_region_6/UKR.

Студент гр. ОТ-21 Ярмоленко Є.
Старший викладач каф ТЕ ІЕЕ Задвернюк В.В.

РОЗРАХУНОК ТЕПЛОСПОЖИВАННЯ МІСЦЬ ЗАГАЛЬНОГО КОРИСТУВАННЯ ЖИТЛОВИХ БУДІВЕЛЬ

Даний матеріал стосується розрахунку витрати тепла на опалення місць загального користування (МЗК) в разі відсутності приладів комерційного обліку окремих МЗК.

В наш час існує дуже поширене питання: Хто скільки платить за опалення місць загального користування (МЗК)? Це питання виникає не тільки у мешканця якогось житлового будинку, - але і у працівників комунальних підприємств, керівників ОСББ та ЖЕК, управителів будинками.

Плату за тепло, витрачене в МЗК розглянемо на прикладі 10 поверхового будинку в м. Вишгороді, 2007 року побудови.

Що для цього потрібно? Щоб дізнатися, хто і скільки платить необхідно виконати певні розрахунки МЗК, а також знати певні дані будинку, зокрема: загальну опалювальну площу будинку, загальну опалювальну площу МЗК, загальну опалювальну площу житлового приміщення, загальні дані для місцевості де розташований об'єкт для розрахунку:

- розрахункову температуру внутрішнього повітря у МЗК;
- середня температура зовнішнього повітря;
- кількість діб опалювального періоду;
- нормативна питома витрата теплової енергії на опалення приміщення за рік.

В методиці: «методика розрахунку кількості теплоти, спожитої на опалення місць загального користування багатоквартирних будинків, та визначення плати за їх опалення», затверджено наказом Міністерства ЖКГ №359 від 31.10.2006. потрібно також враховувати втрати від трубопроводів, які прокладені в неопалювальних приміщеннях будинку.

Розглянемо на практиці як саме розраховується кількість теплової енергії спожитої на опалення.

Для початку потрібно знайти дані для виконання цієї роботи.

Таблиця 1. Характеристики житлової будівлі, що аналізується

Загальна опалювальна площа всіх житлових приміщень в будівлі	$SF_{\text{ж}} = 8721,9 \text{ м}^2$
Загальна опалювальна площа МЗК	$SF_{\text{ж}} = 1459 \text{ м}^2$
Загальна опалювальна площа житлового приміщення	$F_{\text{ж}} = 45,3 \text{ м}^2$
Розрахункова температура внутрішнього повітря у місцях загального користування	$t_{\text{вн}} = 16^\circ \text{C}$
Середня нормативна температура зовнішнього повітря опалювального періоду	$t_{\text{ср}} = -0,1^\circ \text{C}$
Кількість діб опалювального періоду, діб	$n = 176$
Нормативна питома витрата теплової енергії на рік опалення приміщення	$q_{\text{рік}} = 0,155 \text{ Гкал} / \text{рік} / \text{м}_2$

Першим кроком буде знаходження коефіцієнту який відповідає площі житлового приміщення. Коефіцієнт знаходиться як відношення площі житлового приміщення до загальної опалювальної площі житлових приміщень.

$$K_{МЗК} = \frac{F_{ж}}{SF_{ж}} = \frac{45,3}{8721,9} = 0,0051$$

Наступним кроком - знаходження загальної кількості теплової енергії на опалення МЗК.

$$Q_{МЗК} = Q_{МЗК}^K + Q_{ВТР} \frac{\Gamma_{кал}}{міс}$$

В свою чергу потрібно знайти кількість теплової енергії на опалення МЗК

$$Q_{МЗК}^K = q_{міс} \cdot F_{\Sigma МЗК} \frac{\Gamma_{кал}}{міс}$$

та питомі витрати теплової енергії на опалення МЗК за місяць:

$$q_{міс} = q_{рік} \cdot \frac{n' \cdot (t_{вн} - t_{ср.ф})}{n \cdot (t_{вн} - t_{ср})} \frac{\Gamma_{кал}}{міс}$$

Кількість втрати тепла трубопроводами, що проходять в неопалювальних приміщеннях за розрахунковий місяць:

$$Q_{ВТР} = \sum (l_i \cdot q_i) \cdot 24 \cdot n' \cdot 0.000862 \cdot 10^{-3} \frac{\Gamma_{кал}}{міс}$$

де 0,000862 – коефіцієнт переводу одиниць з кВт·год у Гкал.

Основний крок у вирішенні витрати теплової енергії, спожитої на опалення МЗК, яка виставляється до сплати споживачом.

$$Q_{МЗК}^{KB} = Q_{МЗК} \cdot K_{МЗК} \frac{\Gamma_{кал}}{міс}$$

Таблиця 2. Результати розрахунку

Місяць	Жовт	Лист	Груд	Січ	Лют	Бер	Квіт
Середня фактична температура зовнішнього повітря за розрахунковий місяць $t_{ср.ф}$	8,1	1,9	-2,5	-4,7	-3,6	1	9
Кількість діб в розрахунковому місяці n' діб	12	30	31	31	28	31	13
Кількість теплової енергії спожитої за місяць на опалення МЗК	7,56	33,75	45,77	51,21	48,8	37,11	7,26
Кількість втрат тепла трубопроводами	2,29	5,74	5,93	5,93	5,35	5,93	2,48
Кількість теплової енергії, спожитої на опалення МЗК, віднесене до житлового приміщення, Гкал.	1,1	0,051	0,2	0,26	0,29	0,25	0,050

$$Q_{МЗК}^K = q_{міс} \cdot F_{\Sigma МЗК} = 0.051 \cdot 1459 = 7.56 \frac{\Gamma_{кал}}{міс}$$

$$Q_{ВТР} = \sum (l_i \cdot q_i) \cdot 24 \cdot n' \cdot 0.000862 \cdot 10^{-3} =$$

$$= \sum (96.5 \cdot 38 + 12 \cdot 48 + 124 \cdot 57 + 119 \cdot 76) \cdot 24 \cdot 8.1 \cdot 0.000862 \cdot 10^{-3} = 2.29 \frac{\Gamma_{кал}}{міс}$$

$$Q_{МЗК} = Q_{МЗК}^K + Q_{ВТР} = 7.56 + 2.29 = 9.85 \frac{Гкал}{міс}$$

$$Q_{МЗК}^{KB} = Q_{МЗК} \cdot K_{МЗК} = 9.85 \cdot 0.0051 = 0.047 \frac{Гкал}{міс}$$

Річна витрата теплової енергії спожитої на опалення МЗК:

$$Q_{МЗК.РІК}^{KB} = 1.35 \frac{Гкал}{міс}$$

Середня кількість теплової енергії спожитої на опалення МЗК, що нараховується по квартирі за кожен місяць протягом опалювального періоду:

$$Q_{МЗК.рік}^{KB} = \frac{Q_{МЗК.РІК}^{KB}}{n} = \frac{1.35}{7} = 0.193 \frac{Гкал}{міс}$$

Для порівняння розглянемо різні за площею квартири даного будинку.

Таблиця 3

Площа житлового приміщення, м ²	Річна витрата теплової енергії спожитої на опалення МЗК, Гкал	Додаткова сплата за МЗК (діючий тариф 708 грн за Гкал), грн.	Додаткова сплата за МЗК (тариф 1400 грн за Гкал), грн
44,2	1,318	933,14	1845,2
45,3	1,351	956,51	1891,4
46,4	1,383	979,16	1936,2
52,7	1,571	1112,27	2199,4
65	1,938	1372,1	2713,2
72	2,147	1520,08	3005,8
73,2	2,183	1545,56	3056,2
85,1	2,538	1796,9	3553,2
93,8	2,797	1980,28	3915,8
94	2,803	1984,52	3924,2
96,3	2,872	2033,38	4020,8

Висновки

Виконані розрахунки на базі конкретного об'єкту (10- ти поверхового будинку) дають можливість на практиці визначити витрати тепла на МЗК з подальшим їх розподілом між власниками (наймачами) житлових та нежитлових приміщень. На підставі даного розподілу і діючим тарифом на теплову енергію нараховується оплата за спожите тепло в МЗК.

Перелік літератури:

1. Постанова КМУ від 21.07.2005 № 630 «Про затвердження правил надання послуг з централізованого опалення, постачання холодної та гарячої води і водо відведення та типового договору про надання послуг з централізованого опалення, постачання холодної та гарячої води і водовідведення»

2. Наказ Міністерства з питань ЖКГ від 22.02.2009 №47 «Про затвердження Рекомендацій щодо застосування методики розрахунку кількості теплоти, спожитої на опалення місць загального користування багатоквартирних будинків та визначення плати за їх опалення».
3. Закон України від 02.06.2005 №2633 «Про теплопостачання».
4. ДБН В.2.2-15-2005 «Житлові будинки. Основні положення»
5. СНиП 2.04.05-91. «Отопление. Вентиляция. Кондиционирование»

УДК 621.311:621.331

Оборонов Т.Ю;
студент Терезюк А.М.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний
інститут»

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ МЕТОДІВ ОПАЛЕННЯ ЖИТЛОВИХ ПРИМІЩЕНЬ ЗА ДОПОМОГОЮ ТЕПЛОЇ ПІДЛОГИ

В даній статті досліджуються та порівнюються методи опалення житлових приміщень за допомогою сучасної технології – теплої підлоги. Основною метою являється дослідження ефективної тепловіддачі та ефективного обігріву приміщення, економічності та шкідливого впливу на людину під час експлуатації різних видів теплої підлоги. В даній статті представленні два види теплої підлоги: водяна та електрична. Запропоновані методи показують правильність використання даного способу обігріву приміщення.

Ключові слова: електроспоживання, енергозбереження, опалення, тепла підлога, економічність.

National technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute"

COMPARATIVE ANALYSIS OF HEATING'S METHODS FOR LIVING BUILDINGS WITH UNDERFLOOR HEATING

Abstract.

This article investigates and compares the methods of living heating buildings by means of modern technology - underfloor heating. The main purpose is effective heat transfer and efficient heating space, cost and adverse effects on human during the operation of various types of heating floor. This article representing two types of underfloor heating: water and electricity. The proposed methods demonstrate correct use of this method of heating.

Keywords: power consumption, energy saving, heating, underfloor heating, economy.

Вступ.

У сучасних умовах одним з важливих та актуальних питань є опалення житлових приміщень, енергозбереження та економічність різних видів опалення. В залежності від

виду системи опалення, а саме індивідуальна та центральна, можна використовувати різні методи опалення.

Традиційно для індивідуальної системи встановлюють електричний або газовий котел, що не є економічно. Тому варто розглянути альтернативні методи опалення, які можуть використовуватись як основний прилад опалення так і як доповнення до системи. В даній статті, як альтернативний метод опалення розглядається тепла підлога.

Тепла підлога – це система з прокладеного в шарі підлоги електричного кабелю чи водяної труби та терморегулятора з датчиком температури, що дає змогу зручно регулювати та контролювати температуру в приміщенні. Особливістю теплої підлоги від інших методів опалення, є рівномірне нагрівання приміщення. Адже як відомо, тепле повітря завжди піднімається вгору, тому на відміну від радіатора де використовується конвективне та радіаційне випромінювання при високій температурі теплоносія, приміщення прогрівається швидко та рівномірно при середній температурі, що є більш економічно.

Мета і завдання.

Метою роботи є дослідження ефективної тепловіддачі та ефективного обігріву приміщення, економічності та шкідливого впливу на людину під час експлуатації різних видів теплої підлоги. Проаналізувати переваги та недоліки кожного виду та скласти порівняльну характеристику.

Матеріал та результати дослідження.

В даний час існує два види теплої підлоги: водяна та електрична. Кожен з цих видів має ряд своїх переваг та експлуатаційних характеристик.

Водяна тепла підлога – різновид системи опалення, де в якості теплоносія виступає вода середньої температури, приблизно від 30 до 50°C та є одним з економічних методів опалення. В основний комплект входять труби, розподільний колектор і циркуляційний насос. Даний тип опалення може використовувати тепло від будь-якого джерела енергії включаючи сонячні колектори, теплові насоси, будь-які види нагрівачів та котлів, в тому числі електричні котли, централізовану систему опалення, що дозволяє контролювати процес роботи теплої підлоги, температуру теплоносія, період роботи.

Для водяної теплої підлоги необхідно мінімальне електропостачання. При необхідності вона кілька годин може працювати від акумуляторів, за винятком електричних котлів. Якщо ж водяна тепла підлога працює від теплового насоса, то необхідно врахувати споживання самого насоса. Даний вид теплої підлоги вимагає встановлення котла, насосів та розподільчих колекторів, на встановлення яких необхідно місце, до того ж діаметр трубки з теплоносієм плюс кріплення складає 20 міліметрів.

Також щоб встановити таку теплу підлогу, необхідно робити цементну стяжку та для підвищення тепловіддачі встановлювати труби на теплоізоляційний матеріал, що в свою чергу збільшує висоту підлоги. Тому водяну теплу підлогу доцільно встановлювати в приватних житлових будинках. Існує багато видів встановлення водяної теплої підлоги, а власне труб, але найбільш ефективно є встановлення спіраллю (Рис. 1). Це пояснюється тим що в трубах постійно циркулює теплоносій і його температура на початку і в кінці труб різна, тому при встановленні труб у вигляді спіралі температура по всій поверхні підлоги буде приблизно однакова, що забезпечить рівномірне прогрівання приміщення.



Рис. 1 – Види встановлення водяної теплої підлоги

При пошкодженні водяної теплої підлоги витікає частина води, тиск у системі знижується і система зупиняється та не завдає сильних пошкоджень. Для людей та меблів ніякої шкоди немає, оскільки даний вид підлоги не виділяє ніякого випромінювання.

Особливістю електричної теплої підлоги є однокильний або багатокильний кабель, який перетворює електричну енергію в тепло та здатен нагріватися до 70°C.

Такі системи випускаються декількох видів:

1. Резистивний – саморегулюючий кабель, який змінює свою потужність в залежності від температури нагріву. Це «розумний» кабель, він більше нагріває ділянки з більш низькою температурою, наприклад біля віконних чи дверних прорізів, а менше під меблями.
2. Плівковий інфрачервоний – являє собою плівку з вкрапленнями полімеру. Термоплівка володіє багатьма перевагами, а саме: її можна різати на необхідні частини та її товщина складає 0,5 міліметрів, що важливо для приміщень з низькими стелями.
3. Термомат. Має в собі карбонові стрижні – нагрівачі елементи, які розташовані та закріплені на скловолокнистій сітці. Такі підлоги економлять простір і їх можна укласти без стяжки.

Даний вид опалення є найдорожчим, оскільки не є гнучким, як водяний, та працює тільки від електричної енергії і не може перейти на інше паливо. Таку підлогу доцільно встановлювати в квартирах чи в невеликих за площею приміщеннях, оскільки займає мінімально місця та є дорогим в експлуатації. Для контролювання та регулювання температури, в стіні опалювальної кімнати встановлюють датчик температури – терморегулятор. При пошкодженні електричної теплої підлоги можливий удар електричним струмом. Це особливо небезпечно у ванній кімнаті. При пошкодженні перестає працювати вся ділянка теплої підлоги. Підлога низької якості, часто перегорає, як наслідок перестає працювати. При перегріві можливе перегорання, як наслідок виділення токсичних речовин, розкладання кабелю та теплоізолятора. Щодо шкідливого впливу на людей та меблі, можна сказати що вплив є оскільки підлога виділяє незначне електромагнітне випромінювання, яке є шкідливим для людини, тому бажано встановлювати в невеличких кімнатах в яких людина проводить не велику кількість часу, наприклад, балкон чи ванна. Ще одним мінусом, даного виду

теплої підлоги можна назвати обмежений вибір напільного покриття. Щодо плюсів, то це рівномірний нагрів підлоги, зручне регулювання температури.

Таблиця №1. Порівняльна характеристика

Особливість	Водяна тепла підлога	Електрична тепла підлога	Примітки
Економічність	Найдешевший при експлуатації спосіб опалення.	Опалення електроенергією – один з найдорожчих способів опалення.	Водяна підлога є гнучкою – дозволяє переключатись на інші джерела палива та енергії та отримувати мінімальні експлуатаційні затрати. При малих площах опалення, в кілька квадратних метрів- балкон, санвузол – різниця в ціні малопомітна.
Гнучкість	Використовує тепло від будь якого джерела енергії.	Працює тільки від електроенергії, не може перейти на інше паливо.	
Висота системи опалення підлогою	Складає до 20 міліметрів	Товщина кабелю складає до 10 міліметрів, товщина мату до 3 міліметрів.	
Електромагнітне випромінювання	Відсутнє	Існує слабе електромагнітне випромінювання.	Негативний вплив даного випромінювання на живі організми підтверджено.
Кондиціонування	Може замінити кондиціонер невеликої потужності.	Не може замінити кондиціонер.	
Наслідки при перегріві	Жодних наслідків	Можливе перегорання кабелю.	Максимальна температура поверхні труби водяної теплої підлоги до 50 градусів, електричної –до 100.

Висновки. Дослідивши та порівнявши різні види теплої підлоги, можна сказати, що більш енергоефективною є водяна тепла підлога, оскільки для опалення приміщення необхідна менша температура теплоносія, що в свою чергу призводить до економічності в експлуатації

Список літератури

1. <http://kot.vn.ua/ru/460-elektricheskiy-tepliy-pol>
2. <http://teplyipol.com/uk/vse-o-teplyx-polax/kakoj-teplyi-pol-vubrat-vodyanoj-ili-elektricheskij>
3. <http://bud-porada.in.ua/vidy-teplyh-polov-dlya-doma.htm>

УДК 621.43.056:632.15

Яковенко С.О., студент
науковий керівник:
Студенець В.П, к.т.н., доц.
НТУУ"КПІ", ІЕЕ

Ефективність дослідницької установки «офсетний концентратор – двигун Стірлінга – електрогенератор» з рекуперацією відведеної теплоти

Проведено експериментально-аналітичне дослідження роботи науково-дослідного стенду «офсетний концентратор – двигун Стірлінга – електрогенератор» з рекуперацією відведеної теплоти з метою визначення ефективності процесу перетворення сонячної енергії в механічну з одночасною рекуперацією охолоджувальної води.

An experimental and analytical study of research stand "offset concentrator - Stirling engine - generator" with heat recuperation assigned to determine the efficiency of converting solar energy into mechanical energy with simultaneous cooling water recovery.

Вступ. Сонячні установки (СУ) знаходять застосування в системах опалювання і охолодження житлових і громадських будівель, в технологічних процесах, що протікають при низьких, середніх і високих температурах. Вони використовуються для отримання гарячої води, опріснення морської або мінералізованої води, для сушки матеріалів і сільськогосподарських продуктів і т.п..

Сонячна енергетична установка на основі двигуна Стірлінга чудово справляється з цим завданням. Хороший ККД, простота обслуговування, безшумність і надійність конструкції двигуна Стірлінга зумовлюють ефективність його використання в таких системах. Сонячний імітатор фокусується на ресивері для розігріву двигуна. Охолоджує систему водяний насос, який також працює від сонячної енергії.

Аналіз стану питання. Порівнюючи з працюючими на внутрішньому згорянні двигателями Отто або Дизеля, двигун Стірлінга залежить тільки від зовнішнього надходження тепла. Що це тепло поставляє принципового значення не має. Тому двигун Стірлінга є ідеальним кандидатом для перекладу сонячного випромінювання в механічну енергію:

1. У двигуні Стірлінга постійне кількість робочого газу постійно нагрівається і охолоджується.
2. Через розширення при нагріванні і стискання при охолодженні, робочий газ приводить в рух два поршня, кожен з яких прикріплений до валу — таким чином передається енергія.
3. Ефективність двигуна Стірлінга зростає при зростанні температури, тому він є ідеальною комбінацією для виробництва енергії через сонячний колектор.
4. Тут немає внутрішнього згоряння, тому установка Стірлінга працює майже безшумно.
5. Потенційний життєвий цикл двигуна Стірлінга є дуже тривалим, так як тут немає внутрішнього зносу через горіння палива.

Використовуючи водяний насос на сонячній батареї відбувається процес рекуперації теплоти, за рахунок цього ми отримуємо додаткові можливості: охолодження двигуна Стірлінга, що позитивно впливає на його ККД та в той самий час нагріваємо воду за рахунок тепла, що виробляє двигун Стірлінга.

Мета роботи. Метою роботи є створення сонячної енергетичної установки на базі двигуна Стірлінга УДС – 1 для дослідження когенераційного процесу.

Задачі дослідження:

- Створення дослідницької сонячної енергетичної установки на базі підібраних структурних елементів: сонячного концентратора, двигуна Стірлінга УДС – 1, електрогенератора, водяного насосу.
- Проведення експериментальних досліджень з доведення роботоздатності створеної СЕУ та визначення основних робочих параметрів її структурних елементів.
- Аналіз отриманих експериментальних результатів для подальшого проведення теоретичних розрахунків з визначення основних характеристик процесу перетворення енергії сонячного випромінювання у механічну енергію, з одночасним використанням теплоти, що відводиться у циклі Стірлінга.

Методики, матеріали і результати досліджень.

План досліджень:

- Налагодження дослідницького стенду «офсетний концентратор – двигун Стірлінга – електрогенератор» з рекуперацією відведеної теплоти.
- Проведення експериментальних досліджень з вимірюванням основних характеристик роботи установки.
- Обробка результатів експерименту.

На базі Інституту енергозбереження та енергоменеджменту НТУУ «КПІ» створено експериментальний науково-дослідний стенд «офсетний концентратор – двигун Стірлінга – електрогенератор» з рекуперацією відведеної теплоти (Рис. 1), який складається з таких елементів:

- офсетний концентратор.
- двигун УДС-1 як динамічний перетворювач.
- водяний насос на сонячній батареї SP2-320607

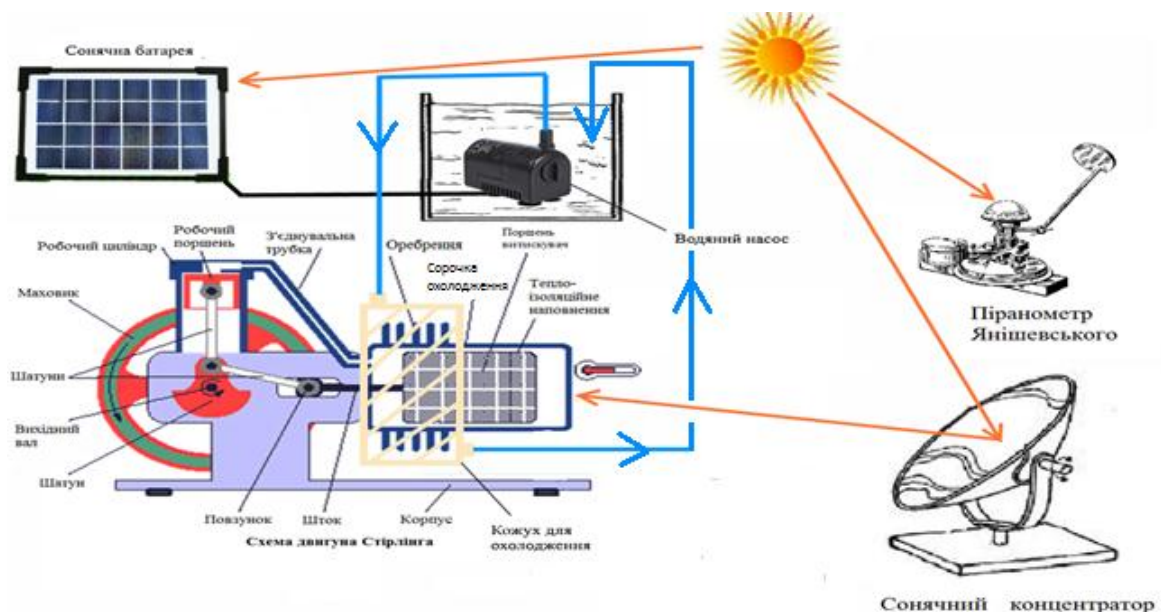


Рис. 1 Схема експериментального стенду

4. Двигун Стірлінга УДС-1

Як динамічний перетворювач була вибрана модель УДС-1 (ДС односторонньої дії, витискувального типу, з робочим і додатковим циліндрами, розташованими під кутом 90°), схема якої представлена на Рис. 2 з позначенням її складових елементів:

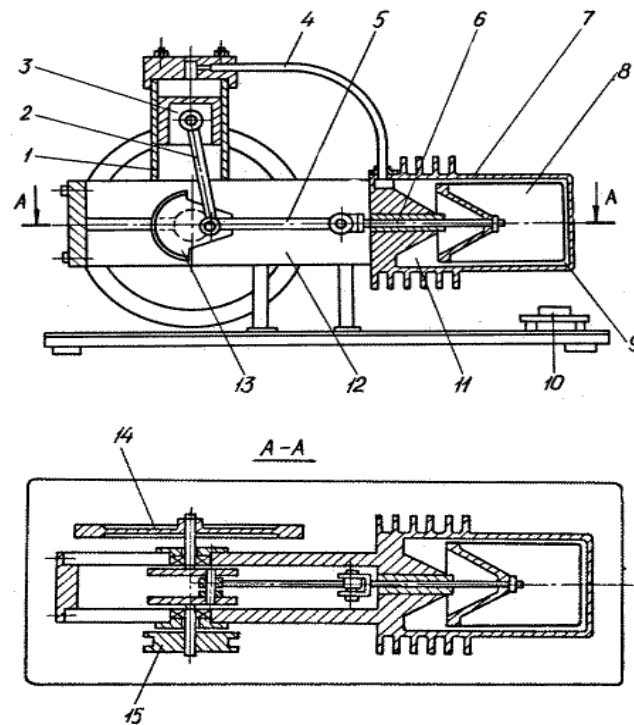


Рис. 2 Учбово-демонстраційна модель двигуна Стірлінга УДС-1:

1 – робочий циліндр, 2 – шатун, 3 – робочий поршень, 4 – трубка внутрішнього контуру, 5 – шатун, 6 – втулка, 7 – циліндр, 8 – поршень-витискувач, 9 – гаряча порожнина, 10 – місце для зовнішнього підводу теплоти, 11 – холодна порожнина, 12 – корпус, 13 – кривошип, 14 – маховик, 15 – шків.

5. Офсетний концентратор

Дослідний офсетний концентратор (Рис. 3) та його основні характеристики (Рис. 4)



Найменування характеристики СОК	Символ	Величина
1. Діаметр антени концентратора	D	0,8 м
2. Площа міделя концентратора	A _к	0,55264 м ²
3. Фокусна відстань концентратора	f	0,44 м
4. Відношення діаметр/фокус	D/f	0,55
5. Кут розкриття концентратора	θ	85°
6. Діаметр фокальної плями	df	0,04 м
7. Площа фокальної плями	Ff	1,26·10 ⁻³ м ²
8. Площа зображення Сонця	F _s	1,32·10 ⁻⁵ м ²
9. Коефіцієнт ефективності оптичної системи	A	0,5

Рис. 3 Офсетний концентратор

Рис. 4 Основні характеристики концентратора

6. Водяний насос на сонячній батареї SP2-320607

В якості водяного насоса на сонячній батареї було обрано насос марки SP2-320607 (Рис. 5).



Рис. 5 Водяний насос на сонячній батареї SP2-320607

Експериментальне дослідження.

Графіки залежностей від густини теплового потоку зображені на Рис. 6 – 9.

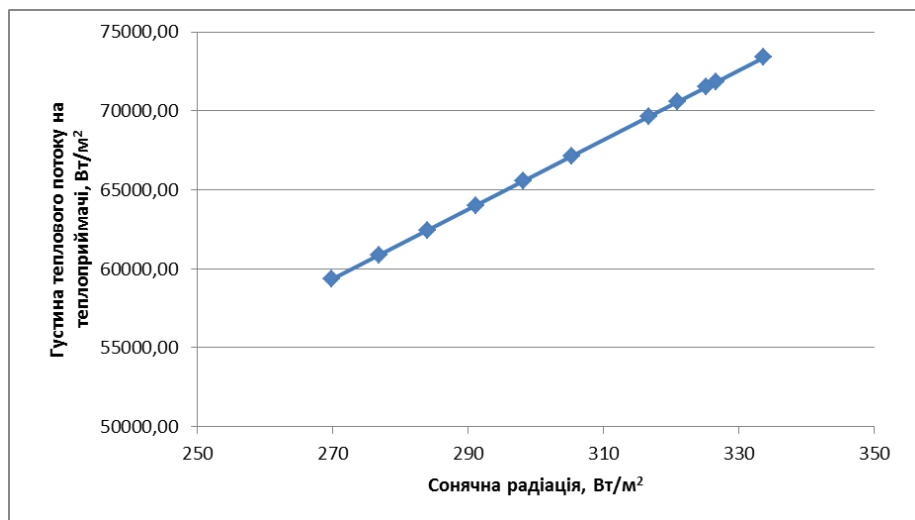


Рис. 6 – Залежність густини теплового потоку на теплоприймачі від сонячної радіації

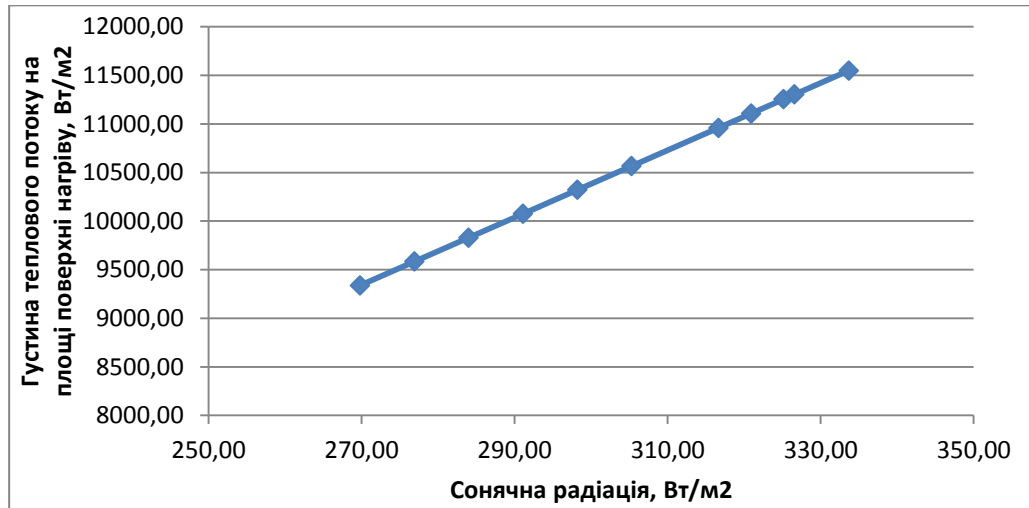


Рис. 7 – Залежність густини теплового потоку на площі поверхні нагріву від сонячної радіації

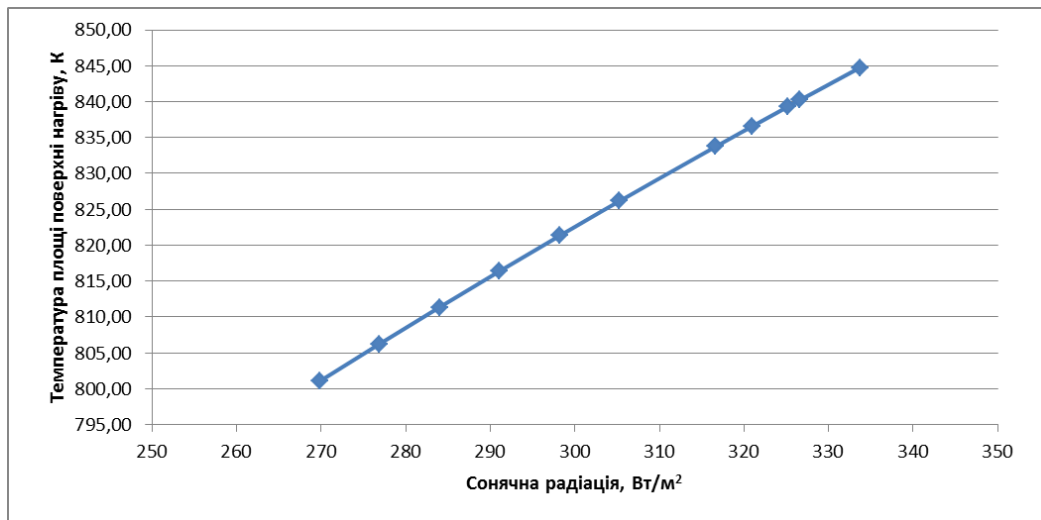


Рис. 8 – Залежність температури площі поверхні нагріву від сонячної радіації

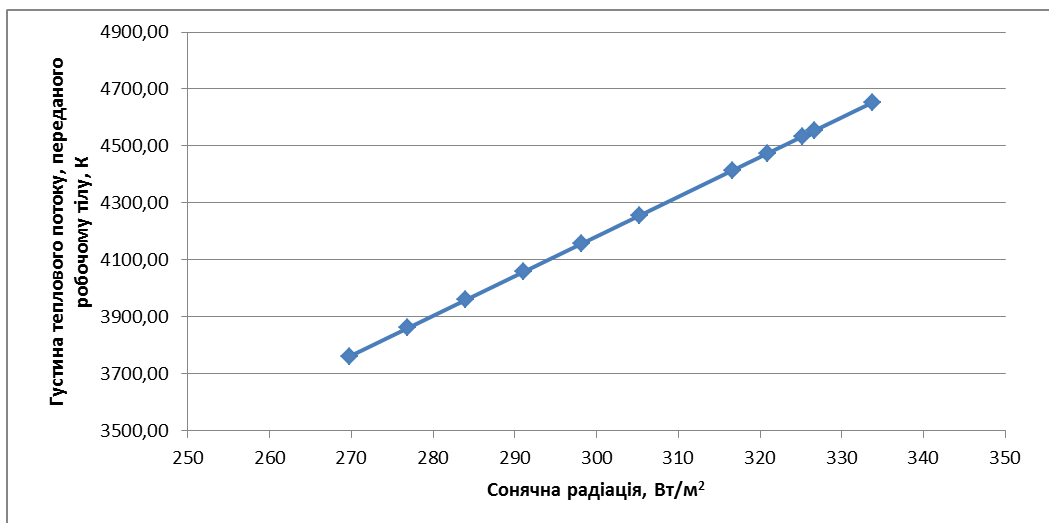


Рис. 9 – Залежність густини теплового потоку, переданого робочому тілу, від сонячної радіації

Розрахунок основних характеристик двигуна Стірлінга УДС-1 зроблено за методом Шмідта [1]. Результати розрахунку представлені на рис.10, рис.11, у табл. 1 і 2.

Робочий об'єм циліндра:

$$V_s = 2rA_p,$$

де r - радіус кривошипа,

A_p - площа перерізу робочого поршня.

Робочий об'єм порожнини розширення: V_{se} .

Робочий об'єм порожнини стиснення: V_{sc} .

Сумарний робочий об'єм:

$$V_{st} = V_{se} + V_{sc} = V_{se}(1 + k).$$

Мертвий об'єм: V_d

Сумарний об'єм:

$$V_t = V_{st} + V_d = V_{se}(1 + k + X).$$

Визначальні параметри системи

Відношення робочих об'ємів порожнини стиснення і порожнини розширення:

$$k = \frac{V_{sc}}{V_{se}},$$

(для практичних систем величина звичайно дорівнює одиниці або близька до неї).

Фазовий кут об'ємів: $\alpha = 90^\circ$ (відповідає тах вихідній потужності).

Відносний мертвий об'єм (об'єм мертвої порожнини по відношенню до робочого об'єму порожнини розширення):

$$X = \frac{V_d}{V_{se}}.$$

Відношення температур (температура кожної частини системи, віднесена до однієї температури T_e):

$$\xi = \frac{T_c}{T_e} = -\frac{W_c}{W_e} = -\frac{Q_c}{Q_e},$$

(система ізотермічна).

Характерний тиск циклу (mid, max, min):

$$p_{mid} = p_{max} \frac{(1-\delta)^{0.5}}{(1+\delta)^{0.5}} = p_{min} \frac{(1+\delta)^{0.5}}{(1-\delta)^{0.5}},$$

$$p_{min} = p_{max} \frac{1-\delta}{1+\delta},$$

$$p = p_{max} \frac{1-\delta}{[1 + \delta \cos(\phi - \theta)]},$$

$$\text{де } \delta = \frac{B}{S}, B = (\xi^2 + 2k\xi \cos \alpha + k^2)^{1/2}, S = \xi + k + \frac{4X\xi}{\xi + 1};$$

$$\theta = \arctg\left(\frac{k \sin \alpha}{\xi + k \cos \alpha}\right).$$

Властивості робочого тіла.

Перенос енергії:

$$Q_E = W_E = \frac{P \max \delta V_{SE} \pi \sin \theta (1 - \delta)^{1/2}}{(1 + \delta)^{1/2} [1 + (1 - \delta^2)^{1/2}]},$$

$$Q_C = W_C = \frac{P \max \delta k V_{SE} \pi \sin(\theta - \alpha) (1 - \delta)^{1/2}}{(1 + \delta)^{1/2} [1 + (1 - \delta^2)^{1/2}]}.$$

Корисна циклова робота:

$$W_T = W_E - W_C = W_E - \xi W_E = W_E (1 - \xi) = Q_E (1 - \xi),$$

$$W_T = \frac{P \max \delta V_{SE} (1 - \xi) \pi \sin \theta (1 - \delta)^{1/2}}{(1 + \delta)^{1/2} [1 + (1 - \delta^2)^{1/2}]} = \frac{P \max \delta V_{SE} (1 - \xi) \pi \sin \theta}{[1 + (1 - \delta^2)^{1/2}]},$$

$$\text{де: } \sin \theta = \frac{k \sin \alpha}{B} = \frac{k \sin \alpha}{(\xi^2 + 2k\xi \cos \alpha + k^2)^{1/2}},$$

($\alpha = 90^\circ$ відповідає max вихідній потужності);

Потужність за Шмідтом:

$$P_S = W_T \cdot N,$$

де: W_T – корисна робота протягом одного циклу,

N – швидкість обертання валу.

Термічний ККД:

$$\eta_t = \eta_k = \frac{W_T}{Q_E} = 1 - \xi.$$

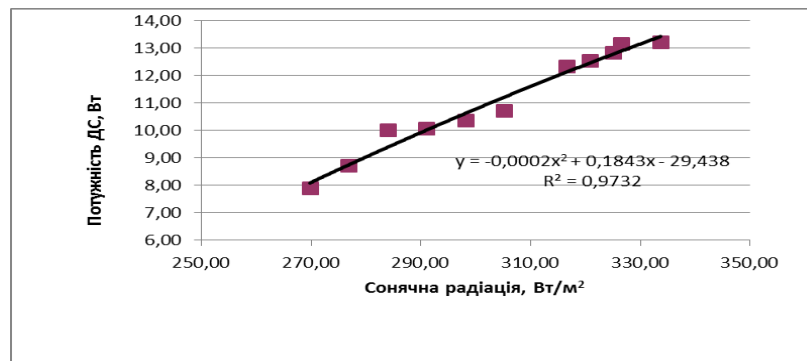


Рис. 10 – Залежність потужності двигуна Стирлінга [η] від прямої сонячної радіації [Q]

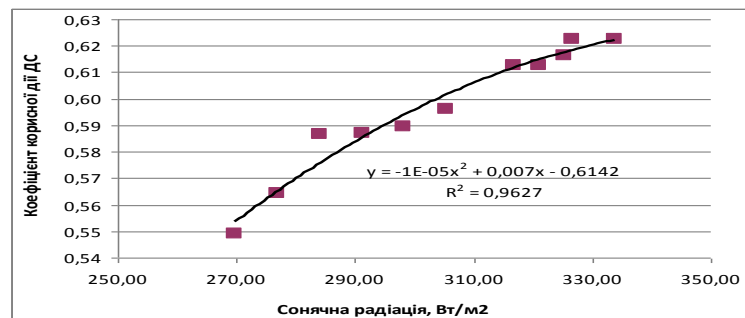


Рис. 11 – Залежність коефіцієнта корисної дії двигуна Стирлінга [η] від сонячної радіації [Q]

Таблиця 1 – Зведена таблиця потужнісних характеристик ДС

Ес=qа, Вт/м2	Х	ξ	α	В	С	δ	sinθ	Pmid	W _т , Дж	Ps, Вт	η _т
269,80	2,473	0,45	1,57	1,10	4,53	0,24	0,91	0,13	0,95	7,88	0,55
276,90	2,473	0,44	1,57	1,09	4,44	0,25	0,92	0,13	1,00	8,73	0,56
284,00	2,473	0,41	1,57	1,08	4,31	0,25	0,92	0,13	1,07	10,00	0,59
291,10	2,473	0,41	1,57	1,08	4,30	0,25	0,92	0,13	1,07	10,07	0,59
298,20	2,473	0,41	1,57	1,08	4,29	0,25	0,93	0,13	1,08	10,35	0,59
305,30	2,473	0,40	1,57	1,08	4,25	0,25	0,93	0,13	1,11	10,70	0,60
316,66	2,473	0,39	1,57	1,07	4,15	0,26	0,93	0,13	1,17	12,31	0,61
320,92	2,473	0,39	1,57	1,07	4,15	0,26	0,93	0,13	1,17	12,51	0,61
325,18	2,473	0,38	1,57	1,07	4,13	0,26	0,93	0,13	1,19	12,82	0,62
326,60	2,473	0,38	1,57	1,07	4,09	0,26	0,94	0,13	1,21	13,15	0,62
333,70	2,473	0,38	1,57	1,07	4,09	0,26	0,94	0,13	1,21	13,20	0,62

Розрахунок ефективності електрогенератора

$$\eta_{EG} = \frac{W}{P_s} = \frac{I \cdot U}{P_s}$$

ККД електрогенератора:

Таблиця 2 – Експериментальні характеристики двигуна

I, А	U, В	W, Вт	Ps, Вт	η_{EG}
3,63	0,2	0,73	7,88	0,092
2,37	0,34	0,81	8,73	0,092
2,06	0,45	0,93	10,00	0,093
1,69	0,56	0,94	10,07	0,094
1,62	0,61	0,99	10,35	0,095
1,21	0,92	1,11	10,70	0,104
1,11	1,16	1,29	12,31	0,105
1,13	1,18	1,34	12,51	0,107

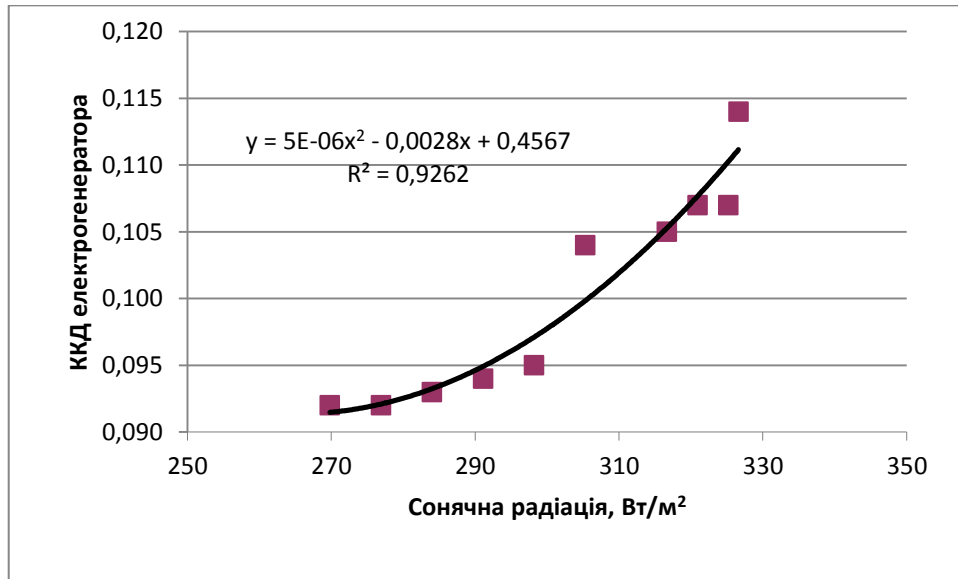


Рис. 11 – Залежність ККД електрогенератора [η] від сонячної радіації [Q]

Розрахунок ефективності сонячної енергетичної установки (СЕУ) в цілому в залежності від густини сонячної радіації.

$$\eta_{CEV} = \eta_{ТП} \eta_t \eta_{ЕЛ},$$

де: η_{CEV} - коефіцієнт перетворення сонячної енергетичної установки,

$\eta_{ТП}$ - коефіцієнт ефективності теплоприймача:

$$\eta_{CEV} = \frac{Q_{PT}}{Q_{ПАД}}$$

$\eta_{ЕЛ}$ - ккд електрогенератора:

$$\eta_{ЕГ} = \frac{P_{ЕГ}^{max}}{P_s}$$

η_t - ккд двигуна Стірлінга:

$$\eta_t = \frac{P_s}{Q_{PT}}$$

$$\eta_{CEV} = \frac{Q_{PT}}{Q_{ПАД}} \cdot \frac{P_s}{Q_{PT}} \cdot \frac{P_{ЕГ}}{P_s} = \frac{P_{ЕГ}}{Q_{ПАД}}$$

За викладеною методикою було проведено розрахунки базових характеристик основних елементів СЕУ та ефективності процесу перетворення. Результати представлено в таблиці 3.

Таблиця 3 – Розрахунок ефективності сонячної енергетичної установки

№	η_{III}	η_t	η_{EL}	η_{CEU}
1	0,40	0,55	0,092	0,0202
2	0,40	0,56	0,092	0,0206
3	0,40	0,59	0,093	0,0219
4	0,40	0,59	0,094	0,0222
5	0,40	0,59	0,095	0,0224
6	0,40	0,6	0,104	0,0250
7	0,40	0,61	0,105	0,0256
8	0,40	0,61	0,107	0,0261
9	0,40	0,62	0,107	0,0265
10	0,40	0,62	0,114	0,0283

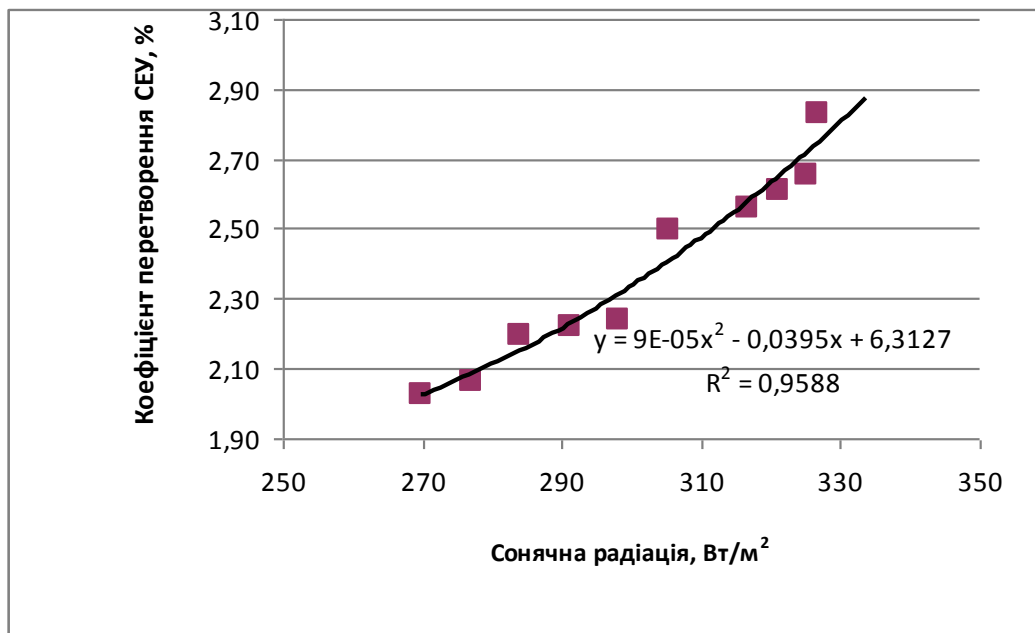


Рис. 12 – Залежність ККД перетворення СЕУ [η] від сонячної радіації [Q].

Розрахунок ефективності сонячної енергетичної установки (СЕУ) з рекуперацією відведеної теплоти

Розрахунок значення теплового потоку, переданого робочому тілу, через експериментальні значення температури води. Кількість теплоти, отриманої охолоджувальною водою за час роботи СЕУ:

$$Q_{\tau} = c_{H_2O} \cdot m_{H_2O} \cdot (T_1 - T_2^B), \text{ Дж}$$

Тепловий потік до охолоджувальної води:

$$Q_{H_2O} = \frac{Q_{\tau}}{\tau}, \text{ Вт}$$

Сумарна ефективність роботи СЕУ з рекуперацією відведеної теплоти:

$$\eta_{CEY(P)} = \frac{Q_{\Sigma}}{Q_{nad}} = \frac{P_{EL} + Q_{H_2O}}{Q_{nad}},$$

Де $c = 4,187 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{K})$,

$m = 2,2 \text{ кг}$,

$\tau = 5 \text{ хв} = 300 \text{ с}$.

Розрахункові значення теплового потоку СЕУ з рекуперацією відведеної теплоти занесено в таблицю 4.

Таблиця 4 – Розрахунок ефективності сонячної енергетичної установки (СЕУ) з рекуперацією відведеної теплоти

T1, K	T2в, K	Q _{H2O} , Вт	$\eta_{CEY(P)}$, %
301	295	0,18	0,61
302,8	295	0,24	0,68
304,6	295	0,29	0,78
306,4	295	0,35	0,80
308,2	295	0,40	0,84
310	295	0,46	0,93
311,8	295	0,51	1,03

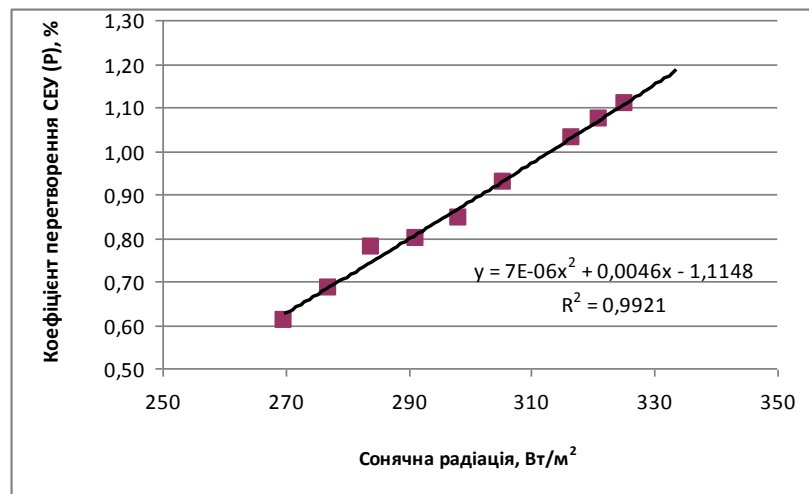


Рис. 13 – Залежність коефіцієнта перетворення СЕУ $[\eta]$ з рекуперацією теплоти від сонячної радіації $[Q]$

Співвідношення потужностей СЕУ

Співвідношення складових сумарної потужності СЕУ з рекуперацією відведеної теплоти, а саме Q_{H_2O} та P_{EL} представлено на Рис. 14.

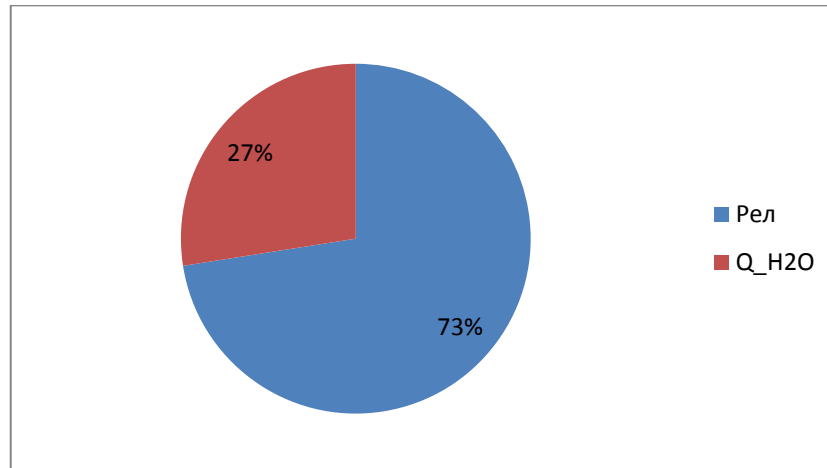


Рис. 14 – Співвідношення складових сумарної потужності СЕУ з рекуперацією відведеної теплоти

Висновки.

4. У результаті обробки експериментальних даних побудовано трендові моделі залежностей температури циліндра-витіснювача та швидкості обертання вала двигуна в залежності від повної сонячної радіації.
5. Різниця між теоретичними і практичними розрахунками температури гарячої порожнини лежить в межах від 8.69 % до 0.03 %.
6. Коефіцієнт корисної дії сонячної енергоустановки змінюється від 2,02 % до 2,83%.
7. Коефіцієнт корисної дії сонячної енергоустановки з рекуперацією відведеної теплоти змінюється від 0,61 % до 1,11 %.
8. Співвідношення $P_{ел}$ та Q_{H_2O} від сумарної потужності складає 73% та 27% відповідно.

Література.

3. Ридер Г. Двигатели Стирлинга/ Ридер Г., Хупер Ч.- Пер. с англ. М.: Мир, 1986, - 464с
4. Walker, G. Stirling-Cycle Machines. - Oxford University Press, 1973. – 156 с.

УДК 621.11

Студент Олейник Н.В.
Старший викладач каф. ТЕ Задвернюк В.В.,

ВПЛИВ ІНТЕНСИВНОСТІ СОНЯЧНОЇ РАДІАЦІЇ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ РОБОТИ ТЕПЛОВОГО НАСОСА

У даній роботі розглянуто питання визначення інтенсивності сонячної радіації, а також деякі зовнішні фактори, які впливають на роботу ТН.

Розглянуто: різні варіанти використання температурних даних: від точних (експериментальних) до середніх показників, рекомендованих NASA SSE; вплив вибору джерела даних на раціональність і ефективність вибору і роботи ТН.

Ключові слова: сонячна радіація, температура ґрунту, глибина, теплопровідність складових шарів ґрунту, коефіцієнт тепловіддачі поверхні ґрунту повітря, тепловий насос.

ВЛИЯНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ СОЛНЕЧНОЙ РАДИАЦИИ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАБОТЫ ТЕПЛООВОГО НАСОСА

В данной работе рассмотрен вопрос определения интенсивности солнечной радиации, а также некоторые внешние факторы влияющие на работу ТН. Рассмотрены: различные варианты использования температурных данных: от точных (экспериментальных) до средних показателей, рекомендованных NASA SSE ; влияние выбора источника данных на рациональность и эффективность выбора и работы ТН.

Ключевые слова: солнечная радиация, температура грунта, глубина, теплопроводимость составных слоев грунта, коэффициент теплоотдачи поверхности ґрунту воздуху, тепловой насос.

INTENSITY OF SOLAR RADIATION KIEV REGION AS ONE OF THE MAIN SOURCES OF THE HEAT PUMP.

In this paper we consider the question of determining the intensity of solar radiation, as well as some external factors affecting the operation of VT. Considered: various uses temperature data from the exact (experimental) to the average recommended by NASA SSE; the impact of the choice of data source to efficiently and effectively select and work stations.

Keywords: depth of the frozen solid, temperature of soil, temperature of air, heat pump.

В данной работе предложен метод расчета для определения температуры грунта , а также проведен сравнительный анализ расчетов температуры грунта по усредненными данным из источников СНИП [9] и RetScreen [6], что влияет на определение эффективной глубины закладки трубопровода теплового насоса.

В настоящее время обеспечение теплоснабжения жилых и производственных помещений на основе энергетических технологий с использованием тепловых насосов (ТН) является одним из наиболее динамично развивающихся направлений мировой возобновляемой энергетики. Ежегодный рост количества устанавливаемых почти в тридцати странах таких систем оценивается в 10%, а общее число уже работающих ТН приближается к миллиону.

Освоение экологически чистых возобновляемых источников энергии (ВИЭ) является стратегической задачей, определяющей перспективы устойчивого развития многих стран, а также удаленных от сетей централизованного энергоснабжения регионов в условиях постепенного истощения дешевых запасов ископаемого органического топлива и угрозы все большего антропогенного загрязнения окружающей среды. Многие технологии использования ВИЭ уже сегодня достигли уровня конкурентоспособности и постепенно выходят на рынок, в том числе и рынок Украины. Солнечная и ветровая энергия все шире используются для производства электроэнергии, нагрева различных теплоносителей и других энергетических приложений.

Солнечное излучение исходит от источника с яркостной температурой около 6000°С и с термодинамической точки зрения является высококачественным первичным источником энергии, допускающим принципиальную возможность его преобразования

в другие виды энергии (электроэнергия, тепло, холод и др.) с высоким КПД. Однако существенными недостатками солнечной энергии являются ее нестабильность (суточная, сезонная, погодная) и относительно малая плотность энергетического потока (за пределами атмосферы - около $1,4 \text{ кВт/м}^2$, на земной поверхности в ясный полдень - около 1 кВт/м^2 , а в среднем за год с учетом ночей и облачности - от $0,15$ до $0,25 \text{ кВт/м}^2$, что, тем не менее, соответствует ежегодному поступлению на 1 м^2 земной поверхности энергии, эквивалентной $150:250 \text{ кг у.т.}$).

Актинометрические данные как основа для оценки ресурсов солнечной энергии

В общем случае информация о потоках солнечной радиации и суммарной падающей энергии может быть получена следующими способами:

1. аналитическим, когда необходимые параметры для конкретной географической точки определяются расчетным путем;
2. непосредственными (обычно непродолжительными) измерениями на месте;
3. многолетними измерениями по единой методике на метеостанциях, результаты которых аккумулированы в климатических справочниках и базах данных.

Методики, используемые при ограниченном объеме информации [4], требуют оценки достоверности полученных, согласно им результатов, так как не позволяют адекватно учитывать атмосферные условия. Непосредственные измерения плотности потока солнечного излучения на месте предполагаемого монтажа установок сопряжены с определенными организационными сложностями. Кроме того, для статистически оправданных оценок такие измерения должны быть многолетними.

Основным источником исходной актинометрической информации, таким образом, являются климатические справочники и базы данных, создаваемые специализированными организациями на основе обработки результатов многолетних метеорологических наблюдений на метеостанциях. В СССР основными источниками актинометрических данных для специалистов-гелиотехников являлись многотомные справочники по климату СССР, ставшие результатом труда многочисленных коллективов региональных и центральных организаций, занимающихся проблемами метеорологии и климата [1, 5]. Как отмечалось выше, в Украине при достаточно разветвленной сети метеорологических станций количество метеостанций, ведущих актинометрические измерения, весьма ограничено. Малая плотность размещения существующих в Украине актинометрических станций осложняет получение надежных данных о распределении солнечной радиации по территории страны. Тем не менее, такая работа в 1990-х годах была выполнена и реализована в подготовленных Атласах ветрового и солнечного климатов Украины, включающих в себя и карты распределения солнечной радиации [6].

В СССР работы по составлению Атласа гелиоэнергетических ресурсов страны проводились, начиная с 1920-х годов [7], и уже в ранних работах отмечалось, что "невозможно раз и навсегда составить солнечный кадастр той или иной территории как в смысле общих количеств получаемой ею ежегодно солнечной радиации, так и в смысле пространственного распределения этих количеств. Это связано, во-первых, с изменением количества и качества наблюдательного материала, положенного в основу кадастра на определенный год, и, во-вторых, с прогрессом техники использования

солнечной энергии". Поэтому при решении проблем использования возобновляемых источников энергии и рационального природопользования продолжают оставаться важными вопросы определения потенциала ресурсов солнечной энергии.

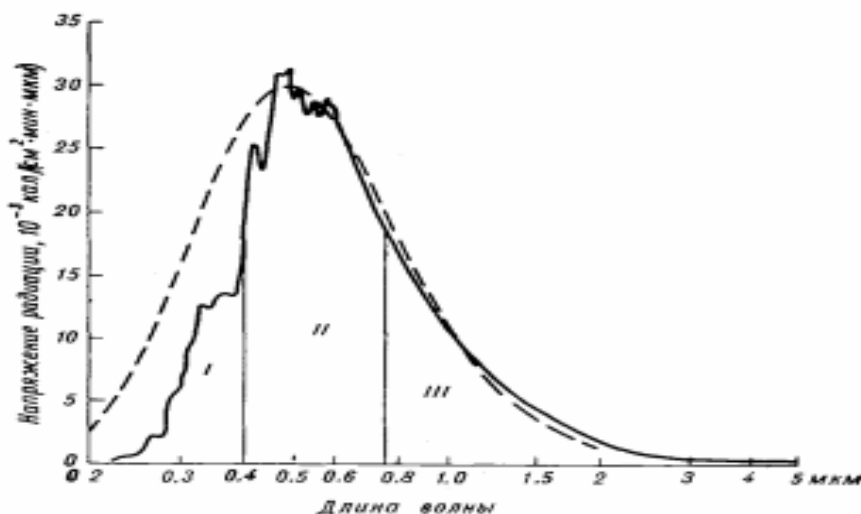


Рис.1 Распределение энергии в спектре Солнца и в спектре черного тела при 6000°C (пунктир) [Хргиан,1979]

Комплекс стандартных актинометрических наблюдений

Измерение потоков солнечного излучения производится пиргелиометрами, актинометрами и пиранометрами. На метеостанциях России (и ранее - СССР), на которых проводятся наблюдения за составляющими радиационного баланса, используется как стандартная аппаратура, так и приборы, разработанные и исследованные в геофизических обсерваториях [9]. Однородность рядов актинометрических данных обеспечивается использованием однотипных приборов и их тщательной градуировкой, а также одинаковой методикой измерений и обработки данных. В качестве приемников интегральной солнечной радиации ($<4 \text{ мкм}$) на сети актинометрических станций СССР были приняты приборы Ю.Д. Янишевского: для прямой радиации - актинометр М-3, для рассеянной и отраженной от земной поверхности радиации - пиранометр М-80М, для радиационного баланса - балансомер М-10М. После распада СССР производство отечественных актинометрических приборов было практически прекращено, что привело к частичному свертыванию сети актинометрических измерений. Ряд метеостанций использует для измерений импортные приборы (преимущественно Kipp & Zonen), однако их высокая стоимость не способствует массовому применению. В последние годы специалистами ГГО им. А.И. Воейкова совместно с белорусским ОАО разработан комплект актинометрических средств измерений, являющихся модификацией приборов конструкции Ю.Д. Янишевского, проведены их испытания в Госстандарте РФ [10]. Выпуск приборов начат ОАО "Пеленг".

Начиная с 90-х годов на метеостанциях, ведущих актинометрические измерения, внедряются современные методы регистрации и обработки актинометрических данных, создаются базы данных.

Исчерпывающим набором измеряемых актинометрических величин, дающих основу для оценки потенциала солнечной энергии, является следующий :

Солнечное сияние:

- Продолжительность солнечного сияния.
- Параметры временного распределения месячной и годовой продолжительности солнечного сияния.

Составляющие радиационного баланса:

- Часовые суммы прямой солнечной радиации, поступающей на нормальную к лучу поверхность при средних условиях облачности.
- Часовые суммы прямой солнечной радиации, поступающей на горизонтальную поверхность при средних условиях облачности.
- Часовые суммы рассеянной, суммарной, отраженной и поглощенной солнечной радиации при средних условиях облачности.
- Средние, максимальные и минимальные суточные суммы суммарной солнечной радиации, поступающей на горизонтальную поверхность.
- Параметры временного распределения суточных сумм суммарной солнечной радиации и статистические характеристики суточных сумм за каждый день месяца.
- Средние, максимальные и минимальные месячные и годовые суммы прямой солнечной радиации, поступающей на нормальную к лучу поверхность.
- Средние, максимальные и минимальные месячные и годовые суммы прямой, рассеянной, отраженной, поглощенной и суммарной солнечной радиации, поступающей на горизонтальную поверхность, а также параметры временного распределения этих величин (среднее квадратичное отклонение, коэффициент вариации, коэффициент асимметрии, коэффициент эксцесса).

Температура поверхности почвы может быть определена по следующей зависимости из [8]:

$$\tau_{z+1} = \frac{\alpha t_g + \frac{\lambda \tau_{2z}}{\Delta x} + Q_{\text{ср}}}{\alpha + \frac{\lambda}{\Delta x}}, \quad (6)$$

где α - коэффициент теплоотдачи от грунта к воздуху, Вт/м²град

Δx – толщина поверхностного слоя, м

$\tau_{2,z}$ – температура грунта ниже поверхностного слоя в предыдущий расчётный интервал времени.

Однако, решение этого уравнения усложняется необходимостью учета динамики как теплового потока от солнечной радиации $Q_{\text{ср.}}$, так и годового изменения температуры воздуха $t_{\text{в.}}$



Температура воздуха в течение года изменяется в широких пределах, причем стояние экстремальных значений температур носит непродолжительный характер, поэтому аппроксимация этой зависимости виде гармонической функции неизбежно приведет к значительным искажениям действительности. Для подтверждения этого утверждения произведем анализ стояния температур в г. Киеве.

Поступление солнечной радиации на горизонтальную поверхность достаточно хорошо изучено и может быть определено для любых широт. В СНиПе «Строительная климатология» представлены данные поступления теплоты для всех месяцев года. Несложно сделать преобразования и с учетом допущения, что средние значения соответствуют середине месяца, определить тепловой поток на поверхность грунта. На рис. 4 представлена кривая солнечной радиации по данным [9] и аппроксимация в виде гармонической функции, которая имеет минимальные отклонения от экспериментальных значений.

Таблица 1: Суммарная (прямая и рассеяная) солнечная радиация на горизонтальную поверхность при действительных условиях облачности, МДж/м²

Город	Месяц											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Киев	96	141	266	417	591	626	611	511	362	210	82	55

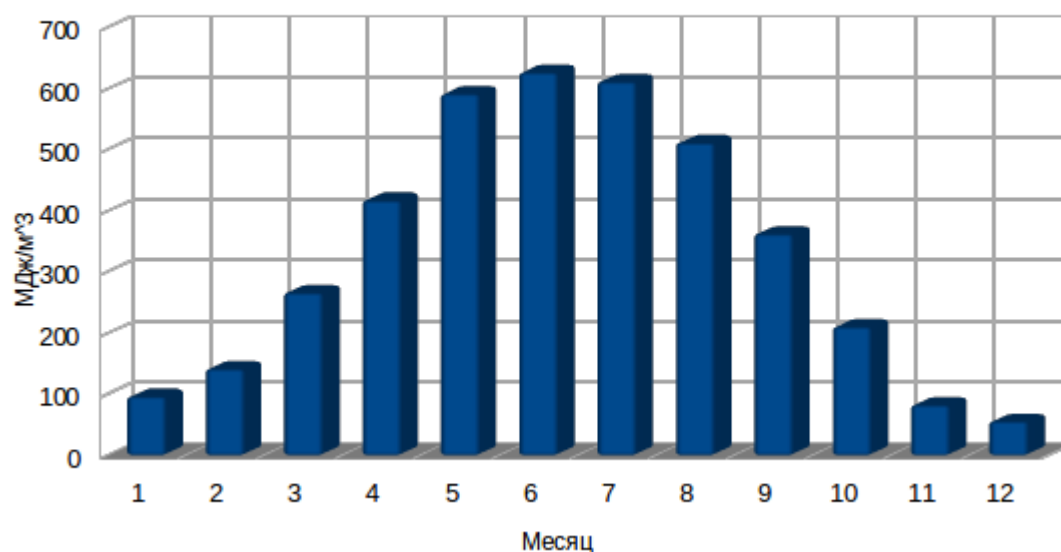


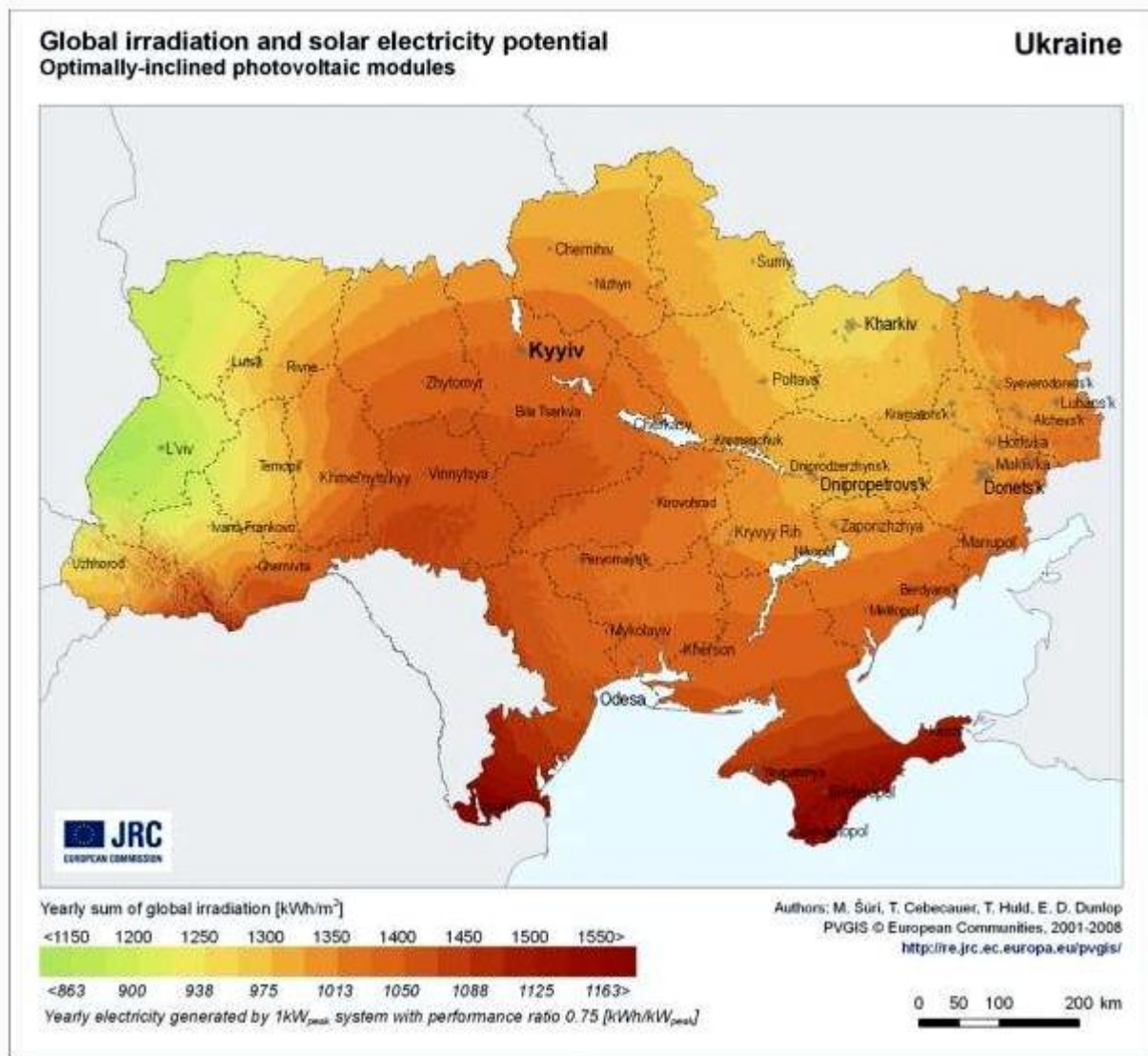
Рис. 4. Суммарная (прямая и рассеянная) солнечная радиация на горизонтальную поверхность при действительных условиях облачности в г.Киеве.

В приведенной ниже таблице вы можете увидеть среднегодовой уровень солнечного излучения на 1м² в день:

Средний месячный уровень солнечной радиации(солнечная постоянная) в городах Украины (кВтч/м ² /день)													
Средний показатель за последние 22 года (по данным NASA)													
Регионы / Месяцы	янв	фев	март	апр	май	июнь	июль	авг	сент	окт	ноя	дек	Средн
Симферополь	1,27	2,06	3,05	4,30	5,44	5,84	6,20	5,34	4,07	2,67	1,55	1,07	3,58
Винница	1,07	1,89	2,94	3,92	5,19	5,3	5,16	4,68	3,21	1,97	1,10	0,9	3,11
Луцк	1,02	1,77	2,83	3,91	5,05	5,08	4,94	4,55	3,01	1,83	1,05	0,79	2,99
Днепропетровск	1,21	1,99	2,98	4,05	5,55	5,57	5,70	5,08	3,66	2,27	1,20	0,96	3,36
Донецк	1,21	1,99	2,94	4,04	5,48	5,55	5,66	5,09	3,67	2,24	1,23	0,96	3,34
Житомир	1,01	1,82	2,87	3,88	5,16	5,19	5,04	4,66	3,06	1,87	1,04	0,83	3,04
Ужгород	1,13	1,91	3,01	4,03	5,01	5,31	5,25	4,82	3,33	2,02	1,19	0,88	3,16
Запорожье	1,21	2,00	2,91	4,20	5,62	5,72	5,88	5,18	3,87	2,44	1,25	0,95	3,44
Ивано-Франков	1,19	1,93	2,84	3,68	4,54	4,75	4,76	4,40	3,06	2,00	1,20	0,94	2,94
Киев	1,07	1,87	2,95	3,96	5,25	5,22	5,25	4,67	3,12	1,94	1,02	0,86	3,10
Кировоград	1,20	1,95	2,96	4,07	5,47	5,49	5,57	4,92	3,57	2,24	1,14	0,96	3,30
Луганск	1,23	2,06	3,05	4,05	5,46	5,57	5,65	4,99	3,62	2,23	1,26	0,93	3,34
Львов	1,08	1,83	2,82	3,78	4,67	4,83	4,83	4,45	3,00	1,85	1,06	0,83	2,92
Николаев	1,25	2,10	3,07	4,38	5,65	5,85	6,03	5,34	3,93	2,52	1,36	1,04	3,55
Одесса	1,25	2,11	3,08	4,38	5,65	5,85	6,04	5,33	3,93	2,52	1,36	1,04	3,55
Полтава	1,18	1,96	3,05	4,00	5,40	5,44	5,51	4,87	3,42	2,11	1,15	0,91	3,25
Ровно	1,01	1,81	2,83	3,87	5,08	5,17	4,98	4,58	3,02	1,87	1,04	0,81	3,01
Сумы	1,13	1,93	3,05	3,98	5,27	5,32	5,38	4,67	3,19	1,98	1,10	0,86	3,16
Тернополь	1,09	1,86	2,85	3,85	4,84	5,00	4,93	4,51	3,08	1,91	1,09	0,85	2,99
Харьков	1,19	2,02	3,05	3,92	5,38	5,46	5,56	4,88	3,49	2,10	1,19	0,9	3,26
Херсон	1,30	2,13	3,08	4,36	5,68	5,76	6,00	5,29	4,00	2,57	1,36	1,04	3,55
Хмельницкий	1,09	1,86	2,87	3,85	5,08	5,21	5,04	4,58	3,14	1,98	1,10	0,87	3,06
Черкассы	1,15	1,91	2,94	3,99	5,44	5,46	5,54	4,87	3,40	2,13	1,09	0,91	3,24
Чернигов	0,99	1,80	2,92	3,96	5,17	5,19	5,12	4,54	3,00	1,86	0,98	0,75	3,03
Черновцы	1,19	1,93	2,84	3,68	4,54	4,75	4,76	4,40	3,06	2,00	1,20	0,94	2,94

Мы можем наблюдать на карте усредненный показатель средний месячный уровень солнечной радиации в г. Киев, он не более 1000 на 1м² в день, что говорит о том, что расчетные данные по СНИП были достаточно неточными, используя более

современную карту среднемесячного уровня солнечной радиации, также более точные данные из NASA SSE, мы можем рассчитать более точно среднегодовую температуру грунта.



Но применив данные из источника NASA SSE задав координаты г. Киев мы сможем узнать более точную информацию о суммарном уровне радиации.

По данным NASA SSE:

Solar Geometry:

Monthly Averaged Solar Noon (GMT time)												
Lat 50.43 Lon 30.52	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Average	1008	1013	1007	0959	0955	0958	1005	1003	0954	0944	0943	0951

[Parameter Definition](#)

Практический расчет температуры грунта по данным СНИП

Согласно указанной выше формуле (6) рассчитаем среднюю температуру грунта в г.Киеве, подставив значения суммарной солнечной радиации $Q_{с.р.}$.

Расчетные данные:

- α , Вт/(м²•°C) — Коэффициент теплоотдачи рассчитаем по формуле $\alpha = 11.6 + 7 \cdot 2 = 25.6$ Вт/(м²•°C)
- ω , м/с. — средняя скорость ветра, по данным СНИП в Киеве, 4 м/с.
- $\tau_{в.}$ - температура воздуха, по данным метеорологической службы среднегодовая температура в Киеве — 7.7
- $\tau_{2,z}$ - температура ниже поверхностного слоя земли, в данных расчетах среднегодовая ТНПС на глубине 1.6 м = 9.25
- Δx , м — толщина поверхностного слоя = 0.8 м;
- λ , мВтК — коэффициент теплопроводимости грунта, для расчета мы используем среднее значение (λ грунта с 10% воды, λ грунта песчаный, λ грунта сухого, λ грунта утрамбованного) = 1.09 Вт/м·К;
- $Q_{с.р.}$ - суммарная (прямая и рассеянная) среднегодовая солнечная радиация на горизонтальную поверхность при действительных условиях облачности. = 955 МДж/м²

Рассчитаем по формуле подставив значения в (6):

$$(25,6 \cdot 7,7 + ((1,5 \cdot 9,25)/0,8) + 955)/(25,6 + (1,09/0,8)) = 23.7 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Данное значение не соответствует данным по СНИП среднегодовой температуры грунта. Среднегодовая температура грунта в г.Киеве порядка 8,5 °C — 9,35 °C, что существенно искажает точность полученных расчетов, вследствие чего расчет по усредненным данным СНИП является в большей степени ориентировочным, чем показательным.

Так же данные полученные с NASA SSE указывают более точные данные, и более искаженные данные по сравнению с усредненными данными СНИП.

Вывод:

Программное обеспечение с сайта NASA SSE подходит для расчета усредненных данных расчета солнечной радиации в г. Киеве, однако для эффективной работы ТН нужно использовать точные данные, в данной работе был представлен пример расчета температуры грунта, табличные данные были взяты более точные с учетом солнечной радиации, что позволяет рассчитать более точно количество вырабатываемой энергии тепловых насосом. Так как мы использовали точные данные NASA SSE, можно предполагать, что из этого следует, что информации из взятых данных достаточно для эффективной установки ТН, но для повышения эффективности работы ТН необходимым является практическое исследование определенного участка почвы грунта, а также всех остальных основополагающих факторов влияющих на температуру грунта. Только практическое исследование, а также взятие всех данных для формулы позволит эффективно использовать тепловой насос.

Литература:

- 1) Мазурова О.К., Чебанова Т.О. К оценке эффективности переохлаждения для ряда хладагентов в теплонасосном цикле [Электронный ресурс] // Интернет-журнал "Науковедение", № 3, 2013, <http://naukovedenie.ru/PDF/52trgsu313.pdf> (доступ свободный) – Загл. с экрана. – Яз. рус.
- 2) Kavanaugh P.K. and Rafferty K. Ground-source Heat Pumps — Design of Geothermal Systems for Commercial and Institutional Buildings // Publishing of American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers, Inc., Atlanta, GA, USA. — 1997. — 223 p.
- 3) Справочник по климату СССР (Л. : Гидрометеоиздат. Вып. 1–34).
- 4) Васильев Г. П. Теплохладоснабжение зданий и сооружений с использованием низкопотенциальной тепловой энергии поверхностных слоев Земли: Монография. Издательский дом «Граница». – М. : Красная звезда, 2006. 263 с.
- 5) Федянин В.Я., Карпов М.К. Использование грунтовых теплообменников в системах теплоснабжения. ПОЛЗУНОВСКИЙ ВЕСТНИК, № 4, 2006, стр. 98-103.
- 6) RETScreen® International. Ground-source Heat Pump Project Analysis: Chapter // RETScreen® Engineering & Cases Textbook. – Ministry of Natural Sources of Canada, 2005. – 70 p.
- 7) Кидрук М.И. Моделирование работы грунтового коллектора теплового насоса. [Электронный ресурс] <http://progress21.com.ua/ru/articles/groundcollector> (доступ свободный) – Загл. с экрана. – Яз. рус.
- 8) Руденко Н.Н., Фурсова И.Н. Моделирование температурного поля в грунте. [Электронный ресурс] // «Инженерный вестник Дона», 2013, № 2 (часть 1). – Режим доступа: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n2y2013/1697> (доступ свободный) – Загл. с экрана. – Яз. рус.
- 9) СНиП 23-01-99 Строительная климатология.
- 10) Фурсова И.Н., Терезников Ю.А. Исследование влияния температуры внутреннего воздуха на распределение температуры поверхности тёплого пола [Электронный ресурс] // «Инженерный вестник Дона», 2013, № 2 (часть 2). – Режим доступа: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n2y2013/1700> (доступ свободный) – Загл. с экрана. – Яз. рус.
11. Данные метеослужбы с сайта [http://rp5.ua/%D0%90%D1%80%D1%85%D0%B8%D0%B2_%D0%BF%D0%BE%D0%B3%D0%BE%D0%B4%D1%8B_%D0%B2_%D0%9A%D0%B8%D0%B5%D0%B2%D0%B5_%D0%96%D1%83%D0%BB%D1%8F%D0%BD%D0%B0%D1%85_\(%D0%B0%D1%8D%D1%80%D0%BE%D0%BF%D0%BE%D1%80%D1%82\)](http://rp5.ua/%D0%90%D1%80%D1%85%D0%B8%D0%B2_%D0%BF%D0%BE%D0%B3%D0%BE%D0%B4%D1%8B_%D0%B2_%D0%9A%D0%B8%D0%B5%D0%B2%D0%B5_%D0%96%D1%83%D0%BB%D1%8F%D0%BD%D0%B0%D1%85_(%D0%B0%D1%8D%D1%80%D0%BE%D0%BF%D0%BE%D1%80%D1%82))
12. <http://proektproekt.com/2010/03/11/glubinagrunta/>

Ю.С. Сайчук

магістрант

А.І. Замулко

канд. техн. наук, доцент

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут»

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ СУМІСНОСТІ В МЕРЕЖАХ НИЗЬКОЇ НАПРУГИ УКРАЇНИ З НЕЛІНІЙНИМИ СПОЖИВАЧАМИ

Анотація: Для забезпечення інтеграції об'єднаної енергосистеми України (ОЕСУ) з об'єднаною енергосистемою Європи (ENTSO-T) необхідно забезпечити виконання вимог європейського законодавства у сфері енергетики, зокрема виконання вимог стандартів МЕК 61000. Забезпечення електромагнітної сумісності в мережах низької напруги України з нелінійними споживачами у статті проводиться моделювання якості електроенергії у типовій офісній будівлі.

Ключові слова: МЕК, SIMULINK, нульова послідовність, ФКП, THDU.

Annotation: In order to ensure the integration of the united energy system of Ukraine (UESU) with the united energy system of Europe (ENTSO-T) is necessary to provide compliance with the requirements of European legislation in the energy sector, in particular the requirements of the standards of IEC 61000. To ensure electromagnetic compatible in Ukrainian chain of low voltage with nonlinear costumers an article modeling quality of electricity in typical office-building.

Keywords: IEC, SIMULINK, zero sequence, FCD, THDU.

Вступ. В Україні на даний момент відсутній будь-який документ, який, згідно із закордонного досвіду, здатен чітко регламентувати умови підключення споживачів до електричних мереж, а також права та обов'язки власників мереж. У прийнятих НКРЕ в 2005 році «Правилах приєднання електроустановок до електричних мереж» є лише загальна фраза про те, що власник мереж під час підготовки технічних умов підключення може керуватися принципами забезпечення якості електричної енергії. Проте у типовій формі технічних умов на підключення в Україні, на відміну, наприклад, від Великобританії чи Німеччини не передбачена інформація про емісію гармонік струму. Тому неясно, яким чином власник мереж в Україні здатен забезпечити допустимий рівень якості напруги, не маючи ні вихідних даних для розрахунку, ні затвердженої єдиної методики розрахунку гармонік напруги, очікуваних в мережі після підключення споживача. Без прийняття національної концепції забезпечення ЕМС не можуть бути розроблені українські інженерні рекомендації, які б встановлювали граничні норми емісії гармонік струму від всієї апаратури окремого потужного споживача і містили б методику розрахунку гармонік напруги.

Аналіз стану питання. Характерною особливістю українських низьковольтних мереж, що здатна спричинити суттєвий вплив на величину вищих гармонік струмів і напруг, є широке поширення силових трансформаторів із з'єднанням обмоток по схемі «зірка - зірка з нулем». Опір нульової послідовності зазначених трансформаторів в кілька разів вище, ніж опір прямої послідовності. Так, для трансформатора ТМ 100/10 зі схемою з'єднання обмоток «зірка- зірка з нулем» опір нульової послідовності для основної частоти $Z_{\text{тр}(1)}^0 = (R_{\text{тр}}^0 + j X_{\text{тр}(1)}^0) = (0,105 + j 0,695)$ Ом, а для трансформатора зі схемою з'єднання обмоток «трикутник-зірка з нулем» опір нульової послідовності для основної частоти: $Z_{\text{тр}(1)}^0 = (R_{\text{тр}}^0 + j X_{\text{тр}(1)}^0) = (0,032 + j 0,065)$ Ом. Варто зауважити, що у роботі [1] проводились заміри $|Z_{\text{екв}(3)}|$ - еквівалентного опору мережі на частоті третьої гармоніки, на основі замірів були отримані залежності $|Z_{\text{екв}(3)}|$ від відношення повної потужності лінійного навантаження мережі $S_{\text{лін}}$ до номінальної потужності трансформатора $S_{\text{тр}}$. Було отримано графіки, аналіз яких показав, що величина $|Z_{\text{екв}(3)}|$, яка визначається величиною опорів поздовжніх елементів мережі, в першу чергу $Z_{0\text{тр}(3)}$, для трансформаторів зі схемою з'єднання обмоток «зірка-зірка з нулем» в (4 - 7) разів більше, ніж для трансформатора із схемою з'єднання обмоток «трикутник-зірка з нулем». При цьому $|Z_{\text{екв}(3)}|$ практично не залежить від $\cos\phi$ лінійного навантаження. Слід

зауважити, що для мережі зі схемою з'єднання обмоток трансформатора «зірка-зірка з нулем» спостерігається істотна залежність $|Z_{\text{екв}(3)}|$ від $S_{\text{лін}}/S_{\text{тр}}$, а для мережі зі схемою з'єднання обмоток трансформатора «трикутник-зірка з нулем» ця залежність незначна (рис. 1).

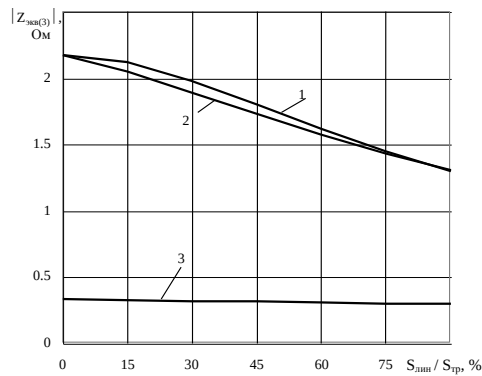


Рисунок 1 Залежності $|Z_{\text{екв}(3)}|$ от $S_{\text{лін}}/S_{\text{тр}}$:

- 1 - трансформатор "зірка - зірка з нулем", $\cos\varphi = 1$;
- 2 - трансформатор "зірка - зірка з нулем", $\cos\varphi = 0,8$;
- 3 - трансформатор "трикутник - зірка з нулем".

Виходячи від даних на графіку можна припустити, що при розробці МЕК методик щодо розрахунку граничних норм емісії гармонік струму приймалося, що типовими трансформатором в європейській мережі низької напруги є трансформатор зі схемою з'єднання обмоток «трикутник-зірка з нулем». З огляду на це, вплив параметрів лінійного навантаження на величину $|Z_{\text{екв}(3)}|$ не враховувався з огляду на його незначності. Очевидно, що неврахування зазначеного впливу в мережі з трансформатором зі схемою з'єднання обмоток «зірка-зірка з нулем» (українська ЕПС) призведе до суттєвої похибки при визначенні еквівалентного опору мережі, що вплине на точність визначення параметрів додаткових нелінійних споживачів. Проте у роботі [1] зазначено, що для мережі з трансформатором зі схемою з'єднання обмоток «зірка-зірка з нулем» можна скористатися спрощеним виразом для визначення $|Z_{\text{екв}(3)}|$, яке враховує той факт, що опір $Z_{0\text{тр}(3)} \approx X_{0\text{тр}(3)} = 3X_{0\text{тр}(1)}$.

З малюнка 1 можна припустити, що при одних і тих же навантажувальних параметрах активна потужність нелінійних споживачів, що підключаються до європейської мережі може бути в рази більша, ніж відповідна потужність для української мережі. Очевидно, що зазначені співвідношення повністю збігаються з співвідношеннями відповідних значень еквівалентного опору мережі (див. рис.1). При цьому для прийнятих вихідних умов підключення повна потужність зазначених (нелінійних) споживачів європейської мережі може становити близько 30-40% від потужності трансформатора, а української - не більше (6 - 10)%..

Метою роботи являється розрахунок показників якості напруги офісної будівлі за допомогою програми математичного моделювання SIMULINK.

Методика, матеріали і результати досліджень. При виборі моделі мережі низької напруги необхідно знайти компроміс між отриманням прийнятної точності отриманих результатів і простотою подання реальних пристроїв у вигляді математичних моделей.

Для демонстрації впливу нелінійного навантаження на рівень електро-магнітної сумісності було було побудовано математичну модель. Дана математична модель, схема заміщення якої була представлена у [2] і представляє собою систему електропостачання громадської будівлі чи офісу.

Система електропостачання такої будівлі складається із трансформатора 10/0,4 кВ з потужністю 100 кВА, ліній до головного розподільчого щита (ГРЩ), внутрішніх живильних ліній (стояків) від ГРЩ будівлі до розподільчих щитків (РЩ), лінії від РЩ силової мережі до

електроприймачів (розподільча мережа), лінії від РЩ до освітлення та розеток (групова мережа).

Проведений аналіз у роботі [2] показав, що, з врахуванням сказаного, оптимальною для проведення моделювання і аналізу режимів електричної мережі буде схема заміщення, яка враховує 4 характерних навантажувальні вузли (ГРЩ, РЩ і два вузла групової мережі).

Як було уже сказано, на відміну від електромереж Європи, де типовим являється трансформатор з обмотками "трикутник - зірка з нулем", в електромережах України типовим є трансформатор "зірка - зірка з нулем", параметри нульової послідовності якого є значно більшими. Це призводить до того, що у наших електромережах більш помітний вплив нелінійного навантаження на електромагнітну сумісність, допускається менша потужність нелінійного навантаження, а також вимоги, які описані у європейських стандартах та стандартах міжнародної електротехнічної комісії (МЕК), будуть недостатніми для забезпечення електромагнітної сумісності.

Для представлення даної ситуації була побудована математична модель (рис. 2) у програмі SIMULINK офісної будівлі з врахуванням наведених вище рекомендацій. Схема, описана у роботах [2] та [3] і яка приведена на рис. 2, представляє собою варіант розгорнутої схеми заміщення мережі НН.

З розгорнутої схеми видно, що зовнішня мережа і стояки виконуються трифазними із нульовим проводом, а навантаження групової мережі підключається до мережі 2-жильним кабелем. Навантаження по своєму складу подібні. Кожен навантажувальний блок складається з трьох однофазних навантажень, увімкнених на фазні напруги.

Використовуючи програму SIMULINK було підібрано потужність і співвідношення лінійного та нелінійного навантаження схеми. Було досягнуто 90% завантаження трансформатора і 30%-го складу нелінійного навантаження.

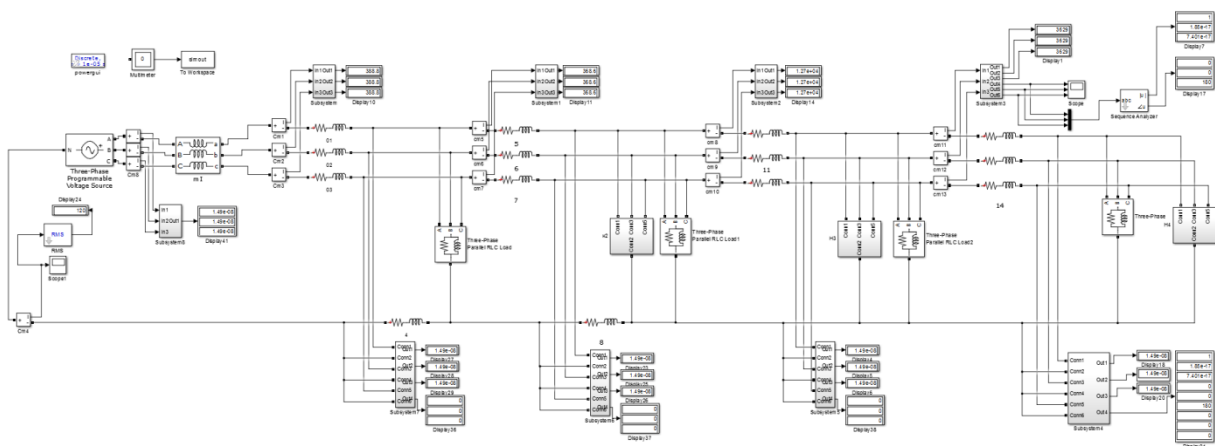


Рисунок 2 Математична модель офісної будівлі у програмі SIMULINK

Результати моделювання у програмі SIMULINK показали, що параметр THD_U мережі із трансформатором "зірка - зірка з нулем" біля ГРЩ становить 14,7%, тоді як у мережі з трансформатором "трикутник - зірка з нулем" THD_U становить 4,5%. Таким чином можна помітити що у першому випадку вимоги стандартів МЕК 61000 не виконуються. Навіть використання у сучасних приладах індивідуальних (вбудованих) коректорів коефіцієнта потужності не дозволяють знизити рівень гармонік у мережі до необхідного рівня.

Щоб визначити можливі шляхи вирішення зазначеної проблеми, був проведений розрахунок режимних параметрів мережі низької напруги житлового будинку з трансформатором потужністю 100 кВА зі схемою з'єднання обмоток «зірка - зірка з нулем», в якому встановлено ФКП, виконане на одному тристержневому магнітопроводі.

В одному з реалізованих на практиці ФКП конструкції зустрічний зигзагбули досягнуті наступні значення його характеристик: $Z_{пр} = 450 \text{ Ом}$, $Z_0 = 0,075 \text{ Ом}$. На підставі цих характеристик були визначені параметри блоку Three Phase Mutual Inductance $L1 = 1,43 \text{ Гн}$,

$R1 = 0,05 \text{ Ом}$, $L0 = 0,3 \text{ мГн}$, $R0 = 0,06 \text{ Ом}$.

Результати розрахунку в програмі SIMULINK показали, що застосування вказаного ФКП дозволило зменшити $THD_U\%$ з 14,7% до 5%, що дозволило, забезпечити дотримання рівнів електромагнітної сумісності по гармонікам напруги. Схему заміщення мережі із ФКП показано на рис. 4 Отримані результати порівнювалися з результатами розрахунку гармонік в мережі з силовим трансформатором зі схемою з'єднання обмоток «трикутник - зірка з нулем» і «зірка - зірка з нулем», з нелінійним навантаженням тієї ж потужності, але без ФКП. Результати розрахунку величини THD_U , третьої гармоніки фазної напруги, третьої гармоніки фазного струму для чотирьох розглянутих варіантів виконання мережі наведені в табл. 1.

Таблиця 1 Результати розрахунку величини THD_U , третьої гармоніки фазної напруги, третьої гармоніки фазного струму

Варіант виконання мережі	$THD_U\%$	U_3V	I_3A
Трансформатор «зірка - зірка з нулем» без ФКП	14,65	44,95	13,72
Трансформатор «трикутник - зірка з нулем» без ФКП	4,46	9,1	26,7
Трансформатор «зірка - зірка з нулем» з ФКП	4,94	10,53	15,26

Таким чином, завдяки використанню автотрансформатора із схемою обмоток зустрічний зигзаг у якості ФКП вдалось зменшити THD_U і забезпечити виконання стандартів МЕК.

Висновок. У зв'язку з зростаючими вимогами до якості електропостачання, входом України до Європейського енергетичного співтовариства виникає необхідність дотримання міжнародних стандартів, що регламентують якість електричної енергії.

У статті було проведено моделювання офісної будівлі з метою визначення ступеню відмінності характеристик європейської ЕПС і ЕПС України у забезпеченні електромагнітної сумісності. У зв'язку із нетиповістю виконання наших електричних мереж і неможливістю тотального переобладнання пропонується використання ФКП для зменшення емісії вищих гармонік у мережу.

Список літератури

1. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук «Гармоники тока и напряжения в низковольтных электрических сетях Украины» Палачев С. А. – Киев 2013р.
2. Шидловский А.К., Жаркин А.Ф. Высшие гармоники в низковольтных электрических сетях. – Издавництво «Наукова думка» 2005р. – 200с.
3. Жаркин А. Ф., Бойко П. С. Математическая модель низковольтной сети с нелинейными нагрузками // Техн. електродинаміка: Тем. вип. «Силовая електроніка та енергоефективність» - 2002. – Ч. 1. – С. 117-119.
4. Анализ режимов работы и энергетических показателей однофазных сетевых выпрямителей / Новский В.А., Жарский Б.К., Козлов А.В., Бойко П.С. // Технічна електродинаміка. Темат. вип. «Силовая електроніка та енергоефективність» – 2009. – Ч. 4. – С. 15-18.
5. Волков И.В. Универсальные фильтры высших гармоник тока в цепях питания частотно-регулируемых приводов / И.В. Волков, В.П.Кабан, В.Ю. Матвеев // Вісник Приазовського державного технічного університету. Зб. наук. пр. Ч. 2, Енергетика. – Маріуполь: ПДТУ, 2005.– Вип. № 15.– С. 50-53.
6. ДСТУ ІЕС/TR 61000-2-6:2010 Електромагнітна обстановка. Оцінювання рівнів емісії низькочастотних кондуктивних збурень в системах електропостачання промислових об'єктів. –[Введений 2011-01-07]. – К.: Держспоживстандарт України, 2011.– 85 с. – (Національний стандарт України).

Экономические аспекты электроснабжения потребителей в условиях нормирования показателей надежности и применения распределенной генерации

В последние два десятилетия в электроэнергетике большинства стран мира значительно расширились объемы применения распределенной генерации на основе как возобновляемых, так и традиционных источников энергии. При этом четко прослеживается тенденция интеграции указанных источников в электрические сети, что, в определенной мере, упрощает решение вопроса гарантированного обеспечения потребителей требуемым объемом электроэнергии в любой момент времени (вследствие отсутствия необходимости ее аккумулирования, как было бы при использовании источников распределенной генерации в автономных режимах) и может повысить надежность энергообеспечения объектов при соответствующем техническом оснащении электрических сетей.

Для достижения максимального эффекта при решении указанных вопросов кроме наличия соответствующих законодательной и нормативной баз, требуется тщательная координация проектов размещения и выбора параметров источников распределенной генерации (ИРГ) с политикой развития электрических сетей и ее оснащения современными коммутационно-защитными аппаратами. Выполнение этих условий позволяет во многих случаях существенно сократить затраты, связанные как с реализацией выставляемых энергоснабжающими компаниями (ЭСК) технических условий на присоединение ИРГ к электрическим сетям, так и с вопросами повышения надежности электроснабжения в условиях нормирования определенных характеризующих ее показателей.

Для оценки экономического эффекта от комплексного подхода к решению вопроса интеграции ИРГ в распределительные электрические сети была рассмотрена воздушная линия напряжением 10 кВ (рис. 1), которая имеет следующие характеристики:

- суммарная длина 9,76 км;
- суммарная нагрузка 1369 кВт;
- в линии отсутствует точка подключения резервного питания.

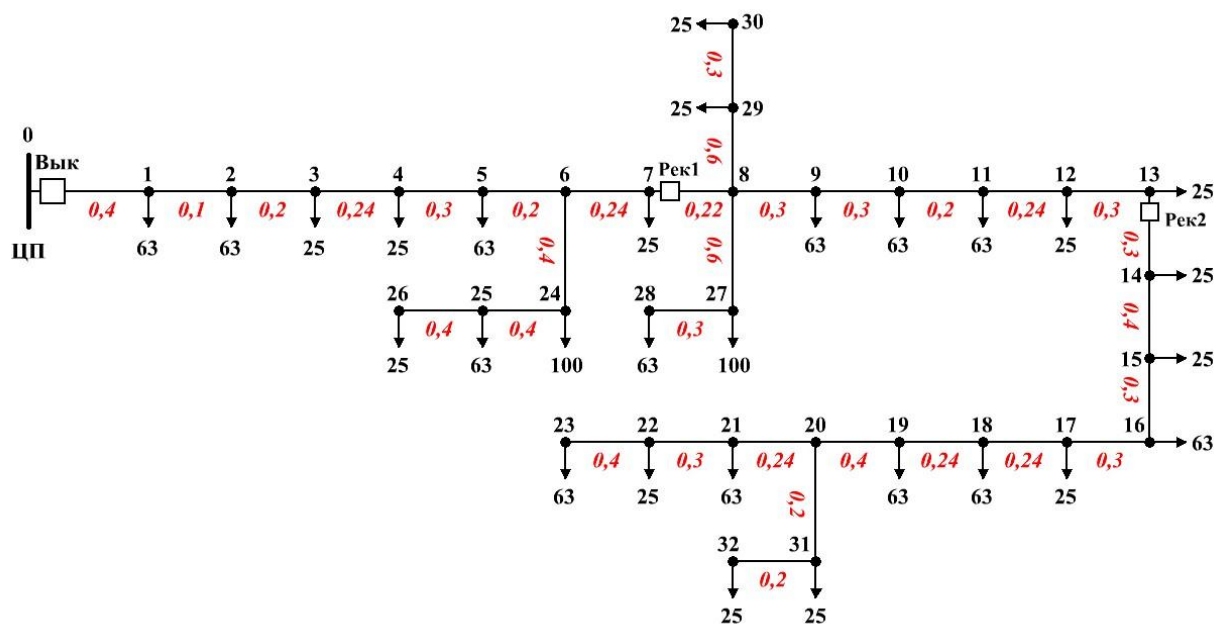


Рис. 1. Распределительная линия напряжением 10 кВ

Путем секционирования линии, а именно за счет установки на участках 7-8 и 13-14

автоматических секционирующих устройств (СУ) – реклоузеров, энергоснабжающей компании удалось достичь нормированного уровня надежности электроснабжения потребителей, который можно сформулировать следующим образом – величина ожидаемого недоотпуска электроэнергии $EENS$ (*Expected Energy Not Supplied*) [1] должна быть снижена не менее, чем на 35% относительно исходной, т.е. величины недоотпуска электроэнергии, имевшей место при отсутствии в линии СУ. Оценка величины $EENS$ производится с помощью структурно-логической матрицы [2].

Теперь предположим, что в одном из узлов линии, приведенной на рис. 1, появится ИРГ, который будет работать параллельно с сетью. Планируется с помощью реклоузеров (или реклоузера) выделить так называемый «остров» [3] – часть линии, нагрузка потребителей которой в послеаварийных режимах может обеспечиваться ИРГ. Возникает следующая задача – оценить и минимизировать затраты ЭСК на формирование «острова» при:

- варьировании мощности и места расположения ИРГ;
- соблюдении нормированного уровня надежности электроснабжения потребителей.

При решении поставленной выше задачи принимается ряд допущений:

1. Для поддержания требуемого уровня надежности электроснабжения при появлении в линии ИРГ могут использоваться только автоматические СУ – реклоузеры и секционализеры [4].

2. Мощность ИРГ задается не детерминированной величиной, а интервальной (т.е. в виде диапазона возможных ее значений [$P_{ИРГ}^{\min}$, $P_{ИРГ}^{\max}$]).

3. Базовой единицей оценки затрат является стоимость одного реклоузера $C_{РЕК}$.

4. Затраты на перенос в другое место или установку в линии одного реклоузера (без учета стоимости его покупки) составляют 30% от стоимости реклоузера (т.е. $C_{ПЕР} = C_{СУТ} = 0,3C_{РЕК}$) [5-7]. Тогда полные затраты на установку в линии одного нового реклоузера составят $C_{РЕК} + C_{СУТ} = 1,3C_{РЕК}$.

5. Стоимость секционализера составляет 20% от стоимости реклоузера (т.е. $C_{СЕК} = 0,2C_{РЕК}$) [8].

6. При удалении из линии реклоузера ЭСК получает выгоду в размере его стоимости.

Результаты решения задачи представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты решения задачи оценки затрат на формирование «острова»

№ ва ри ан та	Реклоузеры в начале участков		ИРГ			«Остров»			EENS (%)
			P _{ИРГ} (кВт)		Располо жение	P _{Ос} (кВт)	Действие по формир.	Затраты	
	1-й	2-й	min	max					
1	нет	нет	0	0	нет	0	нет	нет	100
2	7-8	13-14			нет	0	нет	нет	64,8
3	7-8	8-9	650	720	За 2-м	704	перенос 1	-0,3C _{РЕК}	43,2
4	7-8	19-20			Между	716	перенос 1	-0,3C _{РЕК}	52,0
5	6-7	18-19			Между	678	перенос 2	-0,6C _{РЕК}	53,8
6	5-6	15-16			Между	715	перенос 2	-0,6C _{РЕК}	63,0
7	5-6	14-15			Между	690	перенос 2	-0,6C _{РЕК}	61,7
8	4-5	12-13			Между	703	перенос 2	-0,6C _{РЕК}	63,3
9	4-5	11-12			Между	678	перенос 2	-0,6C _{РЕК}	63,0
10	3-4	11-12			Между	703	перенос 2	-0,6C _{РЕК}	64,7
11	2-3	10-11			Между	665	перенос 2	-0,6C _{РЕК}	67,6
12	1-2	9-10			Между	665	перенос 2	-0,6C _{РЕК}	70,9

В представленной выше таблице вариант 1 соответствует линии без установленных в ней

СУ, а вариант 2 – линии с реклоузерами (установленными в соответствии с представленными выше условиями относительно обеспечения нормируемого уровня надежности) до возникновения вопроса о появлении ИРГ.

Проанализируем полученные результаты. Как видно из таблицы 1 в большинстве вариантов при появлении в линии ИРГ для формирования «острова» достаточно выполнить перенос одного или двух реклоузеров. При этом ожидаемая величина недоотпущенной электроэнергии будет на нормированном уровне (и даже несколько меньше). Интерес представляют два особых случая.

Случай первый. К нему относятся варианты 11 и 12 в которых после формирования «острова» величина $EENS$ становится выше допустимого уровня (более 65% от исходного значения). Очевидно, что в этом случае для уменьшения значения $EENS$ требуется установка в линии (вне «острова») дополнительных автоматических СУ – одного или двух секционализеров. Результаты такого решения приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты расчета $EENS$ после размещения секционализеров

№ вар иан та	Реклоузеры в начале участков		Секцион-ры в начале участков		Итоговые затраты	$EENS$ (%)
	1-й	2-й	1-й	2-й		
11	2-3	10-11	18-19	нет	$-0,8C_{РЕК}$	62,9
12	1-2	9-10	14-15	19-20	$-1,0C_{РЕК}$	62,9

Как видно из приведенных в таблице 2 данных, если отказаться от использования секционализеров и принять к установке в линии только реклоузеры, то (учитывая, что затраты на установку одного нового реклоузера с учетом его стоимости составляют $1,3C_{РЕК}$) итоговые затраты ЭСК на формирование «острова» с обеспечением нормируемой надежности возрастут в несколько раз.

Случай второй. К нему относятся вариант 3, в котором после формирования «острова» величина $EENS$ становится существенно (более чем в 1,5 раза) ниже нормируемого уровня. В этом варианте «остров» формируется одним реклоузером на участке 8-9 и было бы логичным ожидать, что удаление из линии реклоузера на участке 7-8 не приведет к росту величины $EENS$ выше допустимого уровня.

Очевидно, что в этом случае ЭСК получает выгоду в размере стоимости удаляемого реклоузера минус затраты на перенос второго реклоузера на новое место. Величина $EENS$ при этом будет составлять 50,0 %.

Выводы.

Скоординированное решение задач интеграции генерирующих источников в электрические сети и обеспечения их нормируемой надежности может дать значительную экономию средств для энергоснабжающих компаний. Выполненные исследования показали:

1. Объем дополнительных затрат на интеграцию средств распределенной генерации в электрические сети при соблюдении требуемого уровня надежности электроснабжения зависит от:

- возможности реализации «островного» режима работы фрагментов электрической сети;
- мощности ИРГ и места его подключения в линию;
- количества и типа уже установленных в линии СУ.

2. Отказ от совместного использования реклоузеров и секционализеров, как и нескоординированное решение вопросов секционирования электрических сетей в условиях интеграции в них ИРГ приводит к значительному возрастанию затрат при попытке обеспечения нормируемого уровня надежности.

3. В электрических сетях, оснащенных современным коммутационно-защитным оборудованием, согласованное решение вопросов интеграции ИРГ и оптимизации надежности может дать энергокомпаниям экономический выигрыш за счет возможности высвобождения дорогостоящих коммутационных аппаратов и их использования в других проектах.

Литература

1. IEEE Std 1366-2012. IEEE Guide for Electric Power Distribution Reliability Indices [Текст] // The IEEE Inc., USA, May 2012.- 43 pp.
 2. Зорин В.В. Надежность систем электроснабжения [Текст] / В.В. Зорин, В.В. Тисленко, Ф. Клеппель, Г. Адлер.- Киев: Выщашкола. Головноеиздательство, 1984.- 192 с.
 3. Antikainen J. Possibilities to Improve Reliability of Distribution Network by Intended Island Operation [Text]/ Antikainen J., Repo S., Verho P., Jarventausta P. // International Journal of Innovations in Energy Systems and Power.- April 2009.- Vol. 4, № 1.- pp 22-28.
 4. Попов В.А. Современные технические решения для повышения надежности функционирования воздушных линий номинальным напряжением 6,10 кВ [Текст] / В.А. Попов, В.В. Ткаченко, Ю.Д. Манойло // Промэлектрo.- 2010.- № 6.- С. 28–36.
 5. Договор поставки вакуумных реклоузеров [Электронный ресурс] // ОАО «Югорская рерриториальная энергетическая компания - Нефтеюганск», ООО «Таврида Электрик Омск».- 2014.- 6 с.- Режим доступа: http://files.my-tender.ru/56/566b3d98def69330745b736896e7d771/?db_name=fz223_docs&name=Договор.pdf.
 6. Установка вакуумных реклоузеров РВА/TEL на опорах №30 и №49 по адресу: Московская обл., г.п. Мытищи, д. Погорелки. Рабочий проект. Шифр АП. 10508 [Электронный ресурс] // ООО "Альянс-проект".- 2013.- 82 с.- Режим доступа: <http://www.alltenders.ru/ckn.asp?KodKl=133900&v=v2&dob=135738317>.
 7. Установка вакуумных реклоузеров РВА/TEL на опорах №30 и №49 по адресу: Московская обл., г.п. Мытищи, д. Погорелки. Локальный сметный расчет [Электронный ресурс] // ООО "Альянс-проект".- 2013.- Режим доступа: <http://www.alltenders.ru/ckn.asp?KodKl=133900&v=v2&dob=135738350>.
- Reclosers and Sectionalizers. Invitation to Bid/Quotation Summary № QB 14/15-148 [Электронныйресурс] // City of Danville Purchasing Department, Danville, Virginia, USA.- May 21, 2015.- Режим доступа: <http://www.danville-va.gov/DocumentCenter/View/16002>

УДК 621.3

С.П. Денисюк, д-р техн. наук, професор, В.І. Василенко
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

МОДЕЛЬ ЗАСТОСУВАННЯ СИСТЕМИ КРИТЕРІЇВ ОЦІНКИ РІВНЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ СИСТЕМИ

В статті розглянута проблема ефективного використання енергетичних ресурсів в Україні. Визначені питання підвищення енергетичної ефективності, представлені основні показники енергоефективності в промисловості для простого технологічного процесу, виробничої одиниці та підприємства цілому. Приведені основні методи підвищення енергоефективності, представлені критерії оцінки рівня енергоефективності та математична модель енергетичної системи.

Ключові слова: енергетична ефективність, паливно-енергетичні ресурси, енергозбереження, енергетичні показники енергоефективності.

In the article the problem of energy efficiency in Ukraine is considered. The identified areas of energy efficiency are key indicators of energy efficiency in the industry for a simple process, production units and the enterprise as a whole. Presented main methods of increasing the energy efficiency and criteria for the assessment of energy efficiency and the mathematical model of the energy system.

Keywords: energy efficiency, fuel and energy resources, energy conservation, energy efficiency indicators.

Проблема ефективного використання енергетичних ресурсів є вкрай актуальною сьогодні для України. За часів незалежності в державі слабо модернізувалась економіка і використовуються застарілі енерго- і ресурсомісткі технології з високою часткою екологічно небезпечних виробництв та низькою їх ефективністю. 25 листопада 2015 року на засіданні Кабінету Міністрів України схвалено проект розпорядження «Про Національний план дій з енергоефективності на період до 2020 року» [1].

Національний план розроблявся в тісній співпраці із європейськими та вітчизняними експертами і науковцями. З його прийняттям Україна отримала можливість запровадити європейську практику планування та прогнозування розвитку енергетики, реалізації політики підвищення енергоефективності.

Згідно з Планом, передбачено досягнення у 2020 році національної індикативної мети щодо енергозбереження у розмірі 9% від середнього показника кінцевого внутрішнього енергоспоживання за період протягом 2005 – 2009 рр., що становить 6,5 млн. тонн нафтового еквіваленту. Крім того, Національний план дій визначає проміжну мету – у 2017 році скоротити енергоспоживання в розмірі 5%.

Також план дій передбачає вдосконалення нормативно – правової бази у сфері енергоефективності, послідовне впровадження європейських підходів до реалізації державної політики у цій сфері.

На сьогодні українські підприємства витрачають у десятки разів більше енергоресурсів на виробництво одиниці продукції, ніж їх конкуренти в економічно розвинених країнах. Вдале вирішення проблем енергозбереження тісно пов'язане з можливістю запровадження енергоефективних інноваційних проектів. Впровадження в життя таких проектів є однією з основних умов виходу з кризи більшої частини українських підприємств, регіонів та країни в цілому [2].

Дуже часто як індикатор енергоефективності приймають показник енергоємності економіки. Міжнародне енергетичне агентство (International Energy Agency, IEA) запропонувало представити енергетичні показники енергоефективності у відповідності до «пірамідального підходу» – від найбільш агрегованого рівня до дезагрегованого [3, 4]. На рис. 1 показники представлені для кожного сектора, а потім для кожного підсектору або виду кінцевого споживання.

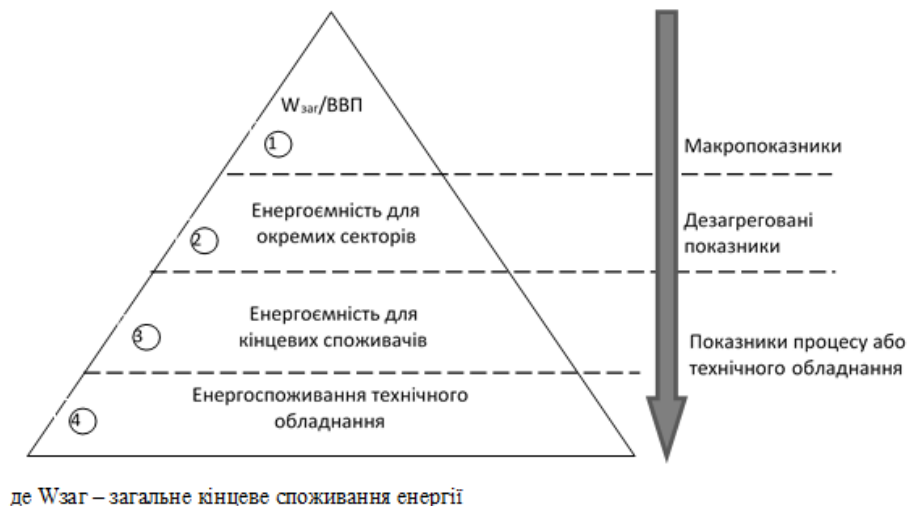


Рисунок 1 – Піраміда енергетичних показників ІЕА

Укрупнені показники дають загальне уявлення про причини тенденцій енергоспоживання в секторі. Однак необхідна більш детальна інформація для розуміння ключових факторів енергоспоживання та аналізу політики впливу на ці тенденції.

Найбільшу питому вагу (55–58%) у структурі потенціалу енергозбереження України має промисловість. Зростання цін на енергоносії посилює загрозу негативних змін в економіці, падіння рентабельності виробництва, зменшення частки промисловості у ВВП та переваги цінової конкурентоспроможності імпортованої продукції щодо продукції українських виробників. Отже, пріоритетним напрямом сучасних стратегій розвитку вітчизняних промислових підприємств є ефективне використання енергетичних ресурсів, в основі якого лежить мінімізація споживання енергетичного ресурсу при отриманні корисного ефекту [5].

Показники енергоефективності в промисловості[6,7,8]:

1. Простий технологічний процес. Для простоти передбачається, що в рамках процесу не виробляється енергія, що постачається зовнішнім споживачам, процес використовує один вид сировини і виробляє один вид продукції. Процес використовує пар, електроенергію і паливо:

$$w_{\text{СП}} = \frac{E_{s,\text{in}} + E_{e,\text{in}} + E_{f,\text{in}}}{P}, \quad (1)$$

де $w_{\text{СП}}$ – показник енергетичної ефективності (ПЕС); $E_{s,\text{in}}$ – енергія пари, яка підводиться до процесу і використовується для виробництва кількості продукції P ; $E_{e,\text{in}}$ – електроенергія, яка підводиться до процесу і використовується для виробництва кількості продукції P ; $E_{f,\text{in}}$ – енергія палива, яка підводиться до процесу і використовується для виробництва кількості продукції P .

2. Виробнича одиниця представляє більш складну ситуація, в якій мають місце як енергія, що постачається за межі системи, так і регенерація палива в межах підрозділу або процесу:

$$w_{\text{СП}} = \frac{E_{s,\text{in}} + E_{e,\text{in}} + (E_{f,\text{in}} + E_{f,\text{rec}}) + E_{o,\text{in}} - (E_{s,\text{out}} + E_{e,\text{out}} + E_{f,\text{out}})}{P_1}, \quad (2)$$

Потоки від F_1 до F_n являють собою різні види сировини, яка використовується при виробництві основної продукції P_1 , а також супутньої продукції. Потоки супутньої продукції розділені на дві групи: продукція, яка повертається в процес в якості палива (P_f), інші види супутньої продукції (P_2).

Потоки енергії представляють різні види енергії, що підводиться до процесу або поставляється за його межі. Вхідні і вихідні потоки енергії представлені у вертикальному напрямку: E_s – пар або гаряча вода; E_e – підводиться електроенергія; E_f – паливо (газоподібне, рідке, тверде); E_o – інше, в цей потік включаються будь допоміжні ресурси, для виробництва яких потрібна енергія.

3. Вхідні і вихідні потоки підприємства:

$$I_{EE} = \frac{\sum_{i=\text{підпр}} P_{i,j} \times w_{\text{спбаз},j}}{E_{\text{підпр}}}, \quad (3)$$

де I_{EE} – індекс енергоефективності для підприємства; $P_{i,j}$ – випуск продукції виду j підрозділом i за даний період; $w_{\text{спбаз},j}$ – базове ПЕС для виду продукції j ; $E_{\text{підпр}}$ – енергоспоживання підприємства за певний період.

Таблиця 1 – Основні показники енергоефективності підприємства

Найменування показника	Формула для обчислення показника	Позначення
Прямі показники		
Енергоємність випуску продукції, кг.у.п./грн.	$e_{\text{в.пр.}} = \frac{P}{V}$	де P – обсяг споживання ПЕР на енергетичні цілі, кг.у.п.; V – обсяг випуску продукції на підприємстві, грн.
Енергоємність валової доданої вартості (ВДВ), кг.у.п./грн.	$e_{\text{ВДВ}} = \frac{P}{V_{\text{ВДВ}}}$	де $V_{\text{ВДВ}}$ – обсяг ВДВ на підприємстві.
Паливоємність $B_{e(\text{ВДВ,ВВП})}$, електроємність $W_{e(\text{ВДВ,ВВП})}$, теплоємність $Q_{e(\text{ВДВ,ВВП})}$	$B_{e(\text{ВДВ,ВВП})} = \frac{\sum B_i}{V_{e(\text{ВДВ,ВВП})}};$ $W_{e(\text{ВДВ,ВВП})} = \frac{W_i}{V_{e(\text{ВДВ,ВВП})}};$ $Q_{e(\text{ВДВ,ВВП})} = \frac{Q_i}{V_{e(\text{ВДВ,ВВП})}}$	де B – обсяг споживання органічного палива, кг.у.п./грн; W – обсяг споживання електроенергії кВт·год; Q – обсяг споживання теплової енергії, Гкал.
Коефіцієнт корисного використання енергії	$k_{\text{кв}} = \frac{E_{\text{к}}}{E_{\text{з}}}$	де $E_{\text{к}}$ – кількість використаної електроенергії, кВт; $E_{\text{з}}$ – загальна кількість електроенергії, кВт.
Непрямі показники		
Середня ціна одиниці спожитих ПЕР, грн./т у.п.	$C_{\text{сер}}^{\text{ПЕР}} = \frac{\sum C_i \cdot B_i + T_e \cdot W + T_t \cdot Q}{\sum B_i + W + Q}$	де C_i – ціна на i -й вид органічного палива, грн./т.у.п.; B_i – споживання i -го виду органічного палива, т у.п.; T_e – тариф на електроенергію, грн/кВт·год; W – споживання електроенергії кВт·год/т.у.п.; T_t – тариф на теплову енергію, грн/Гкал; Q – споживання теплової енергії Гкал/т.у.п.
Енергоємність основних виробничих фондів, т у.п./грн.	$E_{\text{ОВФ}} = \frac{\sum B_i + W + Q}{D_{\text{ОВФ}}}$	W – обсяг спожитої електроенергії кВт·год; Q – обсяг спожитої теплової енергії т.у.п.; $D_{\text{ОВФ}}$ – середньогічна вартість основних виробничих фондів, грн.
Вартість спожитих ПЕР на одиницю обсягу випуску продукції, грн	$C_e = \frac{C_{\text{пр}}}{V_e}$	$C_{\text{пр}}$ – вартість спожитих ПЕР на виробництво певного обсягу випуску продукції, грн; V_e – обсяг випуску продукції, грн.
Частка витрат на ПЕР в обсязі проміжного споживання (випуску), %	$l_{\text{пс(в)}} = \frac{C_{\text{пр}}}{V_{\text{пс(в)}}} \times 100\%$	$V_{\text{пс(в)}}$ – обсяг проміжгоспоживання, грн.
Частка витрат ПЕР у собівартості продукції, робіт, послуг, %	$l_{\text{сб}} = \frac{C_{\text{пр}}}{C_{\text{сб}}} \times 100\%$	$C_{\text{сб}}$ – собівартість продукції, робіт, послуг, грн.
Коефіцієнт енергоозброєності праці	$K_{\text{енп}} = \frac{N}{C_{\text{нз}}}$	N – енергетична потужність підприємства, кВт/люд.; $C_{\text{нз}}$ – чисельність зайнятих працівників, люд.

Показники енергоефективності можуть бути прямі, тобто такі, які безпосередньо

визначають ефективність використання ПЕР, і непрямі, в яких ефективність використання ПЕР прямо не відображається, але значною мірою залежить від рівня та структури використання ПЕР (таблиця 1). Система таких показників дає можливість підрахувати результати реалізації енергоефективного проекту на промисловому підприємстві [5].

При аналізі ефективності реалізації енергозберігаючих заходів доцільно враховувати як системні властивості (наприклад, критерії вибору енергозберігаючих заходів), у першу чергу міжсистемні зв'язки елементів, так і вимоги, що висуваються до їх моделей, з точки зору адекватності (достовірності) відображення енергетичних та інформаційних сигналів. Необхідно враховувати множину значимих характеристик відповідної системи, сформулювавши при цьому жорстко обґрунтовані припущення та вибравши форму представлення моделі, рівень її деталізації [9].

Проблема енергозбереження тісно пов'язана з екологією, оскільки видобуток, переробка та споживання енергоресурсів практично завжди супроводжуються забрудненням навколишнього середовища. При виявленні резервів покращення екологічної ситуації шляхом зниження викидів у процесі спалювання палива можливе виконання умов забезпечення охорони життєдіяльності людини. Це може бути досягнуто при раціональному підборі видів палива за рахунок впровадження досконалих критеріїв вибору енергозберігаючих заходів, використання повномасштабної та часткової підготовки палива до спалювання, впровадження нових технологій, пошуку нетрадиційних відновлюваних альтернативних джерел енергії та використання вторинних ресурсів [10, 11].

Критерії екологічності можна представити у вигляді:

$$E_{ЕК} = E_{Б} \times E_{АБ}, \quad (4)$$

де $E_{Б}$ та $E_{АБ}$ – екологічна та абсолютно екологічна безпечність.

Екологічна шкода, яка буде заподіяна середовищу, визначається згідно співвідношення:

$$E_{В} = 1/E_{Б}, \quad (5)$$

Можна зазначити ще одну умову впровадження енергозберігаючих заходів, яка буде впливати на екологічність – скорочення споживання енергоресурсів, яке має здійснюватися на фоні контрольованої якості. Завдяки цьому викиди шкідливих речовин будуть автоматично скорочуватись.

Базовими елементами в процесі підвищення енергоефективності підприємства є розробка відповідної системи критеріїв оцінки та її елементів, методик оцінки ефективності схем функціонування в режимах оптимального споживання енергоносіїв, проведення їх енерготехнологічного обстеження та оцінки взаємного впливу окремих елементів. Щодо процедури досягнення ефективності енергоресурсів, то вони визначаються багатьма факторами, що обумовлюють існування та застосування відносно великої кількості показників. Визначення та урахування цих факторів, а також у першу чергу їх пріоритетності, обумовило необхідність застосування трьох систем показників: енергетичних, економічних, екологічних, що вважається достатнім для всебічної оцінки ефективності нововведень [12, 13].

При оптимізації енергетичної системи враховується система обмежень у формі відповідних рівнянь і нерівностей, які задають можливий діапазон зміни параметрів системи. Точкою дотику всіх систем є кінцевий продукт/послуга споживачеві, який повинен бути наданий на необхідному рівні комфорту (доступність, надійність, якість і т.д.).

В якості критеріїв оптимальності, які ми будемо використовувати при розробці та оптимізації математичної моделі енергетичної системи приймемо розглянуті вище критерії, а саме – економічні, технічні, енергетичні, екологічні. При вирішенні задачі ефективності критерії можуть переходити в обмеження, та навпаки, обмеження можуть ставати критеріями.

Загальну математичну модель енергетичної системи можна представити у вигляді системи рівнянь, які пов'язують показники виробничого процесу, вхідні та вихідні параметри з іншими параметрами та обмеженнями [14]:

1. Рівняння зв'язку. Описують технологічний процес системи та показують залежність вихідних параметрів системи від інших керованих параметрів стану:

$$B_i(W_i); \forall i \in n, \quad (6)$$

де B_i – енергетичні ресурси, які поступають на вхід системи: природні та відновлювальні; W_i – енергія, яка споживається споживачами (енергія на виході з системи).

2. Рівняння обмежень. Ці рівняння показують допустимі границі зміни вхідних та вихідних параметрів системи.

$$W_{i,min} \leq W_i \leq W_{i,max}, \quad (7)$$

3. Рівняння ефективності (цільова функція). В якості цільової функції візьмемо вартісну функцію – вартість використаних енергетичних ресурсів, ця умова відповідає максимуму рентабельності енергетичної системи:

$$F = \sum_{i=1}^n b_i B_i(W_i) \Rightarrow \min, \quad (8)$$

де b_i – вартість палива.

Розроблена математична модель є основою для багатоваріантного аналізу, дослідження, моделювання та оптимізації. Для вирішення поставлених задач можна застосовувати основні методи оптимізації ефективності енергопостачання енергетичної системи з врахуванням сучасного розвитку інформаційних та комп'ютерних технологій. Що дозволить враховувати в розрахунках більшу кількість факторів (показників, критеріїв), ускладнювати розрахункові схеми, розвивати комплексні методи рішення.

Набір показників, який входить до складу системи оцінки енергоефективності енергосистеми, необхідно уточнювати, при формуванні набору показників необхідно звертати увагу на проблеми енергоефективності, які є загальними для інфраструктури, а саме значна втрата теплової енергії в допоміжних процесах, високий фізичний і моральний знос устаткування, неефективне використання вторинних ресурсів, низьке завантаження технологічних потужностей та інше. Наведені показники слід використовувати як базову систему показників, в яку необхідно, в залежності від обставин, вносити додаткові критерії енергоефективності.

Список літератури:

1. Національний план дій з з енергоефективності на період до 2020 року. [Електронний ресурс]: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/n0001824-15>
2. Гололобова О.М.; Ларка М.І. Аналіз рівня використання потенціалу енергозбереження в промисловості України. // Сборник научных трудов «Вестник НТУ "ХПИ"» Технічний прогрес та ефективність виробництва – 2015. – № 25. – С. 127 – 134.
3. Показатели энергоэффективности: основы формирования политики. International Energy Agency, OECD/IEA, 2014. [Электронный ресурс]: http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Essentials_RU_final_FULL.PDF
4. Показатели энергоэффективности: основы статистики. International Energy Agency, OECD/IEA, 2014. [Электронный ресурс]: <https://www.iea.org/media/training/eeukraine2015/EEIrussianversion.PDF>
5. Сердюк Б. М., Маслікевич М.Р. Сутність оцінки енергоефективності підприємства. [Електронний ресурс]: http://probl-economy.kpi.ua/pdf/2011_29.pdf
6. Справочный документ по наилучшим доступным технологиям обеспечения энергоэффективности. Проект Программы сотрудничества ЕС и России "Гармонизация экологических стандартов II" Представительство ВР в России РХТУ имени Д.И. Менделеева 2009 г. [Электронный ресурс]: http://www.muctr.ru/univsubs/ecocentre/files/Power_efficiency.pdf
7. Системи енергетичні технічні. Основні положення (ISO 13600:1997, IDT) / пер. і наук. – техн. ред. Б. Стогній [та ін.]. – Чинний від 2002.04.01. – Офіц. вид. – К. : Держстандарт України, 2001. – IV, 9 с. – (Державний стандарт України).
8. Системи енергетичні технічні. Структура для аналізу. Сектори постачання та споживання енергопродукту (ISO 13601:1998, IDS) / пер. та наук. – техн. ред. Б. Стогній [та ін.]. – Чинний від 2002.05.01. – Офіц. вид. – К. : Держстандарт України, 2001. – IV, 31 с. – (Державний стандарт України).

9. Беляев Ю.М. Критерии эколого-экономической эффективности энергетических технологий // Промышленная энергетика. – 2003. – № 8. – С.39 – 44.
10. Ковалко М.П., Денисюк С.П. Энергозбереження – пріоритетний напрямок державної політики України. – Київ: УЕЗ, 1998. – 506 с.
11. Конторович Л.Н., Кирпичевский С.Г. Лингвистическая модель постановки задачи оптимизации трансформаторов с системе ОПТРАН // Методы анализа режимов электроэнергетических систем и установок. – К.: Наук. Думка, 1987.
12. Микитенко В.В. Оцінка ефективності енерго- і ресурсозберігаючих технологій // Проблеми науки. – 2001. – № 12. – С.35 – 41.
13. Микитенко В.В. Інноваційна модель аналізу та прогнозу ефективності галузей і технологій // Проблеми науки. – 2002. – №4. – С.37 – 41.
14. Василенко В. І. Системна ефективність функціонування енергетичної системи з керованими навантаженнями. // ЕНЕРГЕТИКА: економіка, технології, екологія №1 (39) 2015. – С. 70 – 80.

УДК 621.316.1

В.А. Попов, д-р техн. наук, доц., П.О. Замковий, аспірант
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

ЕКОНОМІКО-ТЕХНОЛОГІЧНА ПЛАТФОРМА УПРАВЛІННЯ РЕЖИМАМИ МІКРОМЕРЕЖ

В даній роботі були проаналізовані тенденції на ринку електричної енергії Європейських країн, визначено їх вплив на електроенергетику України. Запропонований принцип визначення оператором MicroGrid розподілу потужностей між ДРГ та проаналізований сучасний стан розвитку методів прогнозування цін на електроенергію.

Ключові слова: MicroGrid, розосереджена генерація, прогнозування цін на електроенергію.

ECONOMIC AND TECHNOLOGICAL PLATFORM FOR MICROGRID MODES MANAGEMENT

In this paper, trends in the electricity market of European countries were analyzed, and their impact on the power industry of Ukraine was determined. Finally, principle of power distribution definition between the DER by MicroGrid operator was proposed, and the current state of electricity prices forecasting methods development was analyzed.

Keywords: MicroGrid, dispersed generation, forecasting electricity prices.

Вступ. Будучи членом Енергетичного співтовариства країн Південно-Східної Європи, Україна взяла на себе зобов'язання поступово впровадити у себе європейські стандарти і практики. В Україні почалася підготовка до синхронізації вітчизняної Об'єднаної енергетичної системи з європейською ENTSO-E [1]. Тому значний інтерес для нашої країни представляють процеси, які в даний час проходять в європейській електроенергетиці.

Досвід країн Європи показує, що вартість електричної енергії для кінцевого споживача і в Україні буде невідносно зростати. Цьому сприятиме розвиток відновлюваних джерел енергії, реформування ринку електроенергетики та синхронізація вітчизняної енергосистеми з європейською ENTSO-E.

«Microgrid» – це група взаємозв'язаних навантажень і ДРГ в межах чітко визначених електричних границь, що виступає в якості контрольованої одиниці по відношенню до мережі та може бути приєднана до цієї мережі чи працювати окремо від неї [2]. В якості Microgrid може виступати як самостійний споживач, їх група, так і всі споживачі живлячої підстанції (рисунок 1).

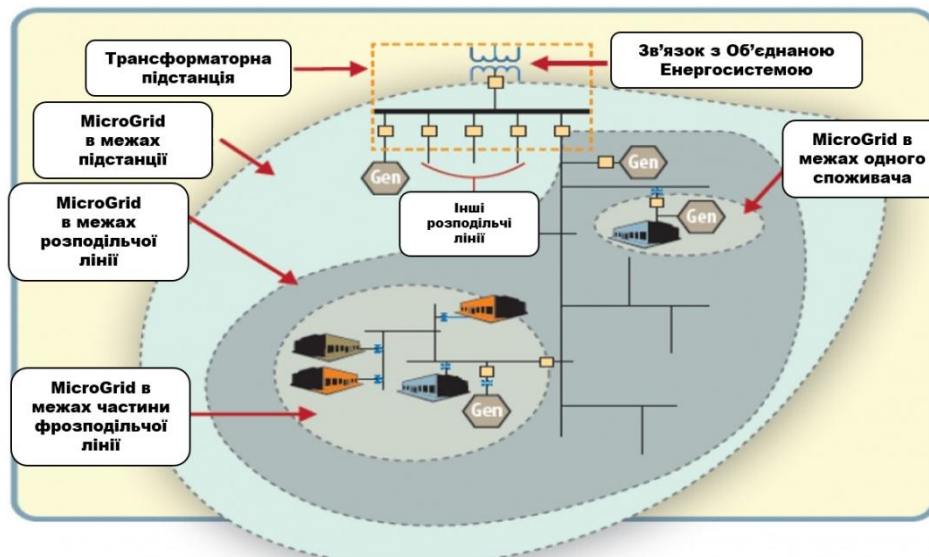


Рисунок 1 – Різновиди мікромереж в залежності від розмірів мережі, що вона покриває

Якщо раніше MicroGrid створювались в першу чергу для підвищення надійності електропостачання, то зараз формування мікроенергосистем (МЕС) стає все більш обґрунтованим з економічної точки зору. MicroGrid проектується, встановлюється і експлуатується споживачем або групою споживачів електричної енергії, перш за все, для їх економічної вигоди.

Аналіз стану питання. Електроенергія, що виробляється на великих центральних станціях продається на європейському оптовому ринку близько 3-5 EURcent/кВтг, але до того часу як вона досягає кінцевого споживача вже продається за роздрібною ціною в 10-15 EURcent/кВтг, а для побутових споживачів до 30 EURcent/кВтг [3]. Вартість поставленої енергії від традиційної системи живлення включає в себе витрати на передачу електроенергії, втрати, затрати на обслуговування клієнтів та перехресне субсидіювання, а також інші витрати, які разом значно перевищують вартість генерування.

В таких умовах для промисловості стає доцільним забезпечувати себе електроенергією із власних ДРГ. Вже близько 16% споживачів електроенергії в Німеччині забезпечують себе самостійно, ще 23 % планують це найближчим часом [4]. Можна говорити про активне впровадження МЕС, чи так званих MicroGrid.

На даному етапі більш доцільним вважається існування МЕС в структурі енергетики як віртуальної електричної станції з можливістю мінімізувати витрати та підтримувати сталу частоту за рахунок приєднання до централізованого електропостачання.

Мета роботи. Розробити механізм, що дозволить оператору MicroGrid, з однієї сторони оптимально використовувати відновлювані джерела енергії (ВДЕ), керувати традиційними розосередженими джерелами енергії (РДЕ) та контрольованим навантаженням в межах MicroGrid як окремому невеликому енергетичному ринку, а з іншої – взаємодіяти з ОЕС як її частина: працювати як єдине агрегроване навантаження чи, за явної вигоди, як невелике джерело живлення; іншими словами – купувати та продавати електроенергію на оптовому ринку.

Матеріали та результати досліджень. Для умов України найбільш імовірна участь MicroGrid у оптовому ринку «на добу наперед». Як альтернативу було розглянута покупка електроенергії за регульованою ціною, диференційованим тарифом, та на ринку двосторонніх договорів.

Участь оператора MicroGrid на ринку «на добу наперед» вимагає від нього подання заявок купівлі/продажі електроенергії на наступний день. Таким чином, постає завдання визначити розподіл потужностей між ДРГ заздалегідь. Для цього необхідно спрогнозувати погодинно ряд показників на проміжок часу більш ніж 24 години, а саме генерацію ВДЕ, навантаження споживачів, та рівноважну ціну на оптовому ринку. Знаючи ці величини ми проводимо аукціон по купівлі електроенергії у власних джерел розосередженої генерації. В результаті ми отримаємо розподіл потужностей на наступну добу. Схематично цей процес

представлений на рисунку 2.

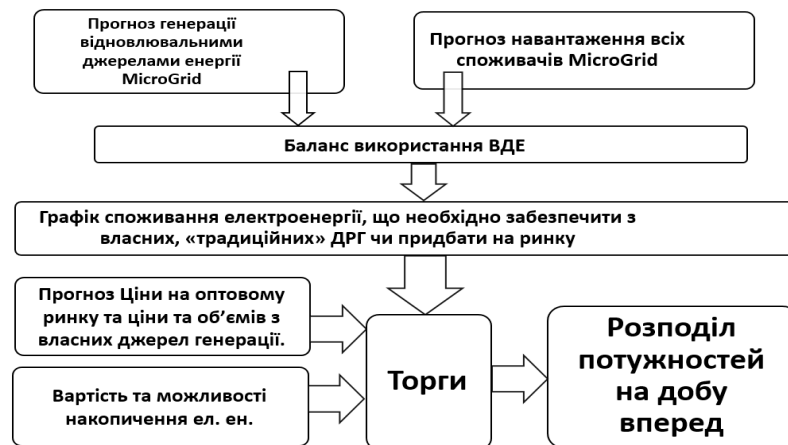


Рисунок 2 – Процес визначення оператором MicroGrid розподілу потужностей на наступну добу

Як бачимо для проведення такого аукціону оператору MicroGrid необхідно спрогнозувати певну кількість параметрів на добу наперед. Таким чином задача прогнозування переноситься з електропередавальних компаній на оператора MicroGrid.

Прогнозування ціни, навантаження та генерації ВДЕ це три ключові питання для оператора MicroGrid як учасника ринку електричної енергії.

В той час як методи прогнозування навантаження досягли середньою абсолютної похибки (MAPE) нижче 3% [5,6], методи прогнозування цін все ще знаходяться на ранніх стадіях зрілості. У реальних ринках електроенергії, крива цін демонструє значно багатшу структуру, ніж крива навантаження та має наступні особливості: шпилі, непостійне середнє і дисперсію, мультисезонність, високий рівень волатильності і високий відсоток незвичайних рухів цін [7].

Є кілька категорій методів, що застосовуються для прогнозування цін на електроенергію на добу вперед, в тому числі фундаментальні моделі, математичні фінансові моделі, моделі теорії ігор, моделі регресії, тощо. Класифікація цих методів представлена на рисунку 3.

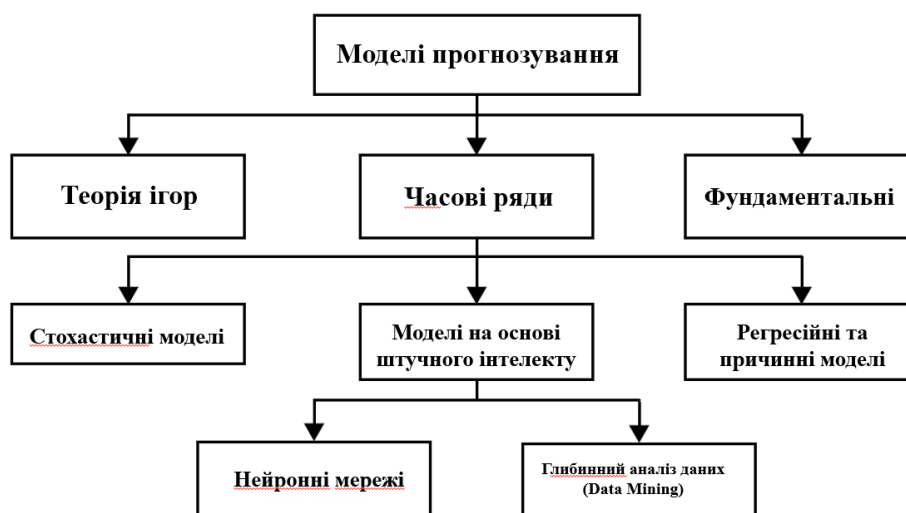


Рисунок 3 – Класифікація методів прогнозування ціни на електроенергію

Фундаментальні (simulation) моделі імітують точні фізичні характеристики компонентів енергосистеми і відображають ціну на електроенергію на основі граничних витрат генерації, перевантаженості ліній передач, мережевих втрат і необхідних допоміжних послуг. Найбільшою проблемою цих методів є те, що фундаментальні моделі вимагають від енергосистеми значних обсягів даних в реальному часі.

Математичні фінансові моделі добре розроблені та широко застосовуються для ринків

акцій і процентних ставок [8], що може відображати волатильність цін на електроенергію, викликане балансом попиту і пропозиції. Проте, важко врахувати фізичні характеристики енергетичних систем, такі як перевантаження ліній передачі, мережеві втрати і форс-мажорні обставини, в фінансових моделях, що може викликати невідповідність між рішенням фінансової моделі та стану енергетичних систем в режимі реального часу.

Моделі прогнозування цін, які використовують теорію ігор сфокусовані на впливі стратегічної поведінки учасників торгів на ринкову рівноважну ціну на електроенергію [9]. Одне із припущень, що лежить в основі моделей прогнозування цін теорії ігор, є те, що всі гравці раціональні, що не завжди має місце на ринках електроенергії. Іншим недоліком є витратні за часом процеси розрахунку рівноваги Неша (Nash equilibriums).

Регресивні моделі, в тому числі моделі часових рядів і моделі штучного інтелекту, встановлюють зв'язок коливання ціни на електроенергію з історичними цінами та іншими пояснюючими факторами, такими як температура, час доби і навантаження споживання.

Існують також безліч комбінацій цих методів прогнозів.

Було проведено дослідження наукової літератури про порівняння різних моделей. В результаті, науковці прийшли до висновку, що не існує ніяких систематичних доказів об'єктивної переваги однієї конкретної моделі в порівнянні з іншими на постійній основі [10]. Використання найсучасніших методів прогнозування для короткострокового прогнозування цін, як правило, має похибку 5–20% [11].

Враховуючи той факт, що оператору необхідно буде робити прогноз в середині MicroGrid – йому буде доступна незначна кількість параметрів. Таким чином з відкритих джерел можна буде отримати в основному лиш ретроспективні дані та характеристики у вигляді часових рядів. На базі цього ми розглядаємо можливість використання для прогнозу навантаження та вихідних потужностей ВДЕ нечіткі нейронні мережі, а для прогнозу ціни - методи на основі часових рядів, чи їх комбінацію. В подальшій роботі буде проведено порівняння різних методів для умов MicroGrid.

При використанні значної кількості прогнозованих величин, похибка яких буде збільшуватись зі зростанням інтервалу прогнозу, для оперативного управління системою MicroGrid пропонується використання методу «керування з прогнозуючими моделями» (Model predictive control) [12].

Згідно цього методу для кожної компоненти (рисунок 4) створюється математична модель, що враховують їх характеристики, а також обмеження, які на них накладаються. В результаті система буде сама корегувати параметри структурних елементів для підтримання балансу генерації та споживання. Однак цей підхід має суто економічний характер.

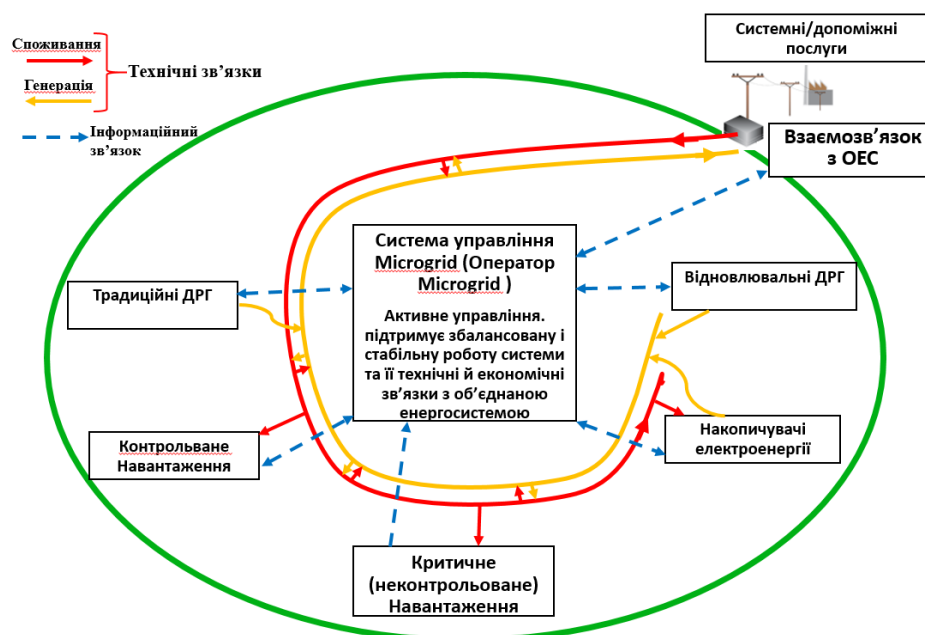


Рисунок 4 – компоненти MicroGrid та техніко-інформаційні зв'язки між ними

Необхідно зауважити, що деякі характеристики не можуть бути зведені до одного економічного показника. Також не всі цінові показники можна оцінити об'єктивно. У зв'язку з цим ми розглядаємо доцільність залучення багатокритеріального методу [13] як альтернативу вирішення задачі, тим більше, враховуючи наявність невизначеності інформації.

Висновки

Процеси, що нині відбуваються на енергоринках країн Європи, приводять до зростання вартості електроенергії для кінцевого споживача. В подальшому ця тенденція буде поширюватись і на Україну, особливо в умовах курсу на Євроінтеграцію. В таких умовах доцільним вважається створення мікроенергосистем, що здатні забезпечити групу споживачів електроенергією з певними економічними перевагами. В роботі був запропонований принцип визначення оператором MicroGrid розподілу потужностей між ДРГ, проаналізовані сучасні методи прогнозування ціни на електроенергію. В результаті подальшої роботи буде створена цілісна економіко – технологічна платформа для взаємодії оператора MicroGrid з об'єднаною енергетичною системою та, зокрема, з усіма учасниками MicroGrid.

Список використаної літератури

1. Міненерговугілля. Україна продовжує вивчати можливості об'єднання української енергосистеми з континентальною європейською енергосистемою ENTSO-E [Електронний ресурс] / Міненерговугілля – Режим доступу до ресурсу: http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/uk/publish/article?art_id=245079449&cat_id=35109.
2. Panel 2_PACE Microgrid Workshop - Tech Challenges and Oportunities 1100912 (As defined in Public Act 12-148§7) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.cga.ct.gov/2012/act/pa/pdf/2012PA-00148-R00SB-00023-PA.pdf> – Назва з екрану.
3. Marnay C. et al. Policymaking for microgrids [Текст] //Power and Energy Magazine, IEEE. – 2008. – Т. 6. – №. 3. – С. 66-77.
4. Germany's Energy Poverty: How Electricity Became a Luxury Good [Електронний ресурс]. – Режим доступу: URL: <http://www.spiegel.de/international/germany/high-costs-and-errors-of-german-transition-to-renewable-energy-a-920288.html> – Назва з екрану.
5. Hong, T., Wilson, J., Xie, J.: 'Long term probabilistic load forecasting and normalization with hourly information' [Текст], IEEE Trans. Smart Grid, 2014, 5, (1), pp. 456–462
6. Zhang, R., Zhao, Y., Xu, Y., Meng, K.: 'Short-term load forecasting of Australian National Electricity Market by an ensemble model of extreme learning machine' [Текст], IET Gener. Transm. Distrib., 2013, 7, (4), pp. 391–397
7. Bunn DW, Karakatsani N. Forecasting electricity prices. Review paper. [Текст] London Business School; 2013.
8. Barlow, M.T.: 'A diffusion model of electricity prices' [Текст], Math. Finance, 2002, 12, pp. 287–298
9. Ruibal, C.M., Mazumdar, M.: 'Forecasting the mean and the variance of electricity prices in deregulated markets' [Текст], IEEE Trans. Power Syst., 2008, 23, pp. 25–32.
10. Aggarwal, S., Saini, L., Kumar, A.: 'Electricity price forecasting in deregulated markets: a review and evaluation' [Текст], International J. Electr. Power Energy Syst., 2009, 31, (1), pp. 13–22
11. WU, Lei; SHAHIDEHPOUR, Mohammad. A hybrid model for integrated day-ahead electricity price and load forecasting in smart grid [Текст]. Generation, Transmission & Distribution, IET, 2014, 8.12: 1937-1950.
12. Parisio, A., Rikos, E., & Glielmo, L. (2016). Stochastic model predictive control for economic/environmental operation management of microgrids: An experimental case study [Текст]. Journal of Process Control, 43, 24-37.

13. Алгоритм многокритериального управления режимами работы микросетей [Текст] / В.А. Попов, Е.С. Ярмолук, П.А. Замковой // Восточно-европейский журнал передовых технологий / Наук. журнал. – Харків, 2014. – № 2/2 (68). – С. 61–68.

УДК 621.314.22.08

В.А. Побігайло, к.т.н., доцент НТУУ “КПІ”,
С.Ю. Матвєєв, магістр НТУУ “КПІ”

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ ЕЛЕКТРОННІ ПРИСТРОЇ ДЛЯ ЦИФРОВОЇ ПІДСТАНЦІЇ

V.A. Pobigaylo, ph.d., as. Prof., NTUU “KPI”, **S.Y. Matvieiev**, master NTUU “KPI”

INTELLECTUAL ELECTRONIC DEVICES FOR DIGITAL SUBSTATION

Проведено огляд і аналіз інтелектуальних електронних пристроїв для цифрової підстанції. Розглянуто принципову відмінність інтелектуальних пристроїв різного функціонального призначення від традиційних пов'язано із застосуванням більш швидкісних комунікацій та запропоновані шляхи їх впровадження.

Ключові слова: цифрова підстанція; інтелектуальні електронні пристрої; електрична мережа.

Проведен обзор и анализ интеллектуальных электронных устройств для цифровой подстанции. Рассмотрены принципиальное отличие интеллектуальных устройств различного функционального назначения от традиционных связано с применением более скоростных коммуникаций и предложены пути их внедрения.

Ключевые слова: цифровая подстанция; интеллектуальные электронные устройства; электрическая сеть.

The review and analysis of intellectual electronic devices for digital substation. Considered a fundamental difference between intellectual devices of different functions from the traditional associated with the use of more high-speed communication and the ways of their implementation.

Keywords: digital substation; intellectual electronic devices; electricity networks.

Вступ. Під інтелектуальними електронними пристроями (ІЕУ) розуміються пристрої захисту, автоматики, телемеханіки, вимірювальні пристрої та ін., які забезпечують реалізацію стандартів цифрової підстанції згідно МЕК 61850 [1,2].

Принципова відмінність інтелектуальних пристроїв різного функціонального призначення від традиційних пов'язано із застосуванням більш швидкісних комунікацій на основі промислового Ethernet з підтримкою технологій резервування безпеки, можливість реалізації так званих горизонтальних зв'язків між ІЕУ для обміну дискретною інформацією [2,3]. Організація горизонтальних зв'язків між ІЕУ дозволяє реалізувати надійну систему оперативного управління на підстанції, забезпечити реалізацію більш ефективних алгоритмів пристроїв захисту і автоматики, систем регулювання напруги на підстанції тощо.

Ціль і завдання. Метою дослідження є проведення огляду і аналізу інтелектуальних електронних пристроїв. Запропоновано шляхи впровадження таких пристроїв для цифрової підстанції.

Результат дослідження. При створенні цифрових підстанцій важливо забезпечити сумісність різного обладнання за стандартом МЕК 61850.

Інтелектуальні пристрої ЕНП-2 можуть застосовуватися не тільки для реалізації цифрових підстанцій з установкою в РУ 110 кВ і вище, а й на підстанціях напругою 6-20 кВ. Якщо в першому випадку доцільно застосування ЕНП-2 з підтримкою протоколу резервування PRP і відповідного мережевого обладнання, то в другому випадку, з метою зниження вартості, доцільно застосування ЕНП-2 з використанням вбудованого мережевого комутатора підтримкою протоколу резервування RSTP. Вартість ЕНП-2 з підтримкою протоколів МЕК 61850 відповідає вартості звичайних багатофункціональних вимірювальних перетворювачів телемеханіки, що робить доступним рішення по цифровій підстанції для розподільних пристроїв 6-20 кВ.

Основним компонентом РУ 6-20 кВ нового покоління є цифрова комірka [9]. Перший з розглянутих варіантів має максимальну ступінь готовності до серійного виробництва. У другому варіанті цифрова комірka поряд з ЕНП-2 передбачає використання розподіленої системи дискретного вводу-виводу з заміною кінцевих вимикачів і блок-контактів на безконтактні датчики і переходом на взаємодію з блоком управління вакуумним вимикачем з електромагнітною засувкою по цифровим інтерфейсам. Другий варіант передбачає використання спеціальних модулів дискретного вводу-виводу ЕНМВ-4-XX. Можна розглядати дану підсистему як найпростіший варіант шини процесу для дискретного вводу-виводу в цифровій комірці. Модулі дискретного вводу-виводу максимально наближені до датчиків дискретних сигналів. Підключення модулів до головного пристрою проводиться за допомогою промислової мережі CAN.

Метрологічні характеристики ІЕУ з шиною процесу багато в чому визначаються метрологічними характеристиками пристроями сполучення з шиною процесу (MU, Merging Unit). Зазначені пристрої "вбудовуються" в сучасні первинні перетворювачі на основі оптико-електронних перетворювачів, котушок Роговського або підключаються до традиційних трансформаторів струму і напруги (SAMU, Stand-Alone Merging Unit).

При конфігуруванні ENMU задаються наступні можливі режими роботи: формування роздільних або суміщеного потоків даних від релейні і вимірювальної обмоток трансформатора струму для вибірок струму (sampled values) і для векторних вимірювань. В останніх модифікаціях ENMU реалізована одночасна передача по двом Ethernet-портам трьох потоків sampled values (sv256, sv80m, sv80r), реалізований протокол резервування PRP (ІЕС 62439-3). Процесорна плата містить додатковий сервісний порт Ethernet. Синхронізації годин реального часу проводиться різними способами: через оптичний порт сигналом PPS, через порти RS-485 IRIG-A або за допомогою вбудованого GPS- приймача (опційно).

Використання векторних вимірювань можна розглядати як альтернативу для багатьох ІЕУ досить використання синхрофазорів (комплексних амплітуд) струмів і напруги основної гармоніки для обчислення параметрів режиму енергосистеми. Додатково в ENMU забезпечується вимір еквівалентних векторів на основі середньквадратических значень струмів і напруг.

Новий багатофункціональний пристрій ESM з цифровими входами згідно МЕК 61850-9-2, виконує функції багатофункціонального вимірювального перетворювача телемеханіки, лічильника комерційного обліку електроенергії, приладу вимірювання показників якості електроенергії та пристрої синхронізованих векторних вимірювань.

Пристрої сполучення з шиною процесу ENMU призначаються для застосування не тільки в розподільних пристроях 110 кВ і вище, а й для застосування в розподільчих пристроях 6-10 кВ. Габаритні розміри і вага яких дозволяють їх встановити в релейні відсіки високовольтних комірок.

При цьому, як і в описаному раніше варіанті, передбачається використання розподіленої системи збору дискретної інформації, що включає наступні модулі: модуль введення інформації з безконтактних датчиків положення, модуль введення інформації

Модулі дискретного вводу-виводу максимально наближені до датчиків дискретних сигналів. Підключення модулів до головного модулю МСШ-Д проводиться за допомогою промислової мережі CAN. Для реалізації оперативних блокувань пристроїв сполучення УСЦ-Д передбачається програмована логіка.

Висновки

Використання в розподільних пристроях безконтактних датчиків положення замість кінцевих вимикачів і блок-контактів має незаперечні переваги, пов'язані відсутністю "брязкоту" контактів і відсутністю необхідності пробою оксидної плівки, скороченням кількості контрольних проводів, зменшенням споживання оперативного струму, підвищенням надійності та можливостей з діагностики підсистеми введення-виведення дискретної інформації. Процесорний модуль ПМ2 реалізує мінімально необхідний набір функцій релейного захисту та автоматики для приєднань 6-20 кВ. Функції захисту та автоматики можуть бути істотно розширені за рахунок підключення додаткового пристрою (пристроїв) до шини процесу. Спеціалізовані пристрої РЗА, в тому числі централізовані пристрої РЗА, диференціальна захисту ліній, шин, централізовані пристрої режимної та протиаварійної автоматики, підключаються до шини процесу за допомогою спеціального комунікаційного адаптера для мереж з резервуванням RedBox (Redundancy Box) і / або комутатора з підтримкою протоколів резервування HSR або PRP.

Список використаної джерел

1. Communication Networks and Systems In Substations: An Overview for Users [Text] / D. Baigent, M. Adamiak, R. Mackiewicz // Protection&Control Journal, 2009. – pp. 61-68.
2. Modern Solutions for Protection, Control, and Monitoring of Electric Power Systems [Text] / Héctor J. Altuve Ferrer, Edmund O. Schweitzer and other // SEL, 2010. – P. 361.
3. Аношин, А.О. Стандарт МЭК 61850. Протокол GOOSE [Текст] / А.О. Аношин, А.В. Головин // Новости ЭлектроТехники. – 2012. – No 6.
4. Мокеев А.В., Новое поколение интеллектуальных электронных устройств для цифровой подстанции [Текст] / А.В.Мокеев // ИСУП. – 2013. – No 3. – С. 19-22.
5. Бовыкин, В.Н. Совершенствование метрологических характеристик интеллектуальных устройств [Текст] / В.Н. Бовыкин, А.В. Мокеев // Автоматизация в энергетике. – 2014. –No 3. – С. 4–10.
6. Digital Filters and Signal Processing [Text] / A.V. Mokeev and etc., Ed. F.P.G. Márquez and N. Zaman. Rijeka // – InTech, 2013. – 307 p.
7. Mokeev A.V., Optimal filter synthesis [Text] / A.V. Mokeev // in Proc. IEEE International Siberian Conference on Control and Communications, SIBCON-2013. – Krasnoyarsk, 2013. – Pp.1-4.
8. Мокеев, А.В. Интеллектуальные электронные устройства для цифровой подстанции [Текст] / А.В Мокеев // ИСУП. – 2014. - No 1. – С. 47-56.
9. Цифровая ячейка [Текст] / А.В. Мокеев, И.В. Подболотов, А.Б. Рафиков, Д.Н. Ульянов //ИСУП. – 2014. - No 1. – С. 25-29.

УДК 621.311.1:620.92

Замковий П.О., асп., Ярмолюк О.С., к.т.н., ст. викл.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», кафедра електропостачання

БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНИЙ ПІДХІД ДЛЯ ОПЕРАТИВНОГО РОЗПОДІЛУ НАВАНТАЖЕННЯ МІЖ ОКРЕМИМИ ДЖЕРЕЛАМИ АВТОНОМНОЇ МІКРОМЕРЕЖІ

Удосконалено прийом оперативного багатокритеріального розподілу навантаження між компонентами автономної мікромережі, враховуючи сукупність факторів різноманітного характеру, з метою найбільш ефективного використання обладнання та

його енергетичного потенціалу.

The improved mechanism of multiobjective load distribution between the components of microgrid, taking into account a set of factors of different nature, for the most efficient use of equipment and its energy potential is proposed.

Вступ. Планується, що у перспективі функціонування енергетичного сектора будь-якої країни буде забезпечуватися як за рахунок централізованих, так і децентралізованих (розосереджених) джерел енергії. При цьому джерела розосередженої генерації (РГ), розосереджені на певній території, будуть об'єднуватися в єдине ціле, утворюючи мікромережі, що поряд з іншими перевагами дозволить також підвищити роль споживача у керуванні процесами генерації та розподілу енергії. Таким чином дане «об'єднання» джерел РГ викликало появу нових понять [1], таких як «активна розподільна мережа», «мікромережі» та «віртуальна електростанція». Система «мікромережа» включає у себе розподільні мережі низької напруги з джерелами РГ, акумулюючими пристроями та керованими навантаженнями, що працюють підключеними до основної мережі живлення або в острівному режимі, керовано, скоординованим чином. Робота мікромережі пропонує значущі переваги для споживачів у сфері комунальних послуг: підвищення енергоефективності, мінімізацію загального споживання енергії, зниження впливу на навколишнє середовище, підвищення надійності електропостачання, скорочення втрат електричної енергії, зменшення перевантажень, контроль напруги, безпека електропостачання з більш економічно ефективною заміною її інфраструктури [2]. При цьому, наприклад, згідно європейського проекту *FENIX* [3]: «Віртуальна електростанція являє собою гнучке об'єднання джерел РГ, які можуть бути використані для контрактів в оптовому ринку та пропонувати свої послуги системного оператора».

Як і системи централізованого електропостачання, мікромережа повинна мати можливість контролювати процеси генерації та розподілу електроенергії, регулювати її потоки споживачам. На початковому етапі мікромережі можуть працювати ізольовано на виділену групу споживачів. Згодом вони будуть не тільки об'єднуватися між собою, а й інтегруватися в централізовані системи [4]. Вважається, що саме таке рішення дозволить досягти максимальної ефективності та надійності процесів генерації, передачі та розподілу електричної енергії із забезпеченням її належної якості.

Аналіз стану питання. У вітчизняній технічній літературі питання, що пов'язані з побудовою мікромереж поки торкаються побічно, лише тільки у контексті обговорення спільних ідей розробки нової концепції організації енергетичного сектора країни на основі інтелектуалізації електричних мереж [5–7]. У той же час, за кордоном дана тематика є досить популярною, що підтверджується не тільки численними публікаціями, а й кількістю розроблюваних і реалізованих конкретних проектів [4, 8]. Разом із тим, безпосереднє застосування отриманих за кордоном результатів в умовах України в силу ряду причин є неможливим. Зокрема, у деяких дослідженнях запропоновані інноваційні перетворення в енергетиці концентруються в основному на рівні системоутворюючих мереж [4, 9], що не є абсолютним пріоритетом для України. Проте основна проблема полягає у тому, що реальний технічний стан і ступінь автоматизації вітчизняних електричних мереж, особливо на рівні розподілу електроенергії, відсутність можливості повноцінного матеріального забезпечення подібних проектів створюють серйозні перешкоди для їх широкого впровадження. Даний висновок впливає з аналізу умов, за яких реалізуються подібні проекти за кордоном [10, 11].

Мета роботи. Мікромережі (комплексні джерела енергопостачання), як зазначалося вище є перспективним шляхом використання джерел РГ. При цьому важливо, щоб потужності окремих типів генеруючих джерел мікромережі були обрані оптимальним чином, що дає можливість із максимальною ефективністю задіяти альтернативні та місцеві енергетичні ресурси. Питання полягає у визначенні граничного обсягу потужності засобів РГ, який не створює проблем роботі сформованої інтегрованої системи. Постає задача визначення оптимального режиму роботи такого комплексу, у якій мірі й яке джерело РГ, що є компонентом мікромережі, використовувати у довільний момент часу t доби. Вимога

одночасного задоволення різноманітних цілей, які у загальному випадку є суперечливими, призводить до необхідності використання методів багатокритеріального прийняття рішень. Таким чином, виникає необхідність розроблення методів, практичних рекомендацій і алгоритмів для реалізації задач розподілу навантажень між генеруючими джерелами мікромереж за умов урахування реального рівня невизначеності початкової інформації на основі сучасних методів моделювання та багатокритеріального прийняття рішень.

Матеріал і результати досліджень. У роботі запропоновано й апробовано метод багатокритеріального оперативного розподілу навантаження між окремими генеруючими джерелами мікромережі з метою забезпечення найбільш ефективних умов її використання. Передбачається, що оперативний розподіл навантажень між окремими генеруючими джерелами, що входять до структури мікромережі, здійснюється з урахуванням групи чинників різного характеру: економічного, технічного, соціального й іншого.

При цьому, що економічна ефективність може оцінюватися за:

- капітальними інтегральними витратами;
- експлуатаційними витратами;
- коефіцієнтом використання встановленої потужності;
- строком окупності.

Технологічну особливість технологій генерації енергії, що плануються до використання, пропонується оцінювати за такими показниками:

- час пуску та виходу «на режим»;
- діапазон регулювання потужності;
- можливість та/або ефективність експлуатації при частковому завантаженні;
- спроможність працювати як когенераційна установка або, як накопичувач енергії;
- сезонність використання;
- необхідність у попередній підготовці задіяного енергоносія;
- потреба утилізації решток;
- створення енергетичної інфраструктури для використання задіяного енергоносія;
- надійність, що враховує потенційну кількість годин роботи протягом року.

Кожний із наведених показників технологічного характеру є нормованою величиною.

Екологічні чинники включають вплив на навколишнє середовище на всіх стадіях життєвого циклу проекту: впровадження, експлуатація, згортування (ландшафтні зміни, емісія шкідливих речовин під час експлуатації, утилізація решток, вплив емісії CO_2 , площа земельної ділянки й ін.).

При цьому вирішено питання визначення оптимального режиму роботи такого комплексу, тобто якою мірою потужність кожного джерела РГ, що є компонентом мікромережі, використовувати у кожний довільний момент часу t .

Попередньо обґрунтовується та формується перелік цілей, що на думку особи, яка приймає рішення, дають змогу забезпечити оптимальні умови роботи окремих компонентів мікромережі у кожний конкретний момент часу t , враховуючи вплив зовнішніх чинників (наявність вітру, інтенсивність сонячної радіації, рівень навантаження і т.п.), які мають місце на той момент. У розробленому для цієї мети методі цільові функції, що характеризують ступінь оптимальності роботи мікромережі, представлені у лінгвістичній формі, яка є найбільш зручною для користувачів. Математично вони формуються таким чином:

$$F_{jt}(\mathbf{P}) \rightarrow \text{extr}; \quad j = 1, \dots, m; \quad \mathbf{P} = \{P_1, \dots, P_i, \dots, P_n\} \quad L \subseteq \Omega,$$

де Ω – область рішень, оптимальних за Парето.

В якості обмежень розглядаються: технічні можливості окремих генеруючих джерел й умова обов'язкового виконання балансу «генерація-споживання» з урахуванням за необхідності потенціалу акумулюючих пристроїв і втрат потужності в мікромережі. За наявності у структурі мікромережі відновлюваних джерел енергії, їх потенціал має бути задіяний у кожен момент часу в повному обсязі й у першу чергу. Однак в умовах експлуатації можуть виникати ситуації, пов'язані з незадовільним поточним технічним станом деяких видів устаткування, його планованим технічним обслуговуванням або профілактичним ремонтом. Для цієї мети у розробленому методі існує можливість

використовувати так звані «м'які» обмеження. Наприклад: 1) «відсутні будь-які обмеження за навантаженням»; 2) «небажаність використання потужності певного джерела у повному обсязі»; 3) «крайня небажаність використання певного джерела»

Розроблений метод багатокритеріального оперативного розподілу навантаження між окремими джерелами автономної мікромережі базується на спільному використанні модифікованого алгоритму нелокального пошуку, так званого методу «яру», запропонованого І.М. Гельфандом та М.Л. Цетліним [12], та підходу Беллмана-Заде. При цьому враховується, що структура поверхні, яка відповідає функції багатьох змінних, що оптимізується, викликає певну асоціацію з яром. Цей метод перемижує повільне локальне зі швидким нелокальним переміщенням і тим самим добре відслідковує викривлення дна яру та дає можливість достатньо ефективно знайти точку глобального екстремуму.

Підхід Беллмана-Заде застосовано для оцінювання ефективності рішення на кожному кроці оптимізаційного процесу шляхом одночасного аналізу всіх задіяних цільових функцій. Згідно з розробленим методом кожна цільова (оціночна) функція $F_j(\mathbf{P})$, $j = 1, \dots, m$ замінюється нечіткою цільовою функцією або нечіткою множиною виду

$$A_k = [\mathbf{P}, \mu_{A_k}(\mathbf{P})]; \quad k = 1, \dots, m,$$

де $\mu_{A_k}(\mathbf{P})$ являє собою функцію належності нечіткої функції A_k .

Вибір оптимального рішення знаходиться з умови

$$\max_{\mathbf{P} \in L} \mu_D(\mathbf{P}) = \max_{\mathbf{P} \in L} \min_{k=1, \dots, m} \mu_{A_k}(\mathbf{P}).$$

Таким чином, точка $\mathbf{P}^* = \arg \max_{\mathbf{P} \in L} \min_{k=1, \dots, m} \mu_{A_k}(\mathbf{P})$ приймається як оптимальна на кожному кроці локального та нелокального пошуків при реалізації процесу розв'язання задачі. Розрахунок завершується, якщо різниця значень характеристик $\min_{k=1, \dots, m} \mu_{A_k}(\mathbf{P})$ для суміжних точок стає меншою ніж заздалегідь задана точність розрахунків ε_Δ .

Принципово важливо, щоб функції належності $\mu_{A_k}(\mathbf{P})$ адекватно відображали характер відповідних оціночних (цільових) функцій. Зокрема, таким умовам відповідають функції належності, що формуються таким чином:

- для цільових функцій, що підлягають максимізації

$$\mu_{A_k}(\mathbf{P}) = \left[\frac{F_j(\mathbf{P}) - \min_{\mathbf{P} \in L} F_j(\mathbf{P})}{\max_{\mathbf{P} \in L} F_j(\mathbf{P}) - \min_{\mathbf{P} \in L} F_j(\mathbf{P})} \right]^{\lambda_j};$$

- для цільових функцій, що підлягають мінімізації

$$\mu_{A_k}(\mathbf{P}) = \left[\frac{\max_{\mathbf{P} \in L} F_j(\mathbf{P}) - F_j(\mathbf{P})}{\max_{\mathbf{P} \in L} F_j(\mathbf{P}) - \min_{\mathbf{P} \in L} F_j(\mathbf{P})} \right]^{\lambda_j},$$

де λ_j – показник, що відображає ступінь важливості k -ї оціночної функції та визначається найчастіше експериментальним шляхом.

Запропонований метод багатокритеріального розподілу навантаження між окремими джерелами автономної мікромережі було апробовано. Для реалізації цієї задачі було розроблено відповідне програмне забезпечення. На першому кроці визначено усі джерела енергії (компоненти мікромережі), що з точки зору особи, яка приймає рішення, доцільно було б використовувати для покриття потреб споживачів. Паралельно з цим внесено параметри кожної технологічної установки на підставі її паспортних даних (технічних характеристик). При проведенні експериментальних розрахунків було розглянуто мікромережу, потенційними компонентами якої могли бути такі чотири джерела генерації: сонячна та вітрова електричні станції, а також когенераційні установки, де в якості палива застосовано біопаливо та дизельне паливо.

Для визначення оптимального режиму роботи використовувалися три критерії: собівартість згенерованої електричної потужності, рівень шкідливих викидів (емісії CO_2), кількість годин роботи з максимальним навантаженням $T_{\max}$. У якості обмежень, наприклад для періоду часу $t = 18$ год, задавалися попередньо розраховані: сумарне навантаження

мікромережі $\sum_{i=1}^4 P_{it} = A_t = 558$ кВт і можливі граничні значення потужності окремих генеруючих установок: $0 \leq P_{1t} \leq 6,94$ кВт, $0 \leq P_{2t} \leq 12,17$ кВт, $0 \leq P_{3t} \leq 264,9$ кВт та $0 \leq P_{4t} \leq 335,1$ кВт.

Для розв'язання задачі розподілу навантаження між складовими мікромережі сформовано три цільові функції: 1) у першу чергу віддати перевагу джерелам енергії з більшими питомими капітальними витратами; 2) віддати перевагу джерелам енергії з мінімальним значенням $T_{\max}$; 3) віддати перевагу джерелам енергії з мінімальним рівнем шкідливих викидів в атмосферу; які у математичному представленні мають такий вигляд:

1. $F_1(\mathbf{P}) = a_{11}P_1 + a_{12}P_2 + a_{13}P_3 + a_{14}P_4 \rightarrow \max$, де $a_{11}, a_{12}, a_{13}, a_{14}$ відповідають питомому (на 1 кВт) значенню капітальних витрат генерованої потужності, що характерне для окремих генеруючих установок;

2. $F_2(\mathbf{P}) = a_{21}P_1 + a_{22}P_2 + a_{23}P_3 + a_{24}P_4 \rightarrow \min$, де $a_{21}, a_{22}, a_{23}, a_{24}$ відповідають значенню $T_{\max}$, характерному для окремих генеруючих установок;

3. $F_3(\mathbf{P}) = a_{31}P_1 + a_{32}P_2 + a_{33}P_3 + a_{34}P_4 \rightarrow \min$, де $a_{31}, a_{32}, a_{33}, a_{34}$ відповідають питомим значенням кількості шкідливих викидів у атмосферу, характерним для окремих генеруючих установок.

Для ілюстрації у таблиці наведено результати, отримані режиму, який мав місце для періоду часу $t = 18$ год.

Таблиця – Оптимальний розподіл навантаження між компонентами мікромережі

Компоненти мікромережі	Граничні значення потужності, кВт	Розподіл навантаження, кВт	Завантаження у відсотка від встановленої потужності установки
Сонячна електрична станція	$0 \leq P_{\text{СЕС}t} \leq 6,940$	6,940	2,78
Когенераційна установка на біомасі	$0 \leq P_{\text{КУбіом}t} \leq 264,9$	264,9	89,5
Вітрова електрична станція	$0 \leq P_{\text{ВЕС}t} \leq 12,17$	12,17	4,87
Когенераційна установка на дизпаливі	$0 \leq P_{\text{КУдиз}t} \leq 335,1$	274,0	72,49
Навантаження споживачів		558,0	

На рисунку показано добовий графік завантаження окремих джерел генерації, що є компонентами мікромережі.

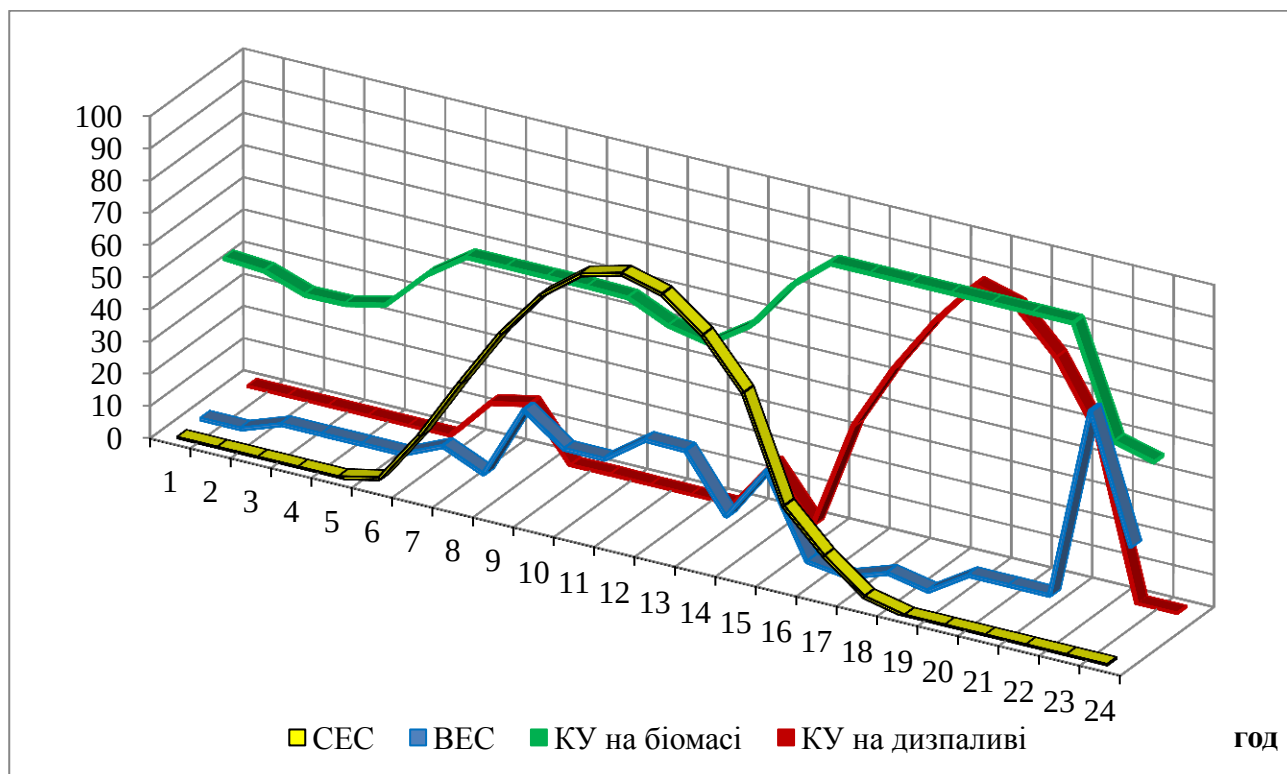


Рисунок – Завантаження у відсотках від встановленої потужності установки

Реалізація розробленого методу розподілу навантаження між компонентами мікромережі підтверджує ідею, що для задоволення потреб споживачів електричною енергією, у першу чергу за відсутності обмежень, мають застосовуватися сонячна та вітрова електричні станції (у разі наявності такої можливості). А для покриття решти навантаження джерела енергії на органічному паливі – когенераційні установки на дизельному паливі та біопаливі.

Висновки. Встановлено, що згідно досвіду індустріально розвинутих країн створення мікромереж сьогодні є найбільш перспективною формою використання альтернативних джерел енергії в системах енергозабезпечення як окремих груп споживачів, так і певних територіальних громад. Запропоновано методіку оптимального режиму роботи мікромережі у реальному часі, що передбачає розподіл необхідного сумарного навантаження між комплексними джерелами електричної та теплової енергії у довільний момент часу t доби, що дає змогу врахувати сукупність факторів різноманітного характеру: технічних, економічних, екологічних, з метою забезпечення максимальної обґрунтованості та фактичної ефективності прийнятих рішень

Література.

1. Peik-Herfeh M. Decision making of a virtual power plant under uncertainties for bidding in a day-ahead market using point estimate method [Електронний ресурс] / M. Peik-Herfeh, H. Seifi, M.K. Sheikh-El-Eslami // *Electrical Power and Energy Systems*. – 2013. – № 44. – P. 88–98. – Режим доступу до журн.: www.elsevier.com/locate/ijepes.
2. Mancarella P. Microgrid evolution roadmap in EU: Modelling of microgrid evolution and replacement profiles of EU network infrastructure [Електронний ресурс] / P. Mancarella, D. Pudjianto // *Final Version*. – Contract No: PL019864. – 2009. – 140 p. – Режим доступу: <http://www.microgrids.eu/documents/676.pdf>.
3. Pudjianto D. The FENIX vision: The virtual power plant and system integration of distributed energy resources [Електронний ресурс] / D. Pudjianto, C. Ramsay, G. Strbac. – Contract No: SES6-518272. – London, 2006. – 13 p. – Режим доступу: http://fenix.iwes.fraunhofer.de/docs/documents/Project_Fenix_2008-06-19_The_FENIX_vision_Christophe_Kieny_v1.pdf.

4. Вернер Д. Локальная виртуальная электростанция. Экспериментальные исследования принципов работы микрогенерационной установки [Текст] / Д. Вернер, Т. Хесс, П. Шенгер ; пер. Е.В. Раубаль. – Промышленная энергетика. – М., 2014. – № 8. – С. 12–17.
5. Попов В.А. Алгоритм многокритериального управления режимами работы микросетей [Текст] / В.А. Попов, Е.С. Ярмолук, П.А. Замковой // Східноєвропейський журнал передових технологій. – Х., 2014. – № 2. – С. 61–68.
6. Комплексное использование энергии возобновляемых источников [Текст] / Н.М. Мхитарян, С.О. Кудря, Л.В. Яценко [и др.] // Альтернативная энергетика и экология. – К., 2013. – № 17. – С. 15–22.
7. Еволюція інтелектуальних електричних мереж та їхні перспективи в Україні [Текст] / Б.С. Стогній, О.В. Кириленко, А.В. Праховник, С.П. Денисюк // Технічна електродинаміка. – К. : ІЕД НАНУ, 2012. – № 5. – С. 52–67.
8. Microgrids: An overview of ongoing research, development and demonstration projects [Text] / N. Hatziaargyion, H. Asano, R. Iravani, Ch. Marnay // IEEE power and energy magazine. – 2007. – P. 78–94.
9. Кобец В.В. Инновационное развитие электроэнергетики на базе концепции Smart Grid [Текст] / В.В. Кобец, И.О. Волкова. – М. : ИАЦ Энергия, 2010. – 208 с.
10. Qiao L. A summary of optimal methods for the planning of state alone Microgrid System [Text] / L. Qiao // Energy and Power Engineering. – 2013. – № 5. – P. 992–998.
11. [Hu M.](#) Operating Strategies and Management for Smart Microgrid Systems [Text] / M. [Hu](#), Y. [Chen](#), Y. [Chang](#) // Journal of Energy Engineering. – 2014. – V. 140, is. 1. – P. 356–364.
12. Гельфанд І.М. О некоторых способах управления сложными системами [Текст] / І.М. Гельфанд, М.Л. Цетлин // Успехи математических наук. – Т. XVII, № 1 (103). – 1962. – С. 3–25.

УДК 621

С. П. Денисюк, д. т. н., проф.,
Д. С. Горенко, аспірант,
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут»

АНАЛІЗ ОБМІННИХ ПРОЦЕСІВ В СИСТЕМАХ ЗІ СКЛАДНИМИ ВИДАМИ СИГНАЛІВ

***Анотація.** Проведено дослідження відмінності між впливом різних за формою сигналів на обмінну потужність між джерелами електричної енергії. Проаналізовано вплив вищих гармонік на змінну обмінної потужності. Розглянуто можливість взаємозаміни різномісних періодичних сигналів перешкод при аналізі обмінних процесів.*

***Abstract.** A study of the distinction between the effects of different waveforms in the interchange power between the power sources. Analyzed the influence of higher harmonics on variable exchange capacity. The possibility of interchange of different types of periodic interference signals in the analysis of metabolic processes.*

Вступ. При аналізі різних процесів в електроенергетичних системах, традиційно велику увагу приділяють активній потужності. Цей важливий параметр має цілком обґрунтоване і чітке визначення, що описує конкретні фізичні процеси. Тому досить чіткі методики вимірювання та розрахунку активної потужності не викликають сумнівів. Однак використання терміна «неактивна потужність» виправдано тим, що обмінні процеси, що протікають в енергосистемах при несинусоїдальних режимах, не можна описати тільки реактивною потужністю. До того ж застосування терміна «реактивна потужність» для несинусоїдальних режимів часто створює плутанину, ускладнює оцінку знову

розроблювальних підходів до визначення потужностних характеристик, які є неминучим атрибутом технологічного контролю, що впливає на стійкість роботи енергосистем та їх економічну ефективність [1].

Аналіз стану питання. Перші роботи з дослідження теорії потужності К. Будяна, С. Фризе, Ф. Емде, А. Іліовича, В. Кваде, І. Розенцвейга, Ф. Бухгольца були представлені ще в 20-х 30-х роках XX століття. В кінці 50-х на початку 60-х років основна увага приділялася введенню нових та розширених трактувань визначень складових повної та миттєвої потужності. В 70-х роках значний об'єм публікацій був пов'язаний з проблемами електромагнітної сумісності і в рамках Міжнародної електротехнічної комісії створений спеціальних комітет. Також електротехнічним товариством Німеччини проведено дискусію з питань електромагнітної сумісності. Однак нормативні документи з термінологією і визначеннями електротехніки не містили визначення неактивних складових повної потужності при несинусоїдальних струмах та напругах [5]. Проблеми обмінних процесів між різними елементами мережі, їх вплив одне на одного, розглядається в багатьох монографіях, кандидатських та докторських дисертаціях України та світу.

Можна констатувати, що основна проблема сучасної теорії електричних кіл зводиться до того, що для оцінки одних і тих же несинусоїдальних енергетичних процесів існуючі визначення складових повної та миттєвої потужностей дають різні результати, які не вдається узагальнити в рамках однієї теорії.

Мета роботи. Дослідити відмінності між впливом різних за формою сигналів на обмінну потужність між джерелами електричної енергії. Проаналізувати вплив вищих гармонік на змінну обмінної потужності. Також перевірити можливість взаємозаміни різнотипних періодичних сигналів перешкод при аналізі обмінних процесів.

Методи, матеріали і результати дослідження. Напруга, що буде створюватиметься в перерізі $A-A$ (рисунок 1) змінюється періодично за синусоїдальним законом, який можна записати у вигляді: $u(t) = 1000 \sin(\omega t)$, тоді як закон зміни струму, що генерується джерелом перешкод $J(t)$ може змінюватись випадково. Запиномось на трьох варіантах періодичних функцій зміни струму, таких як: прямокутник, трикутник та синусоїда (рис. 2).

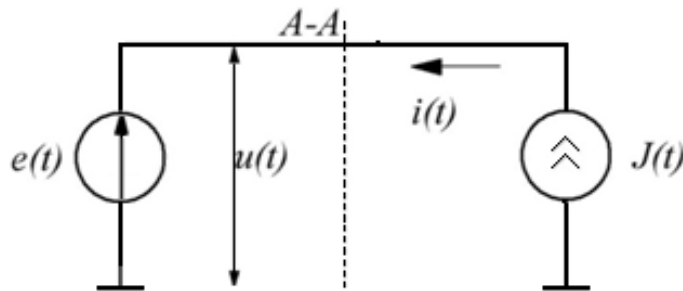


Рисунок 1 – Основні напрямки потоків енергії через перерізи кола

На рис. 2 наведені графічні залежності напруги $u(t)$, струму $i(t)$ та потужності $p(t)$ для сигналів різної форми збудовувальної дії. На рис. 2, а) представлено вплив прямокутного періодичного сигналу [2,3]:

$$i(t) = \frac{4 \cdot 10}{\pi} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\sin(2k-1)(\omega t + \varphi)}{2k-1};$$

на рис. 2, б) – вплив трикутного періодичного сигналу:

$$i(t) = \frac{8 \cdot 10}{\pi^2} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{(-1)^{k+1} \sin(2k-1)(\omega t + \varphi)}{(2k-1)^2},$$

на рис. 2, в) – вплив синусоїдального періодичного сигналу:

$$i(t) = 10 \sin(\omega t + \varphi).$$

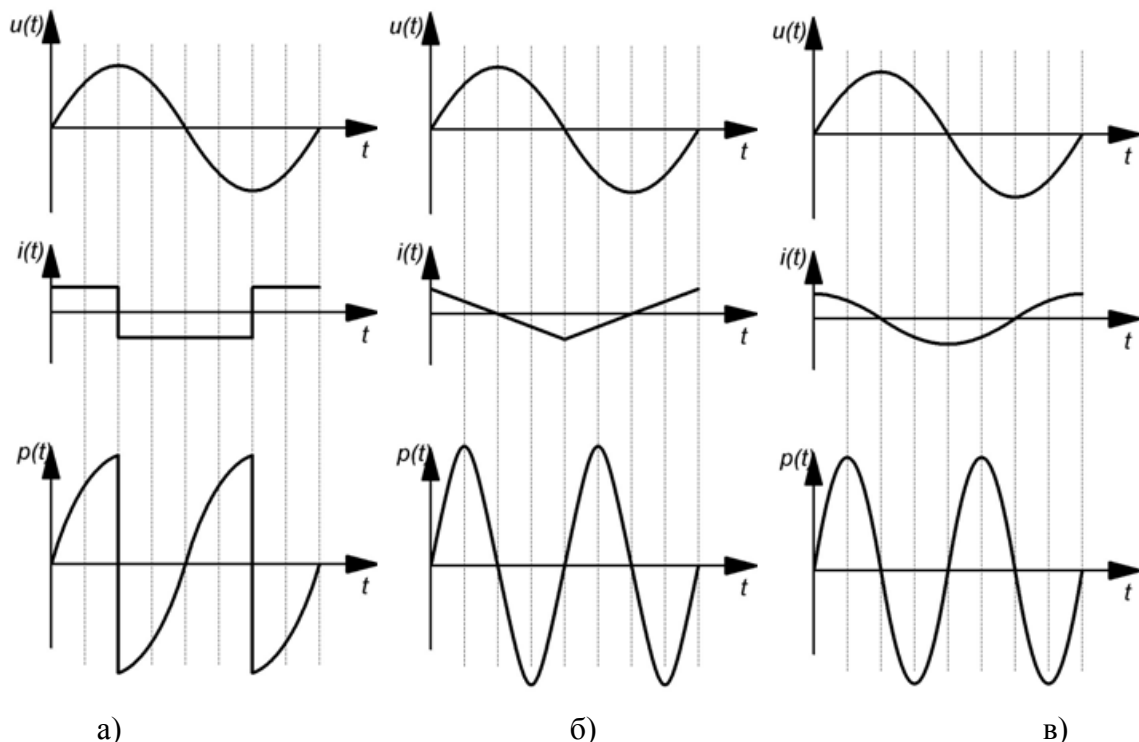


Рисунок 2 – Графічні залежності напруги $u(t)$, струму $i(t)$ та потужності $p(t)$ для сигналів різної форми збудовальної дії

а) – прямокутний сигнал, б) – трикутний сигнал, в) – синусоїдальний сигнал

Оскільки ймовірність рівності нулю зсуву фаз між напругою та струмом в перетині дослідження майже нульова, виникає необхідність визначення обмінної потужності в залежності від зсуву фаз при різних формі дії сигналу. Для прикладу представлено розрахунок обмінної потужності при дії третьої гармоніки прямокутної форми сигналу при зсуві фаз між напругою та струмом $\varphi = \pi / 2$ (рис. 3)[4,5].

$$u(t) = 1000 \sin(\omega t);$$

$$i(t) = \frac{4 \cdot 10}{\pi} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\sin(2k-1)(3\omega t + \varphi)}{2k-1};$$

$$Q_{i\dot{a}} = \frac{2}{T} \int_0^{t^+} u(t) i_p(t) dt;$$

де $i_p(t) = i(t) - i_a(t); i_a(t) = \frac{u(t)P}{U_a^2}; U_a = U_{\max}; P = \frac{1}{T} \int_0^T u(t)i(t)dt.$

$$Q_{i\dot{a}} = \frac{2}{T} \left(\int_0^{T/12} u(t)i_p(t)dt + \int_{T/4}^{5T/12} u(t)i_p(t)dt \right) = 3,138 \text{ квар.}$$

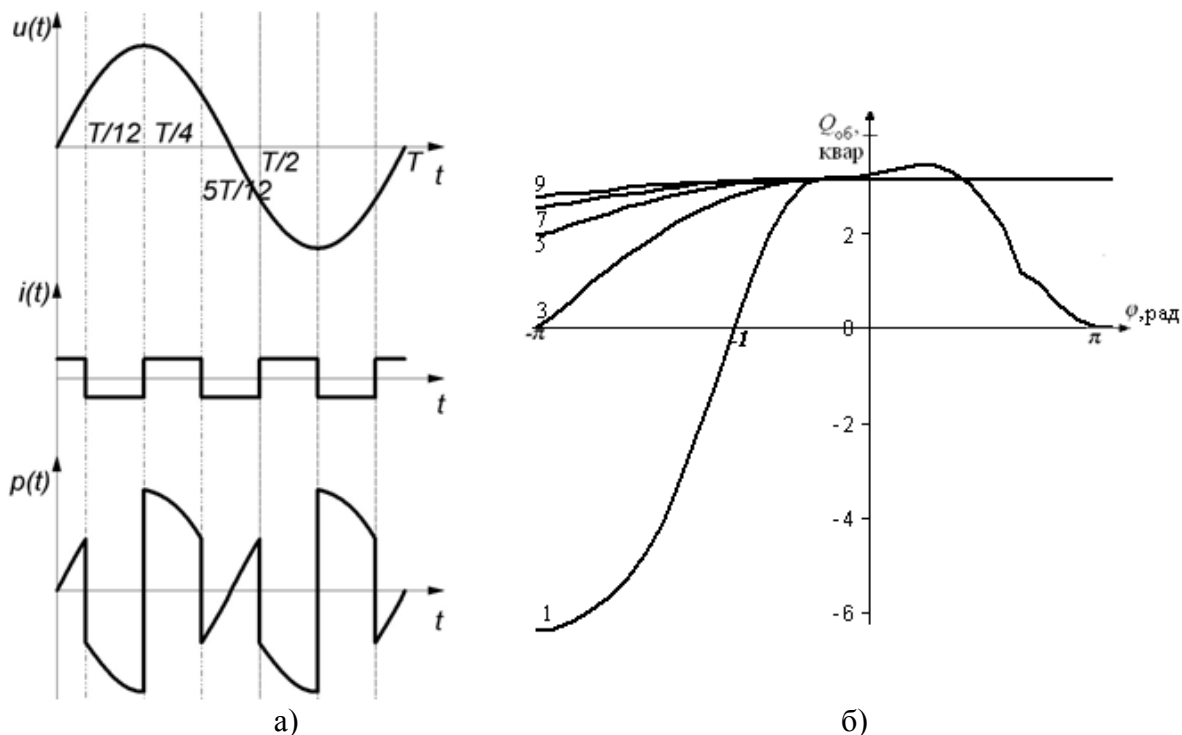


Рисунок 3 – Змінна обмінної потужності при дії третьої гармоніки прямокутної форми сигналу та з зсуві фаз між напругою та струмом $\varphi = \pi / 2$

а) – залежності напруги, третьої гармонічної складової струму та потужності від часу;

б) – змінна обмінної потужності від кута зсуву фаз при дії основної та вищих гармонічних складових струму

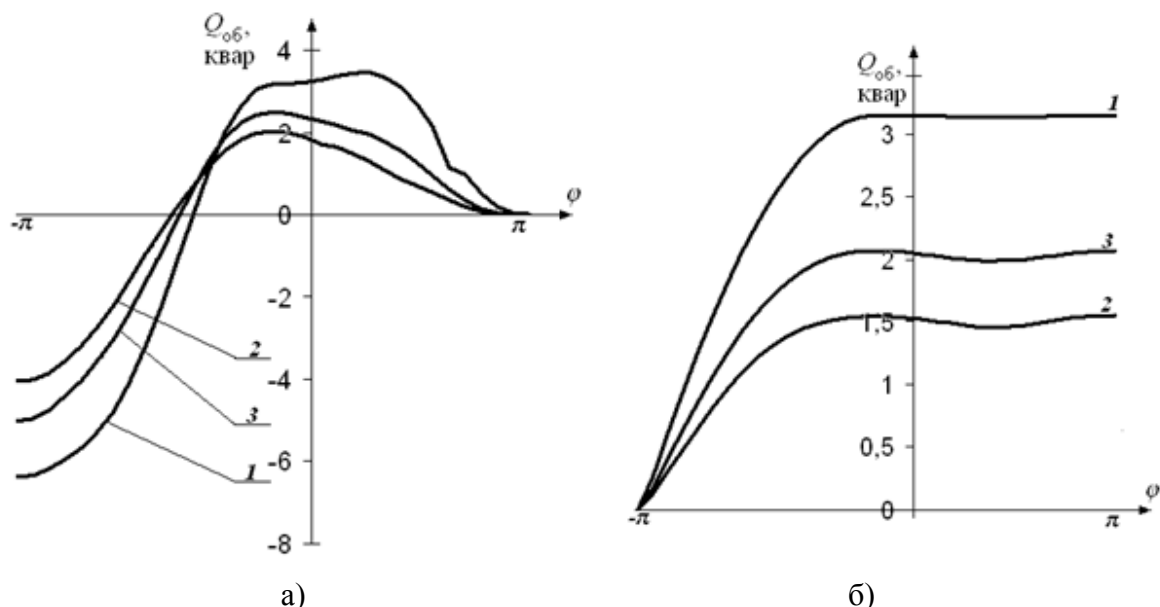


Рисунок 4 – Залежність обмінної потужності від кута зсуву фаз при дії основної гармонічної складової джерела перешкод

1 – прямокутний імпульсний сигнал; 2 – трикутний імпульсний сигнал; 3 – синусоїдальний сигнал

За результатами розрахунків наведених у таблиці 1, для більшої наочності, побудовано графіки (рис. 4). Як видно з представлених графіків, у випадку дії лише основної гармонічної складової сигналу (рис. 4, а) функція $Q_{\text{об}}(\varphi)$ для всіх типів сигналу змінюється

майже однаково, проте максимальні відхилення між прямокутним сигналом та синусоїдальним перевищує 50 %, тоді як для трикутного сигналу не перевищує 35%.

Залежність впливу третьої гармонічної складової на залежність $Q_{ia}(\varphi)$ (рис. 4, б) зростає від нуля і при значенні кута зсуву фаз $\varphi \approx -0,3$ рад залежності не змінюються і розташовані паралельно одна до одної і до горизонтальної осі. Відхилення як при дії прямокутного сигналу так і при дії трикутного сигналу складає приблизно 36%.

Для гармонік п'ятої та вищих (рис. 3) функція $Q_{ia}(\varphi)$ прямує до прямої паралельної горизонтальній осі і відхилення різних сигналів від синусоїдального зменшується.

Висновки. Провівши кореляційний аналіз отриманих результатів для математичного співставлення графіків з різнотипним збурювальним сигналом, виявилось, що незалежно від того, які сигнали співставлялися залежності обмінної потужності від кута зсуву фаз є корельованими, тобто для спрощення розрахунків можна виконувати заміну синусоїдального сигналу перешкоди на прямокутний або трикутний сигнали з однаковими амплітудами та частотами. Також як видно з рисунків на діапазоні кута $\varphi[-\pi; 0]$ для вищих та основної гармонічних складових струмів обмінна потужність зростає і досягає певного пікового значення, а на діапазоні кута $\varphi[0; \pi]$ при дії вищих гармонік обмінна потужність не змінюється або змінюється несуттєво, а при дії основної гармоніки продовжує зростати до свого максимуму, після чого збігається в нуль. Така тенденція спостерігається для всіх періодичних різних за формою сигналів похибки. Також виходячи з розрахунків, можна визначити умови, при яких, обмінна потужність буде рівна нулю, що означає її повну взаємокомпенсацію, а не відсутність обмінних процесів в системі. Дане дослідження дозволить розробити алгоритм аналізу впливу не тільки періодичних сигналів різної форми, а також випадкових імпульсних сигналів.

Література

1. Неактивная мощность в электроэнергетических системах / А.А.Шпота, Д.В. Орлов, Р.А. Набиуллин, А.А. Планков. // Омский государственный технических университет.
2. Жарков Ф.П. Об одном способе определения реактивной мощности / Ф.П. Жарков. // Наука. – 1984. – №2. – С. 73–81.
3. Жуйков В.Я. Енергетичні процеси в електричних колах з ключовими елементами / В.Я. Жуйков, С.П.Денисюк. – Київ 2010. – 264 с.
4. Костин М.О. Ознака наявності обмінної потужності в силових електричних тягових колах системи потійного струму / М.О. Костин, О.Г. Шейкина. – 2012. – С. 98–102
5. Баланс энергий в электрических цепях / [В.Е. Тонкаль, А.В. Новосельцев, С.П. Денисюк та ін.]. – Киев: Наук. думка, 1992. – 312 с.

УДК 621.311.003.13

Находов В.Ф., к.т.н., доц.; Бориченко О.В., к.т.н. доц.; Іванько Д.О., аспірант;

Ройтер А.В., магістрант; Пахарев Ю.В., магістрант

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», Україна

ПОБУДОВА ЕЛЕКТРОБАЛАНСІВ КОТЕЛЬНИХ З ЗАСТОСУВАННЯМ ЙМОВІРНІСНО-СТАТИСТИЧНИХ МЕТОДІВ

Викладені розроблені авторами методичні основи побудови електробалансів котельних з застосуванням ймовірнісно-статистичного підходу з врахуванням існуючих аналітичних або емпіричних залежностей між обсягами виробництва продукції, параметрами технологічних процесів та споживанням електричної енергії.

Presented developed by the authors methodological foundations of electric balances for boiler rooms, with use of probabilistic-statistical approach taking into account the existing analytical or empirical dependency between the volume of production of products, processes parameters and consumption of electrical energy.

Вступ

Побудова та аналіз балансів споживання електричної енергії дозволяє вирішувати низку важливих задач в енергетичному господарстві виробничих об'єктів. Зокрема, електричні баланси є основою для визначення показників питомої витрати електроенергії, які традиційно застосовуються для контролю ефективності її використання в промисловості.

Основною проблемою побудови балансів споживання електричної енергії виробничих об'єктів є визначення структури їх витратної частини, тобто складу та обсягів корисної витрати та втрат електроенергії.

Традиційними методами побудови електробалансів є розрахунково-аналітичний, експериментальний та комбінований, перший з яких, зважаючи на відносну простоту застосування, набув найбільшої популярності.

Для будь-якого виробничого об'єкта склад статей витратної частини електробалансу, здебільшого, заздалегідь є відомим, тобто є відомим перелік основного та допоміжного обладнання, що споживає електричну енергію, встановлена потужність цього обладнання, а також схема електропостачання об'єкту та характеристика її елементів.

До того ж, однією з позитивних особливостей підприємств теплоенергетики, зокрема, котельних є те, що на відміну від багатьох інших виробництв, для їх обладнання існують достатньо обґрунтовані фізичні або емпіричні залежності, які встановлюють функціональний зв'язок між обсягами споживання електричної енергії та параметрами технологічних процесів і зовнішніх умов виробництва. Такі залежності наведені у відповідних нормативно-методичних матеріалах (наприклад, для котельних – у [1]).

Однак навіть у таких, сприятливих умовах використання розрахунково-статистичного методу, як правило, не дозволяє отримати достатньо достовірні та обґрунтовані баланси споживання електроенергії.

Основною причиною цього є те, що електроспоживання виробничих об'єктів значною мірою має випадковий характер, а їх електробаланси здебільшого складаються в умовах невизначеності вихідних даних, які використовуються у відповідних розрахунках. Це безпосередньо стосується також підприємств теплоенергетики і, зокрема, котельних.

Мова йде про те, що, наприклад, на котельних при розрахунку нормативних витрат електроенергії практично для всіх видів обладнання (вентиляторів, димососів, насосів різного призначення) необхідно враховувати значну кількість технологічних та інших параметрів, для яких у відповідних довідкових чи методичних матеріалах наведені деякі, досить широкі діапазони їх можливих числових значень. Є чимало й таких показників, для яких взагалі відсутні будь-які рекомендації щодо прийняття у розрахунках конкретних їх числових значень.

Мета

Викладення розроблених авторами методичних основ застосування ймовірнісно-статистичного підходу до побудови електробалансів котельних з врахуванням існуючих аналітичних або емпіричних залежностей між обсягами виробництва продукції, параметрами технологічних процесів та споживанням електричної енергії.

Матеріали та результати дослідження

Виходячи з зазначеного вище, одним з перспективних шляхів підвищення обґрунтованості та достовірності результатів побудови балансів споживання електричної енергії у виробництві, і зокрема для котельних, слід вважати застосування ймовірнісно-статистичного підходу, який ґрунтується саме на врахуванні випадкового характеру електроспоживання, технологічних та інших показників, а також дає можливість використовувати у розрахунках нечіткі значення відповідних вихідних величин [2].

Першим етапом побудови електробалансів котельних з застосуванням ймовірнісно-статистичного підходу повинно бути проведення експертного опитування. З цією метою серед інженерно-технічних працівників, експлуатаційного персоналу має бути визначена

група спеціалістів, робота яких безпосередньо пов'язана з обладнанням, яке необхідно приймати до уваги при побудові відповідного електробалансу.

Головним завданням експертного опитування є встановлення інтервалів можливих значень кожного з нечітких вихідних параметрів, які у подальшому необхідно використовувати при побудові електробалансу, а також оцінка ймовірності знаходження окремих їх значень у відповідних інтервалах.

Перед тим, як приступити до опитування експертів необхідно попередньо визначити діапазони теоретичноможливих числових значень нечітких технічних та технологічних параметрів, які будуть максимально близькими до реальних значень за конкретних умов виробництва. Встановити зазначені діапазони значень нечітких параметрів можна на підставі відповідної методичної довідкової літератури, зокрема для котельних, - [1].

Опитування спеціалістів здійснюється за допомогою анкети, в якій наведено діапазони теоретично можливих значень всіх нечітких технологічних та інших виробничих параметрів, що розглядаються. Кожен з зазначених діапазонів значень нечітких вихідних параметрів має бути розділений на декілька інтервалів, на межі яких знаходяться можливі рівні числових значень наведених в анкеті нечітких показників.

Приклад такої анкети для оцінки значень коефіцієнта надлишку повітря в димових газах представлений на рисунку 1. Кожному експерту пропонується на шкалі вертикальною лінією позначити числову величину, яка на його думку відповідає середньому значенню даного показника протягом відповідного періоду за конкретних умов виробництва.

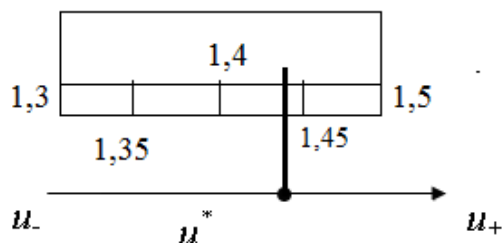


Рисунок 1 – Приклад оцінки одним з експертів середнього значення коефіцієнту надлишку повітря в димових газах

Аналогічна процедура проводиться для усіх нечітких параметрів, які приймаються до уваги при побудові електробалансу.

Для оцінки ймовірності, з якою будь-який нечіткий параметр може приймати числове значення, що відповідає тому чи іншому з можливих його рівнів, потрібно побудувати сімейство функцій належності, наприклад, кусково-лінійних.

Якщо для деякого нечіткого показника визначено п'ять можливих рівнів його значень, то такі функції належності, наприклад, можуть визначатися наступними рівняннями:

$$\mu_{0,3}(u) = \begin{cases} 1 - \frac{u}{2}, & u \in [0,1], \\ \frac{2}{3} - \frac{u}{6}, & u \in (1,4]; \end{cases} \quad (1)$$

$$\mu_{0,35}(u) = \begin{cases} \frac{1}{2} + \frac{u}{2}, & u \in [0,1], \\ \frac{3}{2} - \frac{u}{2}, & u \in (1,2], \\ 1 - \frac{u}{4}, & u \in (2,4]; \end{cases} \quad (2)$$

$$\mu_{0,4}(u) = \begin{cases} \frac{u}{2}, & u \in [0,2], \\ 2 - \frac{u}{2}, & u \in (2,4]; \end{cases} \quad (3)$$

$$\mu_{0,45}(u) = \begin{cases} \frac{u}{4}, & u \in [0,2], \\ \frac{u}{2} - \frac{1}{2}, & u \in (2,3], \\ \frac{5}{2} - \frac{u}{2}, & u \in (3,4]; \end{cases} \quad (4)$$

$$\mu_{0,5}(u) = \begin{cases} \frac{u}{6}, & u \in [0,3], \\ \frac{u}{2} - 1, & u \in (3,4]. \end{cases} \quad (5)$$

Зазначені функції належності у графічному вигляді представлені на рисунку 2.

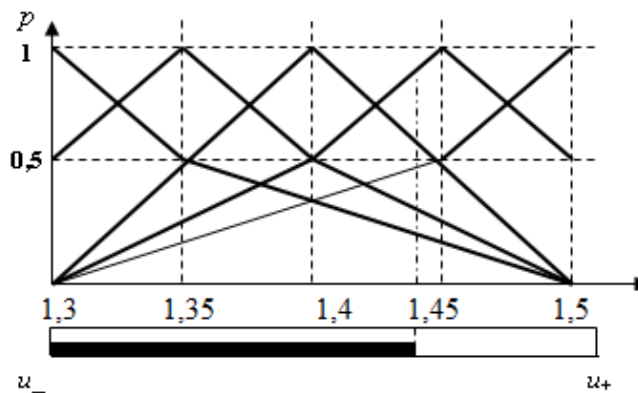


Рисунок 2 – Функції належності для оцінки ймовірності появи числових значень коефіцієнта надлишку повітря в димових газах

Таким чином, на підставі побудованих функцій належності для будь-якої оцінки окремим експертом середнього значення нечіткого параметра, найбільш близького, на думку експерта, до його реальної величини, можна визначити декілька значень суб'єктивної ймовірності збігу цієї оцінки з кожним із можливих рівнів значень показника, що розглядається.

Так, наприклад, за рисунком 2 для можливого рівня значень коефіцієнту надлишку повітря в димових газах 1,3 зазначена суб'єктивна ймовірність складає 0,2; для рівня 1,35 ця ймовірність дорівнює 0,27; і далі відповідно для рівня 1,4 – 0,52; для рівня 1,45 – 0,9 та для рівня 1,5 – 0,49.

Аналогічним чином здійснюється обробка результатів опитування всіх експертів стосовно числових значень всіх нечітких вихідних параметрів. Таким чином, в процесі обробки результатів експертного опитування визначаються всі можливі рівні значень кожного з нечітких вихідних параметрів, які у подальшому необхідно використовувати при побудові електробалансу котельної, а також ймовірності того, що реальні середні величини відповідних нечітких виробничих параметрів дорівнюють тому чи іншому з можливих рівнів їх значень.

Оскільки індивідуальні результати опитування експертів мають значною мірою суб'єктивний характер, більш об'єктивна оцінка ймовірності того, що реальне середнє значення будь-якого нечіткого параметра відповідає тому чи іншому з можливих його рівнів, визначається шляхом усереднення індивідуальних оцінок цієї ймовірності, зроблених окремо кожним з експертів.

Приклад результатів опитування експертів стосовно числових значень одного з нечітких показників: коефіцієнта надлишку повітря в димових газах наведено в таблиці 1.

Останнім кроком експертного оцінювання значень нечітких виробничих параметрів є графічне зображення узагальнених результатів опитування експертів, яке являє собою набір гістограм або полігонів частот можливої появи значень кожного з нечітких показників, що розглядаються. Кожна з таких гістограм будується за усередненими значеннями ймовірностей, наведеними у відповідних таблицях, подібних до таблиці 1.

Таблиця 1 – Результати опитування експертів щодо числових значень коефіцієнта надлишку повітря в димових газах

№ п/п	Найменування нечіткого показника	Рівень значень показника	Ймовірність появи значень показника за оцінками експертів			
			№1	№2	№3	Середня
1	2	3	4	5	6	7
1	Коефіцієнт надлишку повітря в димових газах	1,3	0,2	0,49	0,96	0,55
		1,35	0,27	0,97	0,56	0,6
		1,4	0,52	0,51	0,11	0,38
		1,45	0,9	0,26	0,07	0,41
		1,5	0,49	0,21	0,05	0,25

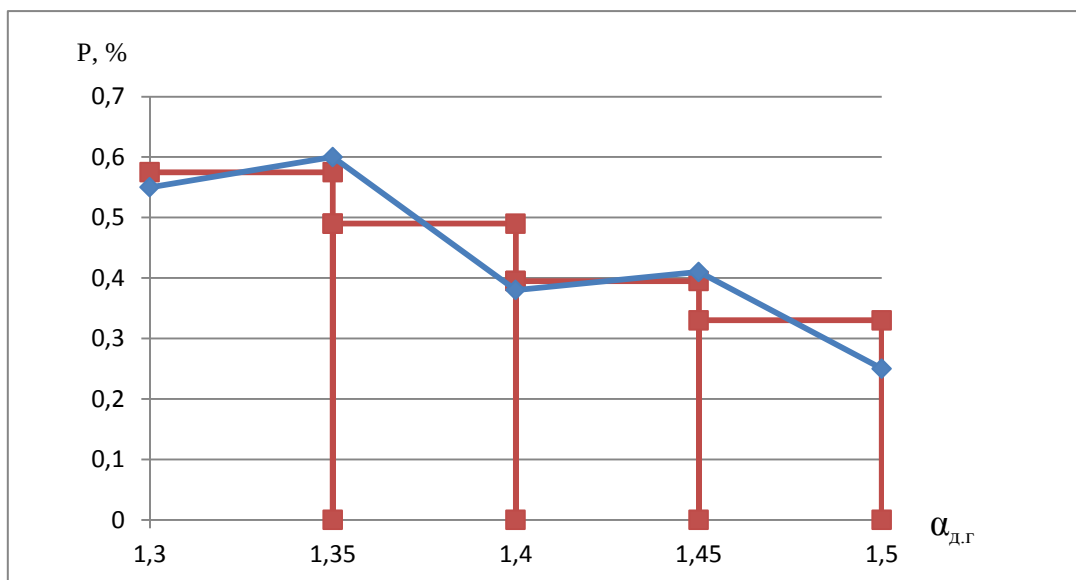


Рисунок 3 – Гістограма суб'єктивної ймовірності появи можливих значень коефіцієнта надлишку повітря в димових газах

Коректне застосування для побудови балансів споживання електричної енергії методів математичної статистики та теорії ймовірності потребує наявності досить великої кількості статистичних даних про обсяги енергоспоживання, про числові значення технологічних та інших виробничих параметрів, які отримати на реальному підприємстві в умовах обмеженої кількості ресурсів і часу практично неможливо. Іншим, більш перспективним шляхом вирішення цієї задачі є використання псевдо реальних статистичних даних, отриманих на основі експертного опитування та використанні методів імітаційного моделювання.

Як відомо, імітаційне моделювання може бути застосовано для отримання псевдо реальних статистичних даних при відсутності відповідної апріорної інформації про числові значення відповідних випадкових величин. Зазначені методи дозволяють описувати численні можливі варіанти поведінки деякого об'єкта, порівнювати та аналізувати отримані результати.

Тому другим етапом побудови електробалансів котельних з використанням ймовірно-статистичного підходу є формування псевдо реальних статистичних даних про

числові значення нечітких вихідних параметрів, необхідних для вирішення цієї задачі. З цією метою доцільно використовувати відомий метод Монте-Карло, який може бути реалізовано з застосуванням численних комп'ютерних програм, зокрема пакету програм Matlab.

На основі побудованих за результатами експертного опитування полігонів частот можливої появи значень всіх нечітких технологічних та інших виробничих параметрів, що розглядаються, здійснюється генерування псевдо реальних значень цих параметрів.

Очевидно, що при формуванні вибірок таких псевдо реальних даних про величини відповідних нечітких параметрів необхідно враховувати визначені експертами ймовірності, з якими реальні середні величини цих параметрів можуть знаходитися в межах тих чи інших інтервалів можливих їх значень.

Тому в процесі генерування зазначених псевдо реальних даних з кожного інтервалу, в якому може знаходитися фактичне значення невизначеного вихідного параметру випадковим чином вибирається певна кількість псевдо реальних величин, пропорційна відповідній ймовірності їх появи.

Для прикладу, при формуванні псевдо реальних значень коефіцієнта надлишку повітря в димових газах з застосуванням методу Монте-Карло випадковим шляхом формується вибірка з 100 елементів. При цьому для врахування ймовірності знаходження відповідних числових значень цього параметру 32 елементів вибірки, що генеруються, мають бути вибрані з першого інтервалу, якому відповідає ймовірність 57,5 %, 27 елементів – з другого інтервалу з рівнем ймовірності 49%, 22 – з інтервалу з ймовірністю 39,5 % та 19 – з останнього інтервалу. Дані інтервали та ймовірності представлені на рисунку 3.

Таким чином, результатом другого етапу побудови електробалансів котельних з використанням ймовірнісно-статистичного підходу є формування достатньо великих за обсягом вибірок псевдо реальних значень всіх нечітких виробничих параметрів, які у подальшому будуть використані для розрахунку нормативних витрат електричної енергії як окремими видами обладнання, так і на котельній в цілому.

Для ілюстрації подальших етапів побудови електробалансу котельної згенеруємо лише по сто псевдо реальних значень трьох нечітких виробничих параметрів: коефіцієнтів надлишку повітря в димових газах ($\alpha_{д.г}$) та в топці котла (α_t), а також робочого тиску рециркуляційного насоса ($H_{рец}$). Окремі одержані значення цих нечітких параметрів наведені в таблиці 2.

Таблиця 2 – Випадково згенеровані псевдо реальні значення нечітких параметрів

№ значення	$\alpha_{д.г}$	α_t	$H_{рец}$
1	1,311	1,063	17,31
2	1,319	1,065	16,92
3	1,321	1,067	17,84
4	1,333	1,069	16,81
5	1,345	1,06	17,99
...	...	...	...
51	1,359	1,073	18,32
52	1,45	1,075	19,66
53	1,435	1,083	20,96
...	...	...	...
100	1,473	1,099	23,55

Третім етапом побудови електробалансів котельної є формування розрахункових моделей її електроспоживання, тобто деякої, достатньо великої кількості псевдо реальних балансів споживання електричної енергії.

Формування розрахункових моделей електроспоживання являє собою окрему, досить складну ітеративну процедуру. На початку виконання цієї процедури на основі сформованих раніше вибірок псевдо реальних величин нечітких технологічних параметрів відбувається генерування можливих комбінацій їх числових значень.

Оскільки в таблиці 2 було згенеровано по сто величин для трьох параметрів, то з цієї кількості можна отримати 4455 100 варіантів різних комбінацій цих величин. В таблиці 3 частково представлені такі комбінації.

Таблиця 3 – Окремі комбінації псевдо реальних значень нечітких виробничих параметрів

№ комбінації	$\alpha_{д.г}$	$\alpha_{т}$	$H_{рец}$
1	1,311	1,063	17,31
2	1,311	1,063	16,92
3	1,311	1,063	17,84
4	1,311	1,063	16,81
5	1,311	1,063	17,99
...	...	...	...
1501	1,359	1,073	18,32
1502	1,359	1,073	19,66
1503	1,359	1,073	20,96
...	...	...	...
450245	1,45	1,075	17,31
450246	1,45	1,075	16,92
450247	1,45	1,075	17,84
...	...	...	...
4138961	1,473	1,063	20,96
4138962	1,473	1,065	20,96
4138963	1,473	1,067	20,96
...	...	...	...

Кожна з одержаних таким чином комбінацій псевдо реальних значень нечітких виробничих параметрів являє собою окремий набір чітко визначених вихідних даних, за якими може бути побудована одна з можливих розрахункових моделей електроспоживання котельної.

Така модель являє собою результат одноразового застосування існуючого, достатньо чіткого алгоритму визначення розрахунково-аналітичним шляхом обсягів нормативних витрат електроенергії всіма видами обладнання котельної, які відповідають одній з можливих комбінацій значень нечітких вихідних параметрів. Як зазначалося вище, алгоритм та методику виконання таких розрахунків визначають існуючі нормативно-методичні матеріали, зокрема [1].

Кожна з одержаних таким чином розрахункових моделей являє собою один з можливих варіантів витратної частини балансу споживання електроенергії, для кожного з яких має бути визначено відповідний загальний обсяг витрати електричної енергії на котельній (W). Результати визначення загального обсягу електроспоживання котельної за окремими розрахунковими моделями, які відповідають певним комбінаціям значень нечітких вихідних параметрів, представлені в таблиці 4.

При цьому, як вже зазначалося, кожному з вибірових значень будь-якого з нечітких виробничих показників відповідає певна, визначена експертним шляхом ймовірність їх появи. На підставі цих «індивідуальних» ймовірностей появи окремих величин нечітких вихідних параметрів може бути розрахована «сумарна» ймовірність появи кожної з можливих комбінацій значень всіх виробничих параметрів, необхідних для побудови балансів електроспоживання котельної. Така «сумарна» ймовірність (P) появи кожної з комбінацій можливих значень нечітких виробничих показників розраховується як добуток відповідних «індивідуальних» ймовірностей. Результат розрахунку зазначеної «сумарної» ймовірності для окремих комбінацій значень нечітких виробничих параметрів також наведено в таблиці 4.

Таблиця 4 – «Сумарна» ймовірність появи окремих комбінацій можливих значень нечітких виробничих параметрів та відповідні їм загальні обсяги електроспоживання котельної

№ комбінації	W, кВт·год	P
1	217123,325	0,086
2	217064,202	0,079
3	217203,672	0,095
4	217047,526	0,077
5	217226,412	0,097
...	...	...
1501	218111,719	0,168
1502	218314,862	0,164
1503	218511,939	0,141
...	...	...
450245	219473,947	0,119
450246	219414,823	0,11
450247	219554,293	0,134
...	...	...
4138961	220362,541	0,052
4138962	220370,016	0,058
4138963	220377,491	0,063
...	...	...

Кожен з одержаних таким чином варіантів електробалансу котельної необхідно перевірити з точки зору його правдоподібності. З цією метою загальний розрахунковий обсяг споживання електроенергії на котельній, який відповідає тому чи іншому варіанту її електробалансу, порівнюється з фактичними даними обліку витрат електроенергії і перевіряється, чи знаходиться різниця між цими величинами у межах певної, заздалегідь прийнятої припустимої похибки.

Наприклад, приймемо, що зазначена допустима похибка дорівнює 5 %. Якщо при цьому загальна витрата електроенергії на котельній за даними обліку протягом відповідного періоду складала 208699 кВт·год., то це означає, що правдоподібний загальний розрахунковий обсяг споживання електроенергії на котельній повинен лежати в межах 198264 – 219134 кВт·год.

Якщо ця умова не виконується, то одержаний таким чином варіант електробалансу котельної відкидається як неправдоподібний. Якщо ж зазначена умова виконується, то можна вважати, що побудований варіант електробалансу є правдоподібним і може використовуватись для подальшого аналізу.

Проаналізувавши дані, наведені в таблиці 4, можна сказати, що зазначеній умові відповідають не всі розрахункові моделі електроспоживання. У таблиці 5 представлені окремі варіанти електробалансу котельної, які пройшли перевірку на правдоподібність.

Таблиця 5 – «Сумарна» ймовірність появи окремих правдоподібних комбінацій можливих значень нечітких виробничих параметрів та відповідні їм загальні обсяги електроспоживання котельної

№	W, кВт·год	P
1	217123,325	0,086
2	217064,202	0,079
3	217203,672	0,095
4	217047,526	0,077
5	217226,412	0,097
...	...	...
1501	218111,719	0,168
1502	218314,862	0,164
1503	218511,939	0,141
...	...	...

Отже, результатом виконання кожної ітерації процедури формування розрахункових моделей споживання електричної енергії на котельній є один із можливих і правдоподібних варіантів витратної частини її електробалансу. Кожен з таких варіантів розрахункового електробалансу відповідає конкретній комбінації можливих значень нечітких виробничих параметрів, для якої відомою також є ймовірність її появи, зазначена в таблиці 5.

Наведена вище процедура побудови розрахункових моделей електроспоживання повторюється, починаючи з генерування нових можливих комбінацій числових значень нечітких виробничих параметрів, і продовжується до тих пір, доки не буде отримана необхідна, достатньо велика кількість правдоподібних варіантів балансів споживання електроенергії на котельній. Чим більшою буде кількість таких варіантів, тим більш достовірними будуть результати вирішення поставленої задачі.

Таким чином, останнім етапом застосування ймовірнісно-статистичного підходу до побудови балансів споживання електричної енергії на котельних є порівняння всіхoderжаних на попередньому етапі правдоподібних варіантів цих електробалансів за величиною «сумарної» ймовірності появи кожного з них. При цьому найбільш достовірним слід вважати той варіант витратної частини балансу споживання електроенергії, ймовірність появи якого є найбільшою. Наприклад, проаналізувавши дані, наведені в таблиці 5, слід сказати, що найбільш достовірним електробалансом котельної є варіант № 1501, який має «сумарну» ймовірність появи відповідної комбінації можливих значень нечітких виробничих параметрів, що складає 0,168.

Висновки

1. Використання розрахунково-статистичного методу, як правило, не дозволяє отримати достатньо достовірні та обґрунтовані баланси споживання електроенергії на котельних.
2. Електроспоживання виробничих об'єктів, зокрема котельних, значною мірою має випадковий характер, а їх електробаланси здебільшого складаються в умовах невизначеності вихідних даних, що вимагає застосування для їх побудови методів математичної статистики та теорії ймовірності.
3. Використання розроблених авторами методичних основ побудови балансів споживання електроенергії, що базуються на застосуванні ймовірнісно-статистичних методів та врахуванні існуючих аналітичних залежностей між обсягами виробництва продукції, параметрами технологічних процесів та споживанням електричної енергії, дозволяє значно підвищити достовірність та обґрунтованість електробалансів котельних.

Список використаних джерел

1. Міністерство з питань житлово-комунального господарства України, наказ від 02.02.2009 № 12 «Про затвердження Порядку розрахунку нормативних витрат електроенергії підприємствами теплоенергетики при виробництві, транспортуванні та постачанні (розподілі) теплової енергії» [Електронний ресурс]/ Сайт Кабінету Міністрів України - Режим доступу: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/z0172-09>.
2. Находов В.Ф. Виявлення «проблемних» ділянок схеми електропостачання для верифікації розрахункових електробалансів / В.Ф.Находов, О.В.Бориченко, Д.О.Іванько, І.В.Якобюк // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2015. - № 2/8(74). – С. 4 – 10.

УДК 621.311.001.57(063)

О.О. Закладний, канд. техн. наук, доцент, С.Л. Прядко ст. викладач

В.Г. Смоляр інженер, М.Ф. Куць, студент

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

ВПЛИВ ЯКОСТІ НАПРУГИ ЖИВЛЕННЯ НА ТЕРМІН СЛУЖБИ АСИНХРОННИХ ДВИГУНІВ

Істотний вплив на строк служби асинхронних двигунів спричиняє якість напруги живлення, що регламентується ГОСТ 13109-97. Відхилення, несиметрія та несинусоїдальність напруги, відхилення частоти – найбільш значимі фактори зменшення терміну служби та рівня енергоефективності асинхронних двигунів. За допомогою математичного моделювання показано, що при відхиленнях показників якості електричної енергії, які перевищують нормовані стандартами значення, нормальна робота електромеханічних систем або взагалі неможлива, або може бути забезпечена лише у випадку значного зменшення навантаження.

Ключові слова: якість напруги живлення, термін служби, асинхронний двигун.

Significant effect on the lifetime of asynchronous motors causes the quality of the supply voltage, which is regulated by GOST 13109-97. Deviation, asymmetry and nesynusoidalnist voltage, frequency deviation - the most important factors reducing the life and energy efficiency induction motors. Using mathematical modeling showed that the variances of quality indices of electricity, exceeding the normalized standard value, normal operation of electromechanical systems, or even impossible, or may be provided only significant decrease in load.

Key words: quality of supply voltage, durability, induction motor.

Вступ. Робота асинхронного двигуна (АД) в умовах неякісної електроенергії призводить до зниження рівня енергоефективності та працездатності устаткування. Зменшення терміну служби має місце навіть у випадку, коли показники якості електричної енергії змінюються у межах припустимих стандартами значень.

За несиметрії напруги відбувається зростання температури всіх вузлів АД, проте найбільших теплових навантажень зазнає лобова частина найбільш навантаженої фази статора. За несиметрії напруги 4%, так само як і в разі зменшення напруги на 10%, термін служби АД скорочується вдвічі [1]. Струми зворотної послідовності викликають додаткове нагрівання, що також призводить до зниження строку служби АД.

Аналіз стану питання. У [1] наведено вираз для розрахунку температури обмоток τ_{2U} АД у функції несиметрії напруги K_{2U}

$$\tau_{2U} = \tau[1 + 2(K_{2U}\%)^2].$$

З виразу видно, що при $K_{2U} = 3,5\%$ температура обмоток АД підвищується на 25% (рис. 1).

Згідно [2] додаткове перегрівання обмотки статора внаслідок несинусоїдальності напруги $\Delta\tau_{nc}$ визначається за формулою

$$\Delta\tau_{nc} = 42\Delta\tau \sum_{v=2}^n \frac{U_v^2}{v\sqrt{v}}$$

Також додаткове перегрівання $\Delta\tau_{nc}$ можна визначити з формули

$$\Delta\tau_{nc} = \tau \frac{\Delta P_{mv}}{\Delta P_m},$$

де ΔP_{mv} - втрати в міді, зумовлені вищими гармоніками напруги [2].

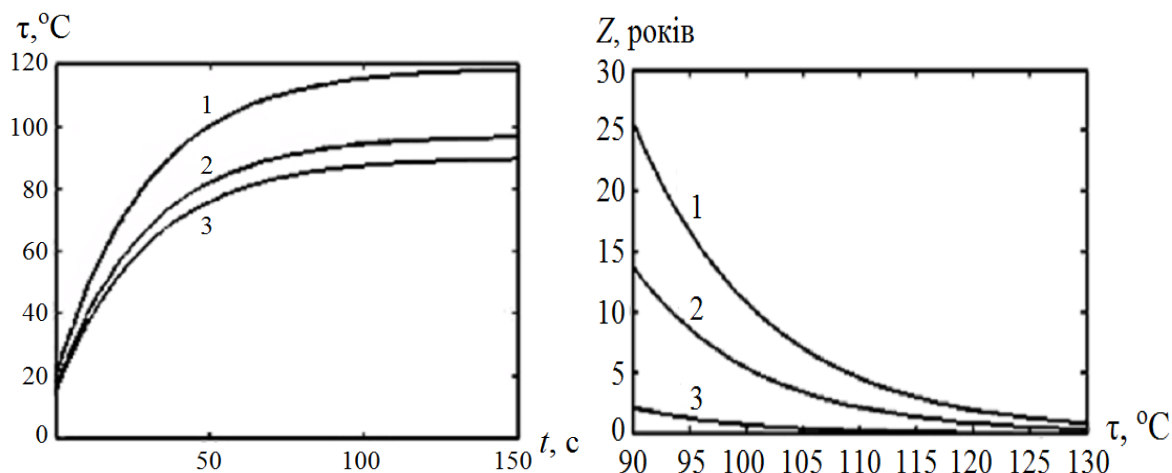


Рис. 1 Криві нагрівання АД (а) та залежності строку служби ізоляції класу А від коефіцієнта несиметрії напруги і температури ізоляції (б): 1 – симетрична напруга; 2 – несиметрія 2%, нормально допустима згідно ГОСТ 13109-97; 3 – несиметрія 4%.

У [1] наведено спрощену формулу визначення перегрівання обмоток внаслідок несинусоїдальності й несиметрії напруги живлення

$$\Delta\tau_{\text{пер}} = \frac{280}{b} \left(1,55K_{2U}^2 + 1,39 \sum_{v=2}^{\infty} \frac{U_v^2}{v\sqrt{v}} \right)$$

де $\Delta\tau_{\text{пер}} = \tau_{\text{пер}} - \tau_{\text{н}}$.

Відносно значення строку служби з урахуванням перегрівання внаслідок несинусоїдальності й несиметрії напруги живлення

$$z = \exp \left[-280 \left(1,55K_{2U}^2 + 1,39 \sum_{v=2}^{\infty} \frac{U_v^2}{v\sqrt{v}} \right) \right].$$

Якщо АД тривалий час працює на пониженій напрузі, то через прискорене зношування ізоляції строк служби його зменшується. Строк служби ізоляції Z можна визначити за формулою $Z = Z_{\text{н}}/R$, де $Z_{\text{н}}$ - строк служби ізоляції двигуна для номінальних напруги і

навантаження, R - коефіцієнт, який залежить від величини і знаку відхилення напруги, а також від коефіцієнта завантаження двигуна [3]

$$R = (478\delta U_y^2 - 7,55\delta U_y + 1)k_3^2 \text{ при } -0,2 < \delta U_y < 0; R = k_3^2 \text{ при } 0,2 \geq \delta U_y > 0.$$

Мета роботи. Дослідити вплив відхилень показників якості електроенергії на строк служби АД.

Методики, матеріали і результати досліджень. З погляду нагрівання АД небезпечнішими є негативні відхилення напруги. На рис. 2 зображено залежності строку служби ізоляції обмоток АД для різних коефіцієнтів завантаження й різних значень негативного відхилення напруги.

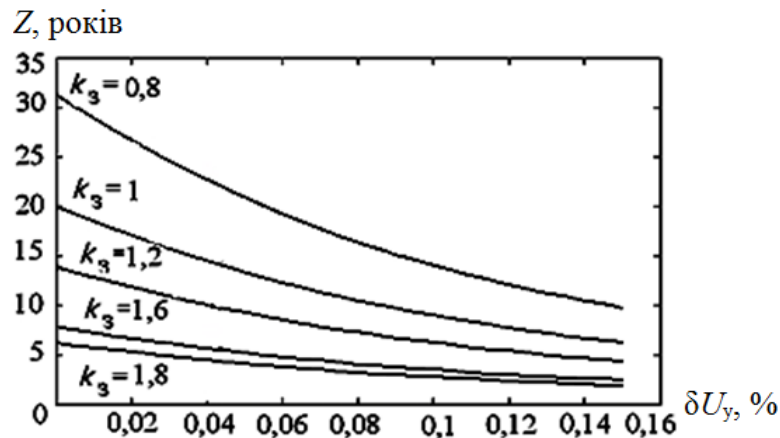


Рис. 2 Графіки залежності строку служби ізоляції від коефіцієнта завантаження та негативного відхилення напруги

Виконано моделювання роботи АД потужністю 40кВт відповідно до типового графіка електричного навантаження насосної установки в умовах неякісної напруги живлення.

На рис. 3 наведено змодельовані параметри АД в умовах неякісної напруги живлення, що виражається у відхиленні напруги від номінальної.

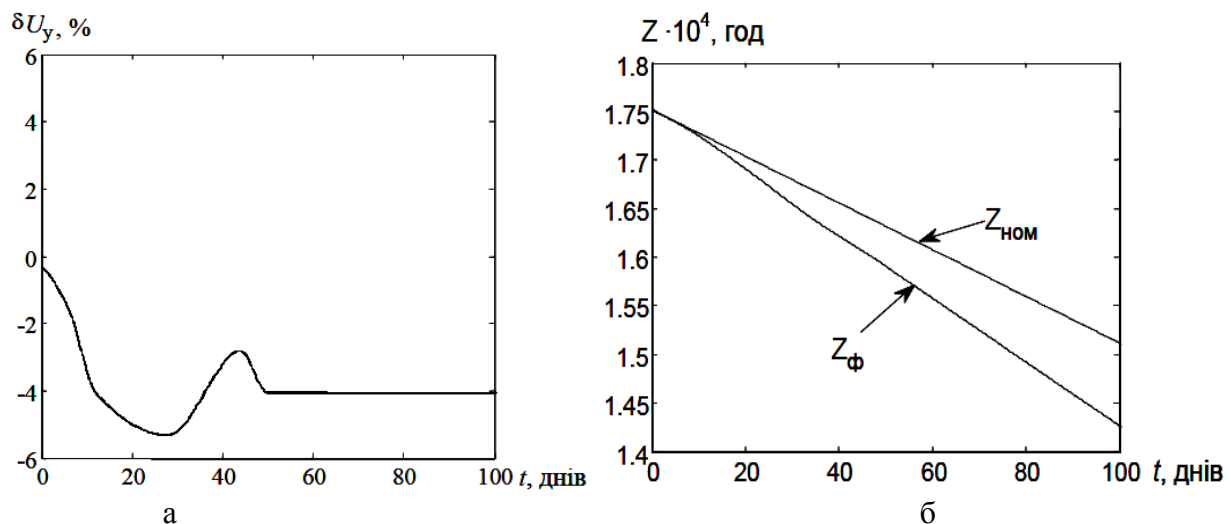


Рис. 3 Результати моделювання характеристик насосної установки в умовах відхилення напруги живлення від номінальної: а - відхилення напруги; б - залишковий ресурс.

З рис. 3 видно, що залишковий ресурс у момент найбільшого значення відхилення напруги зменшується з 730 днів до 485.

На рис. 4 наведено змодельовані параметри АД в умовах живлення неякісною напругою, що виражається у несиметрії напруги.

Як видно з рис. 4, залишковий ресурс у момент найбільшої несиметрії зменшується з 730 днів до 260.

Висновки. Досліджено вплив відхилень показників якості електроенергії на строк служби АД. Математичне моделювання роботи АД насосної установки в умовах неякісної напруги живлення підтвердило, при відхиленнях показників якості електричної енергії, які перевищують нормовані стандартами значення, нормальна робота АД або взагалі неможлива, або може бути забезпечена лише у випадку значного зменшення навантаження.

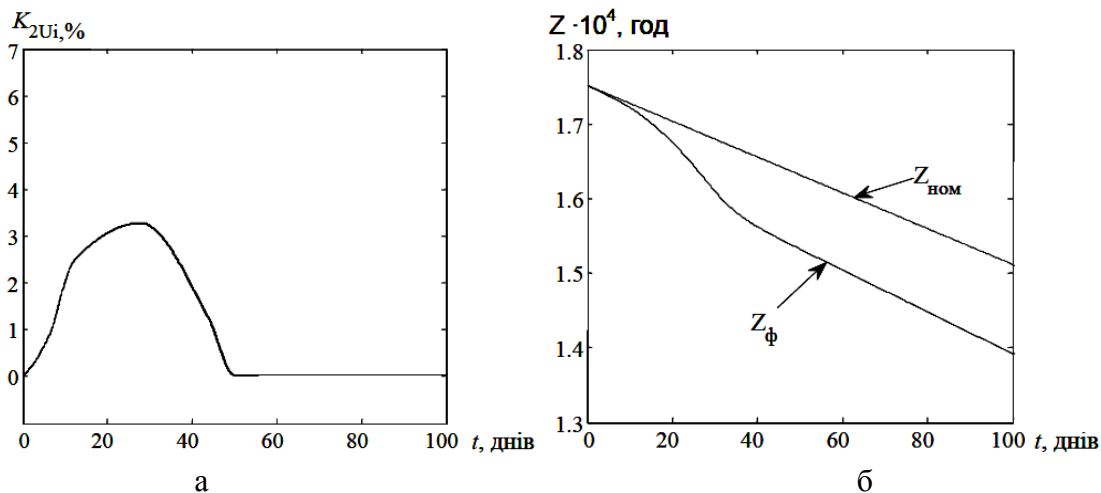


Рис. 4 Результати моделювання характеристик насосної установки в умовах несиметрії напруги живлення: а - коефіцієнт несиметрії за оберненою послідовністю; б - залишковий ресурс.

Література.

8. Шидловский А.К. Повышение качества энергии в электрических сетях / А.К. Шидловский, В.Г. Кузнецов – Киев: Наук. думка, 1985. – 268 с.
9. Жежеленко И.В. Высшие гармоники в системах электроснабжения промпредприятий / И.В. Жежеленко. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 160 с.
10. Суднова В.В. Качество электрической энергии / В.В. Суднова. - <http://www.test-electro.ru>

УДК 620.92

Дейко Б.В., магістрант, керівник Іншеков Є.М., к.т.н., доцент

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут» «Інститут енергозбереження та енергоменеджменту», м. Київ, Україна

МЕТОДИКА ПОБУДОВИ ЕЛЕКТРИЧНИХ БАЛАНСІВ ПРОМИСЛОВИХ УСТАНОВОК ТА ОЦІНКА ЇХ ВТРАТ

Анотація: У даній статті розглянуто проблему визначення втрат енергії у промислових установках, а саме оцінки втрат у перетворювачах, робочих машинах і апаратах. Запропоновано підхід до побудови електричних балансів промислових установок, за допомогою яких можливо виявити резерви економії електричної енергії на підприємстві.

Abstract: In this article discuss the problem of determining of the losses in industrial installations, such as losses estimation in the converters, technological equipment and devices. Proposed approach, based on creation of the energy balance of the industrial installations in which reserves of the energy savings at the enterprise may identify.

В умовах постійного зростання цін на енергоносії, а також скорочення світових запасів природних ресурсів, зростає роль високоефективних способів використання енергії [1].

Ефективним способом економії ресурсів та захисту навколишнього середовища є пошук резервів економії енергетичних ресурсів. Як один з шляхів вирішення проблеми потреб в енергетичних ресурсах пропонується розробка електричних балансів промислових установок та пошуку на їх основі шляхів покращення ефективності енергоспоживання [2].

До електроспоживачів відносяться різні робочі машини і механізми з електроприводом, електричні печі і апарати, електрозварювальне обладнання, електроосвітлювальні пристрої і

т.п.

У загальному випадку кількість підведеної до установки електроенергії визначається:

$$W = W_e + W_{вн}, \quad (1)$$

де W_e - кількість підведеної до установки електроенергії за даними приладового обліку або вимірів;

$W_{вн}$ - надходження енергії від внутрішніх джерел процесу в результаті хімічних і фізичних перетворень (має місце тільки в технологічних процесах при тепловій обробці матеріалів); у силових і всіх інших процесах $W_{вн}$ приймається рівним нулю.

Показання приладу в кВт·год переводяться в ГДж у відповідності з перерозрахунковою таблицею [3].

Розрахункова кількість підведеної до установки енергії визначається:

$$W_p = W_{e.p} + W_{вн}, \quad (2)$$

де $W_{e.p}$ - величина розрахункової витрати електроенергії визначається як різниця між W_e і витратами електроенергії на неробочі (холості) ходи W_x і пуски W_n :

$$W_{e.p} = W_e - (W_x + W_n), \quad (3)$$

У процесах, де $W_{вн}$ відсутня, величина $W_{e.p}$ дорівнює W_p .

У тих випадках, коли виміри проводяться не лічильником, а ватметром, величина $W_{e.p}$ з (3) визначається як добуток середньої потужності за час машинної роботи P_m на час цієї роботи τ_m :

$$W_{e.p} = P_m \cdot \tau_m \cdot 3,6 \cdot 10^{-3} \text{ (ГДж)}, \quad (4)$$

Рівняння електричного балансу установки, віднесене до часу продуктивної роботи (машинний, апаратний час), τ_m , у загальному виді може бути представлено [4]:

$$W_p = W_1 + W_o + W_m, \quad (5)$$

де W_1 – корисна витрата енергії;

W_o – втрати в перетворювачі установки (двигуні, індивідуальному трансформаторі, випрямлячі);

W_m – втрати в робочій машині (апараті).

Незважаючи на різноманіття електроспоживаючих установок і процесів, зазначена вище уніфікація структури балансу установки цілком припустима. Вона ґрунтується на деяких загальних ознаках, характерних для більшості електроустановок. До них відносяться, наприклад, наявність у багатьох установок перетворювача – елемента, що забезпечує перетворення підведеної до установки електричної енергії або в електричну енергію іншої якості, (постійного струму, іншої напруги або частоти), як це має місце в різних перетворювачах і трансформаторах, або в механічну енергію – електроприводах силових споживачів (верстатів, кранів, вентиляторів і т.п.).

У зв'язку з подібністю методів розрахунку й аналізу втрат у перерахованих вище установках з метою спрощення форм балансів усі ці установки об'єднані під одним загальним поняттям «перетворювач».

Для зручності аналізу втрати в перетворювачі і робочій машині установки доцільно підрозділяти на постійні і змінні.

Втрати в перетворювачі установки (двигуні, випрямлячі) визначаються

$$Q_o = Q_p (1 - \eta_o), \quad (6)$$

де η_o - ККД перетворювача за час продуктивної роботи; приймається для фактичного завантаження перетворювача в цей період по кривих ККД, що є в паспортах або каталогах обладнання. Постійні втрати в перетворювачі можуть бути визначені з наступного виразу (в

позначеннях фігурує Q , оскільки передбачається остаточне переведення до теплових величин):

$$Q_{\partial.n} = 3,6 \cdot 10^{-3} \cdot P_{x.\partial} \cdot \tau_m, \quad (7)$$

$$\text{де} \quad P_{x.\partial} = P_n (\alpha_{\partial.n} + k_{з.х}^2) \cdot \frac{1 - \eta_{\partial.n}}{\eta_{\partial.n}}. \quad (8)$$

У цих формулах:

$\alpha_{\partial.n}$ - доля постійних втрат у перетворювачі по паспорту. Для більшості короткозамкнутих двигунів вона приблизно може бути прийнята рівною 0,45;

$k_{з.х}$ - коефіцієнт завантаження перетворювача при холостому ході робочої машини;

$\eta_{\partial.n}$ - номінальний ККД перетворювача за паспортом.

Змінні втрати можуть бути обчислені по залишку між загальними, визначеними по виразу (6), і постійними втратами. Для найбільш розповсюджених двигунів з короткозамкнутим ротором їхня величина може бути обчислена за виразом:

$$Q_{\partial.зм} = P_n \cdot \tau_m \cdot 0,55 \cdot (1,1 \cdot k_z^2 - k_{з.х}^2) \cdot \frac{1 - \eta_{\partial.n}}{\eta_{\partial.n}} \cdot 3,6 \cdot 10^{-3} \text{ ГДж}, \quad (9)$$

де k_z - коефіцієнт завантаження двигуна в період продуктивної роботи.

Втрати в робочих машинах і апаратах Q_m можуть бути визначені з балансу установки, якщо відомі інші статті:

$$Q_m = Q_p - (Q_1 + Q_{\partial}), \quad (10)$$

Величина Q_m для печей являє собою суму окремих втрат у навколишнє середовище: через кладку - $Q_{5кл}$, у системі охолодження - $Q_{5охл}$, з випромінюванням через вікна - $Q_{5випр}$, з акумуляцією в транспортних пристроях і кладці - $Q_{5охл}$ і $Q_{5ак}$, а також втрат тепла із шихтовими газами, що вибиваються - $Q_{2виб}$ і від хімічної неповноти згоряння елементів шихти - $Q_{3виб}$.

Вона може бути розрахована як по відповідних формулах, розглянутим у підході до складання теплових балансів паливоспоживаючих установок, так і в порядку перевірки за виразом (10).

В установках з безпосереднім споживанням механічної енергії у виробничому процесі (металорізальні верстати, крани, транспортери і т.п.) втрати в робочій машині Q_m дорівнюють втратам у системі передачі $Q_{м пров}$.

Величина втрат у системі передачі визначається:

$$Q_{м пер} = (Q_p - Q_{\partial}) \cdot (1 - \eta_{пер}), \quad (11)$$

де $\eta_{пер}$ - ККД передачі, прийнятий по каталожним даним для відповідного виду передачі.

У випадку, якщо має місце велике число послідовних ланок передачі, $\eta_{пер}$ визначається як добуток ККД окремих ланок [5]:

$$\eta_{пер} = \prod_{i=1}^n \eta_{i пер}. \quad (12)$$

Вираз (11) доцільно використовувати при визначенні Q_m як перевірочний спосіб. У робочих машинах з безпосереднім споживанням механічної енергії в процесі доцільно визначати Q_m по складових і потім, складаючи їх, одержувати повні втрати.

Постійні втрати в робочих машинах варто визначати за виразом:

$$Q_{м n} = 3,6 \cdot 10^{-3} \cdot (P_x - P_{x.\partial}) \cdot \tau_m \text{ (ГДж)}, \quad (13)$$

У зв'язку з тим, що змінні втрати у верстатів, прокатних верстатів і більшості підйомно-транспортних механізмів пропорційні коефіцієнтам завантаження k_z , у першому ступені їх приблизно можна визначити:

$$Q_{\text{зм}} = 3,6 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{\alpha_{\text{зм}} \cdot k_{\text{з}} \cdot \tau_{\text{м}}}{\alpha_{\text{п}}} \cdot (P_{\text{х}} - P_{\text{х,о}}) \text{ (ГДж)}, \quad (14)$$

де $\alpha_{\text{п}}$ і $\alpha_{\text{зм}}$ - відповідно доля постійних і змінних втрат у робочій машині при номінальному завантаженні.

Для більшості верстатів і механізмів доля постійних втрат складає 0,6 і змінних - 0,4.

У силових процесах з безпосереднім споживанням механічної енергії в процесі величина корисної витрати електроенергії Q_1 визначається [6]:

$$Q_1 = Q_p - (Q_d + Q_{1,\text{пер}}), \quad (15)$$

У промислових електричних печах корисна витрата енергії має ті ж складові, що і корисна витрата Q_1 у промислових печей, що працюють на паливі. Тому визначення Q_1 для електричних печей рекомендується робити аналогічно до розрахунку для печей на паливі.

У зварювальних процесах під корисною витратою енергії розуміється її теоретична витрата на розплавлення маси металу зварювального шва, а також обмазки електродів і флюсів і тому може розраховуватися за тими ж формулами.

Корисна витрата енергії в освітлювальних установках визначається як добуток підведеного до установки кількості електроенергії на ККД власне освітлювальних приладів (ламп) і ККД освітлювальної арматури.

У силових установках, зв'язаних з перекачуванням рідин і газів, корисна витрата визначається по формулах, що будуть приводитися нижче.

Корисна витрата енергії в компресорних установках визначається як теоретична витрата на ізотермічне стискування.

Корисна витрата енергії в насосних установках визначається (в ГДж):

$$Q_1 = 0,98 \cdot G \cdot H \cdot 10^{-5} \text{ (ГДж)}, \quad (16)$$

де G і H - відповідно кількість перекачаної насосами рідини в тоннах і її напір (тиск) у метрах.

Висновки

В даній роботі наведена методика побудови електричного балансу промислової установки. Баланс дозволяє оцінити складові видаткової частини і визначити варіанти економії електричної енергії, які можливі за рахунок зменшення втрат в перетворювачі установки (двигуні, індивідуальному трансформаторі, випрямлячі) та втрат в робочій машині (апараті). Дане удосконалення дозволяє підвищити ефективність використання енергетичних ресурсів та веде до покращення стану енергетичного господарства підприємства.

Перелік використаних джерел

1. Данилов Н.И., Щелоков Я.М. Энциклопедия энергосбережения. Екатеринбург: ИД «Сократ», 2002. - 352 с.
2. Гнедой Н.В., Маляренко Е.Е. Энергоэффективность и определение потенциала энергосбережения в нефтепереработке. — К.: Наук. думка, 2008. — 182 с.
3. Ефимов А.Л., Данилов О.Л. Энергобалансы промышленных предприятий. Учебное пособие. — М.: изд-во МЭИ, 1999. — 106 с.
4. Архипов Л.И., Гаряев А.Б., Горбенко В.А. Методы составления энергобалансов промышленных предприятий. Учебное пособие. Под ред А.Л.Ефимова.. — М.: изд-во МЭИ, 2000. — 48 с.
5. Методическое пособие по составлению ТЭБ машиностроительного предприятия. — М.: «Вилес», 2002. — 83 с.
6. Методика составления и анализа энергетических балансов промышленных предприятий. — Л.: ЛИЭИ им. П.Тольятти, 1971. — 92 с.

УДК 621.311:65.035

Находов В.Ф., к.т.н., доц., Замулко А.И., к.т.н., доц.,
Мохаммад Аль Шарари, аспирант, Мединцева Д.А., магистрант
Национальный технический университет Украины
«Киевский политехнический институт»

ОЦЕНКА ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ЗАТРАТ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ НА ПОКРЫТИЕ НЕРАВНОМЕРНЫХ ГРАФИКОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ

"Проведено исследование дополнительных затрат энергосистемы, связанных с использованием определенного количества тепловых энергоблоков в регулируемой части графика нагрузки энергосистемы. Результаты работы включают в себя выводы о целесообразности использования ТЭС в качестве маневренных мощностей."

"The study of energy system extra expenses associated with the use of a certain of units thermal power in the regulated part of the power system load graphic . The results include the feasibility of using thermal power stations conclusions as maneuvering capacity."

Введение

Суточные графики нагрузки объединенной энергетической системы (ОЭС) Украины весьма неравномерны. Для них характерно заметное повышение спроса потребителей на электрическую мощность в вечерние часы суток и значительный его спад в ночной период. Очевидно, что необходимость покрытия неравномерной нагрузки негативно влияет на режимы производства и передачи электроэнергии, что, в свою очередь, приводит к снижению надежности электроснабжения, ухудшению качества электрической энергии, а также отрицательно сказывается на эффективности функционирования энергосистемы [1].

Несмотря на наличие в энергосистеме значительного потенциала незагруженных генерирующих мощностей, надежное и качественное удовлетворение спроса потребителей на электрическую энергию было и остается сложной задачей для украинской энергетики. Одной из причин такого состояния дел является значительный износ оборудования электростанций и сетей, которое давно исчерпало свой ресурс. Другой, не менее важной причиной является проблема дефицита маневренных генерирующих мощностей в энергосистеме.

На сегодняшний день оперативное управление режимами производства электроэнергии в объединенной энергосистеме Украины осуществляется главным образом за счет использования маневренных возможностей энергоблоков тепловых электростанций генерирующих компаний (ТЭС ГК), а также путем изменения количества этих энергоблоков, находящихся в работе в течение суток.

Полностью исключить энергоблоки ТЭС из графика покрытия нагрузки энергосистемы с целью сокращения их ежесуточных пусков-остановок невозможно, поскольку без их участия нельзя обеспечить покрытие неравномерного спроса потребителей на электрическую мощность в дневное время, в частности, в периоды максимальной нагрузки энергосистемы. К тому же, энергоблоки ТЭС чаще всего остаются единственным средством регулирования режимов производства электроэнергии в ночной период [2].

Очевидно, что вынужденное использование энергоблоков ТЭС в качестве маневренных мощностей энергосистемы неизбежно связано со значительными дополнительными затратами на их эксплуатацию.

Материалы и результаты исследования

Прежде всего, речь идет о дополнительных расходах топлива на ежедневные пуски тепловых энергоблоков, которые используются в регулируемой части графика электрической

нагрузки объединенной энергосистемы. В частности, для нормального прохождения ночного минимума нагрузки энергосистемы ежедневно на 4...6 часов отключается значительное количество энергоблоков и корпусов дубль-блоков ТЭС, после чего эти энергоблоки снова вводятся в работу на дневной период. Причем число отключаемых на ночь тепловых энергоблоков, как правило, ежегодно возрастает.

Динамика изменения фактического количества ежесуточных пусков-остановов энергоблоков ТЭС, которые использовались только в регулируемой части графика электрической нагрузки энергосистемы в течение 1997 – 2008 годов, приведена на рисунке 1.

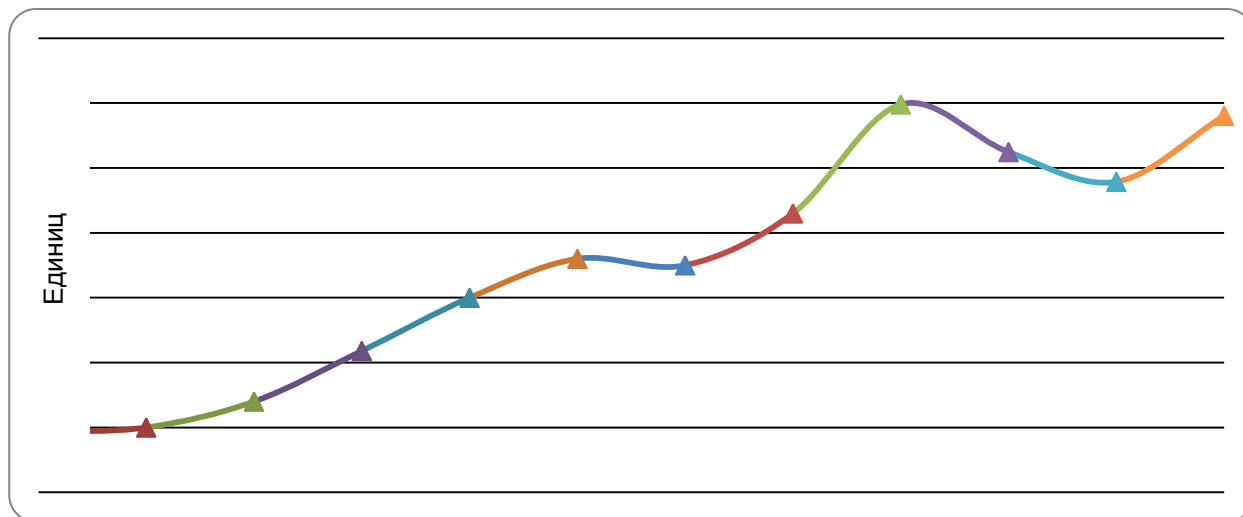


Рис. 1. Динамика изменения количества ежесуточных пусков-остановов энергоблоков ТЭС ГК на время ночного провала нагрузки энергосистемы.

На время ночного провала нагрузки энергосистемы в основном выводятся в холодный резерв (останавливаются) тепловые энергоблоки мощностью 150 и 200 МВт, а также корпуса блоков 300 МВт. То есть, можно принять, что средняя мощность энергоблоков ТЭС, используемых в регулируемой части графика нагрузки энергосистемы, составляет 200 МВт.

Таким образом, на основании результатов прогнозирования конфигурации характерных суточных графиков электрической нагрузки энергосистемы, которое периодически осуществляется НЭК «Укрэнерго», может быть определена необходимая величина маневренной мощности энергоблоков ТЭС ($P_{\text{ман.}}$), а также среднее количество тепловых энергоблоков, которые ежесуточно необходимо задействовать в регулируемой части графика нагрузки энергосистемы ($N_{\text{ман.ср.}}$):

$$N_{\text{ман.ср.}} = \frac{P_{\text{ман.}}}{200} \quad (1)$$

Для пуска одного энергоблока ТЭС из холодного резерва необходимо от 50 до 100 тис. куб.м природного газа (то есть, в среднем 75 тис. куб.м). Следовательно, при ежесуточном выведении в холодный резерв в ночной период соответствующего количества ($N_{\text{ман.ср.}}$) энергоблоков ТЭС годовые дополнительные затраты на топливо для их пусков ($B_{\text{т.пуск}}$) могут быть определены как:

$$B_{\text{т.пуск}} = N_{\text{ман.ср.}} \cdot 75 \cdot 365 \cdot C_{\text{п.г.}}, \quad (2)$$

где $C_{\text{п.г.}}$ – цена природного газа, грн./1000 куб. м.

Однако это только стоимость топливной составляющей. Реальные дополнительные затраты на пуски тепловых энергоблоков, которые останавливаются на ночной период, будут несколько большими. Исходя из стоимости пусков энергоблоков ТЭС, установленной ГП «Энергорынок» для определения оптовой рыночной цены на электроэнергию, полные дополнительные затраты на ежесуточные пуски этих энергоблоков ($Z_{\text{доп.пуск}}$) в среднем на 7 %

превышают стоимость соответствующей топливной составляющей.

Следующая значительная составляющая дополнительных затрат ТЭС ГК, часть энергоблоков которых задействованы в регулируемой части графика нагрузки энергосистемы, возникает в связи с энергетически неэффективными режимами работы этих энергоблоков. Речь идет о том, что на тепловых энергоблоках, участвующих в регулировании графиков покрытия нагрузки энергосистемы, существенно возрастает удельный расход условного топлива на производство электроэнергии.

Исследования, выполненные авторами этой статьи, свидетельствуют, что между средними фактическими удельными расходами условного топлива энергоблоками ТЭС ($b_{у.т.}$) и фактическими коэффициентами использования их установленной мощности ($K_{и.у.м.}$) существует очень тесная статистическая зависимость. Это подтверждается, в частности, численным значением коэффициента парной корреляции между значениями указанных показателей, вычисленной на основании соответствующих статистических данных Министерства энергетики и угольной промышленности Украины, который равен – 0,945.

Следовательно, для количественной оценки дополнительных затрат тепловых электростанций, связанных с использованием их энергоблоков в регулируемой части графика нагрузки энергосистемы, прежде всего, необходимо на основании соответствующих статистических данных построить математическую модель зависимости между упомянутыми показателями, простейшей из которых может быть уравнение парной линейной регрессии, имеющее общий вид:

$$b_{у.т.} = A - B \cdot K_{и.у.м.}, \quad (3)$$

где A и B – параметры (константы) уравнения регрессии.

Используя математическую модель (3), можно определить ожидаемое значение среднего удельного расхода условного топлива этими энергоблоками. Причем необходимо определить два ожидаемых значения данного показателя, соответствующие разным ожидаемым величинам коэффициента использования установленной мощности энергоблоков ТЭС.

Первое из ожидаемых значений удельного расхода топлива ($b_{у.т.рег.}$) следует определять на основании прогноза характерных суточных графиков электрической нагрузки энергосистемы на соответствующую перспективу, исходя из предположения, что энергоблоки тепловых электростанций по-прежнему будут использоваться в регулируемой части указанных графиков нагрузки.

Второе ожидаемое значение удельного расхода условного топлива ($b_{у.т.баз.}$) необходимо вычислять на основании тех же прогнозируемых графиков нагрузки энергосистемы, но предполагая, что энергоблоки ТЭС будут задействованы только в нерегулируемой (базовой) части графиков нагрузки.

Количественную оценку дополнительных затрат энергосистемы, связанных с энергетически неэффективными режимами работы тепловых энергоблоков, используемых в качестве маневренных генерирующих мощностей ($Z_{доп.рег.}$) можно получить следующим образом:

$$Z_{доп.рег.} = (b_{у.т.рег.} - b_{у.т.баз.}) \cdot W \cdot K_{тэс} \cdot \Pi_{у.т.}, \quad (4)$$

где W – прогнозируемый объем производства электроэнергии на соответствующий период, млрд. кВт·ч; $K_{тэс}$ – удельный вес электроэнергии, вырабатываемой энергоблоками ТЭС ГК, в общем объеме ее производства, о.е.; $\Pi_{у.т.}$ – цена единицы условного топлива, зависящая от структуры расхода натурального топлива, используемого тепловыми энергоблоками для выработки электроэнергии, грн./т.

При этом, определяя цену единицы условного топлива, следует принимать во внимание, что стоимость натурального топлива, используемого в энергетически неэффективных режимах работы энергоблоков, заметно возрастает, поскольку увеличивается расход более дорогого «подсветочного» топлива (природного газа или мазута), которое добавляется к основному топливу (углю) для поддержки устойчивой работы энергоблоков ТЭС в таких режимах.

Еще одна составляющая дополнительных затрат энергосистемы, возникающих вследствие использования энергоблоков тепловых электростанций в регулируемой части графиков нагрузки, связана с тем, что применение таких энергоблоков в качестве маневренных генерирующих мощностей не предусмотрено их конструкцией. Работа энергоблоков ТЭС в режиме частого изменения их нагрузки неизбежно приводит к повышенному износу оборудования, к снижению надежности его работы, к повышенной аварийности и, следовательно, к увеличению затрат на плановые и внеплановые ремонты таких энергоблоков.

Непосредственный расчет дополнительных затрат энергосистемы в связи со снижением надежности работы и повышением аварийности тепловых энергоблоков представляет собой весьма сложную задачу. Однако оценка указанных дополнительных затрат может быть получена косвенным путем на основе анализа статистических данных Министерства энергетики и угольной промышленности Украины о фактических ежегодных расходах ТЭС на выполнение ремонтов их энергоблоков.

При этом упомянутые статистические данные необходимо рассматривать и анализировать отдельно для двух «разновидностей» тепловых электростанций: тех станций, которые систематически (или достаточно часто) используются в регулируемой части графиков нагрузки, и для тех ТЭС, энергоблоки которых никогда (или очень редко) используются в качестве маневренных генерирующих мощностей энергосистемы.

Очевидно, что достаточно объективная оценка дополнительных затрат энергосистемы в связи со снижением надежности работы тепловых энергоблоков, задействованных в регулируемой части графиков нагрузки ($Z_{\text{доп.рем.}}$), представляет собой разность между среднестатистическими значениями расходов на ремонты, имевшими место на ТЭС первой и второй «разновидности».

Таким образом, общие дополнительные затраты тепловых электростанций, связанные с вынужденным использованием их энергоблоков в качестве маневренных генерирующих мощностей энергосистемы, могут быть определены как сумма приведенных выше трех составляющих:

$$Z_{\text{доп.общ.}} = Z_{\text{доп.пуск}} + Z_{\text{доп.реж.}} + Z_{\text{доп.рем.}} \quad (5)$$

Однако, оценивая общую величину дополнительных затрат энергосистемы, связанных с использованием определенного количества тепловых энергоблоков в регулируемой части графика нагрузки энергосистемы, следует также принимать во внимание, что коэффициент использования установленной мощности этих энергоблоков заметно снижается. То есть снижается объем производства и продажи электроэнергии тепловыми электростанциями генерирующих компаний. Эти электростанции несут также дополнительные расходы, связанные с необходимостью выполнения работ по консервации неработающего оборудования, а также с содержанием персонала энергоблоков, которые не включены в график покрытия нагрузки энергосистемы. Все эти составляющие затрат и убытков ТЭС также требуют оценки и включения в состав рассматриваемых общих дополнительных затрат энергосистемы, что существенно увеличивает их размеры.

Очевидно, что указанных общих дополнительных расходов тепловых электростанций генерирующих компаний можно избежать или существенно сократить их величину, если большая часть энергоблоков ТЭС будут использоваться в базовой части графиков нагрузки энергосистемы. Поэтому приведенные выше дополнительные расходы тепловых электростанций, с другой стороны, необходимо рассматривать как экономию финансовых

затрат, которая появится в энергосистеме в случае уменьшения количества тепловых энергоблоков, которые будут использоваться в качестве маневренных генерирующих мощностей.

Выводы

1. Оперативное управление режимами производства электроэнергии в объединенной энергосистеме Украины осуществляется главным образом за счет использования маневренных возможностей энергоблоков тепловых электростанций генерирующих компаний (ТЭС ГК), а также путем изменения количества этих энергоблоков, находящихся в работе в течение суток.
2. Вынужденное использование энергоблоков ТЭС в качестве маневренных мощностей энергосистемы неизбежно связано со значительными дополнительными затратами на их эксплуатацию.
3. Основными составляющими дополнительных расходов ТЭС, энергоблоки которых используются в качестве маневренных генерирующих мощностей энергосистемы, являются стоимость топлива на ежедневные их пуски, дополнительные затраты на топливо в связи с энергетически неэффективными режимами работы этих энергоблоков, а также увеличение затрат на их ремонты.
4. Указанных дополнительных расходов тепловых электростанций генерирующих компаний можно избежать или существенно сократить их величину, если большая часть энергоблоков ТЭС будут использоваться в базовой части графиков нагрузки энергосистемы.

Литература

1. Находов В.Ф., Замулко А.И., Мохаммад Аль Шарари, Исаенко Ю.Н. Определение первоочередных направлений совершенствования дифференцированных тарифов на электрическую энергию // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2015. – №1(78).24-32. <http://journals.urau.ua/eejet/article/view/55785>
2. Заключительный отчет о выполнении НИР «Управление спросом потребителей на электрическую мощность и энергию путем дальнейшего развития системы дифференцированных по времени тарифов». – Киев, - ИЭЭ НТУУ «КПИ». - 2009, - 240 с.

УДК 621.039

Соколовський П.В., студ., Соколовська О.М., студ., науковий керівник Басок Б.І., д.т.н., проф., Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

ЗАСТОСУВАННЯ МАНЕВРОВОГО РЕЖИМУ АЕС ДЛЯ ЗМЕНШЕННЯ НІЧНОГО ПРОВАЛУ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ

Розглянуто можливість використання регулювання потужності енергоблоків атомних електростанцій для зменшення нічного провалу електроспоживання.

The possibility to using power control of nuclear power plants to reduce night dip in electricity consumption.

Вступ. Енергетика базується на використанні традиційних видів (теплових і гідро) електростанцій, характеризується малою часткою генерації на відновлюваних джерел енергії і високою часткою виробництва електроенергії з використанням АЕС. Енергосистема України має дефіцит маневрових потужностей. Для здійснення добового регулювання потужності (далі ДРП) в об'єднаній енергосистемі України використовуються ГЕС (зокрема ГАЕС), а для покриття потреб, які вони не в змозі забезпечити (50-60 ТЕС. Більшість

українських ТЕС введено в експлуатацію ще перед розпадом СРСР. Ці установки характеризуються порівняно низькою економічністю виробництва електроенергії, високим зносом обладнання і суттєвим навантаженням на навколишнє середовище. Практично всі блоки ТЕС України виробили проектний ресурс, велика частина перевищила кордон фізичного зносу, а деякі кордон позамежного терміну експлуатації. Варто вказати, що їхні проекти не передбачали роботу в режимі добового регулювання потужності. З виходом з експлуатації ТЕС проблема заміни маневрових потужностей буде неухильно зростати. Особливо це актуально в ситуації політичної обстановки в країні, коли поставка органічних енергоносіїв істотно ускладнена або повністю обмежена.

Виходячи з цього, доцільно замінити частину ТЕС в режимі ДРП на інші генерації, що також дозволить продовжити термін експлуатації цих установок шляхом їх експлуатації у проектному режимі, а крім того збільшить варіативність у використанні маневрових потужностей. Враховуючи те, що в Україні можливість для збільшення кількості виробленої «маневрової» електроенергії на ГЕС (ГАЕС) обмежена і малу частку електростанцій на поновлюваних джерелах, цю функцію можуть виконати тільки атомні електростанції. АЕС виробляють майже половину від загальної вироблення електроенергії в країні і, виходячи з енергетичної стратегії України до 2030 року, ця частка буде збільшуватися [1].

Передбачається здійснення регулювання потужності енергоблоків 100-75-100% від номінальної (на один енергоблок). Тобто, в періоди найменшого споживання електроенергії, потужність одного енергоблоку буде знижуватися з 1000 МВт до 750 МВт.

Таке часткове регулювання потужностей атомних електростанцій зростає зі збільшення їх частки в структурі енергоринку України. Така ситуація виникла в державі через брак вугілля та простій теплоелектростанцій унаслідок бойових дій їх частка у виробництві електроенергії суттєво знизилася. Натомість, збільшилась частка виробленої АЕС електроенергії.

За підсумками першого кварталу 2015 року, частка електроенергії, виробленої на АЕС, у виробництві склала 53,2%, у структурі енергоринку 55%. Восени 2014 року частка атомної електроенергії взагалі складала до 60%. Крім того, удвічі знизили вироблення гідроелектростанції через рекордно маловодних весни і літа минулого року і такої ж весни 2015-го.

В останні роки енергоблоки АЕС на надлишків виробничих потужностей енергомережі нерідко перебували в резервах на вимогу диспетчерів енергомереж або експлуатувалися протягом тривалих періодів на зниженій потужності, що в свою чергу призводило до високої недовиробітку електроенергії і, відповідно, низьким коефіцієнтом використання встановленої потужності. У політичній обстановці в енергосистемі України утворився дефіцит енергопотужностей, що призводить до необхідності продовжувати тривалість паливних кампаній за рахунок їх експлуатації на зниженому рівні потужності в кінці паливної кампанії. Так само особливо гострою стала проблема покриття «маневрових» потужностей. Експлуатація АЕС в режимі ДРП дозволила б зменшити економічні втрати за рахунок продажу «маневрової» електроенергії за більш високим тарифом підвищити економічні показники і вирішити проблему з недоліком маневрових потужностей в енергосистемі і органічних енергоносіїв. Саме тому оцінка можливості використання, а також вивчення ключових аспектів і перспектив, пов'язаних з можливим впровадженням режиму ДРП на АЕС України, стають все більш важливою і актуальною.

Завдання та мета дослідження. Провести дослідження та оцінка можливості використання АЕС України в режимі ДРП та дослідження ключових аспектів впровадження вказаного режиму таких як: фізичні, технологічні і економічні.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати такі завдання:

1. Розглянути особливості енергосистеми України з точки зору забезпечення ДРП, роль в ній АЕС.
3. Розглянути ключові аспекти впровадження режиму ДРП на АЕС України.
4. Розглянути наявний досвід експлуатації в режимі ДРП типів енергоблоків АЕС, які виробляють електроенергію в Україні.

5. На основі існуючих даних і матеріалів провести дослідження ключових аспектів впровадження даного режиму. Зокрема, вибрати найбільш підходящого тип енергоблока, режим маневрування, визначити основні вимоги до реакторної установки.

6. Оцінити перспективи впровадження режиму ДРП на АЕС України, визначити потребу в маневровій потужності, і оцінити обсяги органічних енергоносіїв, які можливо вивільнити при впровадженні зазначеного режиму.

Методи та матеріали досліджень. В роботі використані матеріали з наявного міжнародному досвіду в реалізації режиму ДРП, а також розглянуто специфіку АЕС України з точки зору можливості реалізації цього режиму. В роботі використані наступні методи досліджень: аналіз та узагальнення наявних даних.

Обґрунтування досліджень. Одним з найбільш важливих вимог для здійснення режиму ДРП (або будь-якої значної зміни потужності) є достатній рівень надійності палива. Маневровість реактора може бути обмежена обмеженнями по кількості циклів навантаження, тому що паливо зазнає значні варіації лінійної навантаження на тепловиділяючі елементи.

Крім цього суттєві навантаження відчуває турбінне обладнання. При зниженні потужності відбувається зниження температури першого контуру, що в свою чергу знижує температуру робочого тіла. Це призводить до збільшення кількості крапель

Як видно з таблиці. 1 на АЕС України експлуатуються реактори ВВЕР різних типів [2].

Можливість здійснення маневрових режимів була значно збільшена з появою реакторів ВВЕР-1000 [3]. Це стало можливим завдяки реалізації значних поліпшень різних систем: водообміну, контролю, вимірювань і управління реакторною установкою (наприклад, вимірювання основних параметрів активної зони, кращого регулювання потужності) і т. д. Можливість використання реактора ВВЕР-1000 В-320 була вперше протестована на енергоблоці № 2 Хмельницької АЕС у 2006 році.

Для вирішення технічних аспектів, викладених зокрема нерівномірності поля енерговиділення, на енергоблоці № 2 Хмельницької АЕС використовувати впроваджені на АЕС України вдосконалені алгоритми для управління аксіальним розподілом поля енерговиділення в активних зонах ВВЕР-1000 [4]. Використання цих алгоритмів дозволить відмовитися від використання борної кислоти в якості інструменту регулювання потужності, а також не проводити заміну органів регулювання систем управління захистом (далі ОР СУЗ) на більш полегшені «сірі».

Таблиця 1

Типи енергоблоків АЕС України

Назва АЕС	Енергоблок	Реактори	Тип реактора	Потужність, МВт	Пуск	Подовж. експлуат.
Запорізька	1	ВВЕР-1000	В - 320	1000	1984	-
	2	ВВЕР-1000	В - 320	1000	1985	-
	3	ВВЕР-1000	В - 320	1000	1986	-
	4	ВВЕР-1000	В - 320	1000	1989	-
	5	ВВЕР-1000	В - 320	1000	1995	-
	6	ВВЕР-1000	В - 320	1000	1980	-
Рівненська	1	ВВЕР-440	В - 213	420	1981	20 років
	2	ВВЕР-440	В - 213	415	1986	20 років
	3	ВВЕР-1000	В - 320	1000	2004	-
	4	ВВЕР-1000	В - 320	1000	1989	-
Хмельницька	1	ВВЕР-1000	В - 320	1000	1987	-
	2	ВВЕР-1000	В - 320	1000	2004	-
Южно-Українська	1	ВВЕР-1000	В - 320	1000	1982	10 років
	2	ВВЕР-1000	В - 320	1000	1985	-
	3	ВВЕР-1000	В - 320	1000	1989	-

При використанні У-алгоритмів склад і розташування ОР СУЗ керуючих груп забезпечує ефективне управління потужністю і висотним розподілом енерговиділення активної зони реактора при мінімальній деформації радіального розподілу. Це забезпечує оптимальне і ефективне управління потужністю реактора і висотним розподіленням.

У червні 2014 року розпочалась кампанія з випробуваннями пов'язаними з маневровістю АЕС, яка розрахована до 2017 року [5].

Випробування в 2014 - 2015 роках пройшли успішно. 20 квітня НАЕК Енергоатом оголосило про початок проведення дослідної експлуатації режиму добового регулювання потужності на другому енергоблоці Хмельницької АЕС. Випробування пройдуть до 12 травня [6].

Результати досліджень. Недоліки та основні складнощі роботи енергоблоків АЕС України в режимі ДРП:

1. По - перше ні енергоблок, ні ядерне паливо не проектувалися для експлуатації в цьому режимі. Перехід на цей режим неминуче вимагає модернізації обладнання.
2. Маневровий режим призведе до утворення більшої кількості ремонтно – аварійних відключень за рахунок збільшення інтенсивності водообміну.
3. Необхідність обґрунтування безпечної експлуатації енергоблоку і погодження даного обґрунтування безпеки в регулюючому органі.
4. Виконання глибокої економічної оцінки доцільності переходу енергоблоку в маневровий режим. У разі позитивної оцінки, потрібно також проведення дослідної експлуатації енергоблоку в маневровому режимі протягом тривалого періоду [7].

Плюси переходу АЕС України на маневровий режим експлуатації:

1. Можливість продажу на енергоринок частини електроенергії (так званої маневрової складової) дорожче базового тарифу для електроенергії, що виробляється на АЕС.
2. Підтримання стабільності енергосистеми в умовах добової/сезонної зміни споживання.
3. Зменшення простою енергоблоків в резервах.
4. Відповідно до оновленої стратегії розвитку енергетики до 2030 року передбачається подальший ріст частки атомної енергетики у виробництві електроенергії, що в майбутньому призведе до необхідності впровадження такого режиму у вигляді можливої нестачі установок працюють на інших джерелах, таких як ТЕС.
5. Заміна застарілих і більш дорогих у виробництві «маневрової» електроенергії ТЕС.
6. Збільшення маневровості самої мережі за рахунок використання більшої кількості енергоустановок, які беруть участь у регулюванні.
7. Зменшення залежності від органічних джерел енергії.

Використовуючи елементарні алгебраїчні формули нескладно визначити маневрову потужність, яку можна отримати при переході АЕС України на режим ДРП. При переході трьох енергоблоків на цей режим можливо забезпечити потребу в маневруванні в розмірі: 750 МВт – 5 % $N_{на}$ власні потреби - 712,5 МВт використовуючи трьох енергоблоків ВВЕР - 1000 (режим 75 % – 100 % – 75 %), а так само 417 МВт – 5 % $N_{на}$ власні потреби – 396,1 МВт при експлуатації двох енергоблоків ВВЕР - 440 (режим 50 % – 100 % – 50 %).

Таким чином, без будівництва нового енергоблоку існує можливість забезпечити енергосистему України сумарною «маневровою» потужністю 1108,6 МВт, яка змогла б покрити сьому частину потреби в маневреній потужності, необхідної в зимовий час.

Використавши коефіцієнти переходу електричної енергії в умовне паливо отримуємо, що вироблення такої кількості електроенергії еквівалентна споживання 3219,37 тонн умовного палива або 2789,75 тис. м³ природного газу щодоби. Таким чином, за рік вийде заощадити 1,018 млрд. м³ газу або 1,175 млн. тонн умовного палива.

Введення в експлуатацію сучасної реакторної установки потужністю 1200 МВт, дозволило б так само внести 570 МВт (режим 50 % – 100 % – 50 %) маневрової потужності, що разом з існуючими установками дозволило б забезпечити 1678,6 МВт маневрової потужності. Використання ще двох існуючих енергоблоків або спорудження ще одного

дозволили б повністю відмовитися від використання ТЕС для покриття добових піків енергомережі в літній період за винятком декількох установок, які б знаходилися в резерві [8].

Висновки. Аналізуючи експерименти, проведені в Україні, існує принципова можливість здійснення експлуатації АЕС у змінному навантаженні з одним або двома великими змінами потужності протягом дня. Такі зміни потужності зможуть збалансувати сезонні, щоденні і щотижневі зміни потужності у відповідності з попитом. В виду того, що атомні електростанції України мають більшу частку у виробництві електроенергії в національній, а також у політичній обстановці в країні, енергомережі, впровадження на них режиму ДРП виглядає особливо актуальним.

На основі проведеного у статті аналізу і досліджень можна зробити наступні висновки:

1. Найбільш підходящим типом енергоблоків експлуатуються на поточний момент для роботи в режимі ДРП є ВВЕР-1000 тип В-320. Для здійснення дослідної експлуатації доцільно буде використовувати найновіші з них, в яких не так високий знос обладнання. Також можлива експлуатація в цьому режимі і реакторів ВВЕР-440.

2. У статті наведені основні вимоги до роботи таких енергоблоків.

3. Найбільш серйозною перешкодою для початку роботи в режимі ДРП є модернізація палива та турбінного обладнання через те, що проекти цих енергоблоків не передбачали експлуатацію в змінних навантаженнях.

4. Здійснення режиму ДРП дозволило б збільшити маневровість для української енергомережі, зменшити залежність від участі ТЕС в маневруванні потужності. Зменшити витрати всій енергомережі на про-виробництво електроенергії.

5. Впровадження режиму ДРП дозволило б диверсифікувати джерела виробництва «маневрової» електроенергії.

В цілому участь українських АЕС в режимі ДРП має свої переваги і недоліки, які заслуговують більш глибокого дослідження, що особливо стосуються нейтронно-фізичних процесів в активній зоні, а також економічних аспектів. Однак їх впровадження відкриває широкі перспективи для майбутнього українських АЕС, особливо з впровадженням нових типів енергоустановок і ядерного палива, які в самому проекті включають в себе роботу в такому режимі. Так само істотною перевагою є диверсифікація виробництва «маневрової» електроенергії, яка особливо актуальна у політичній обстановці сьогодення.

Література

1. Енергетична стратегія України [Електронний ресурс] / Енергоатом — оператор АЕС України. — Режим доступу: \www/URL: <http://www.energoatom.kiev.ua/ua/about/strategy>
2. Technical and Economic Aspects of Load Following with Nuclear Power Plants [Electronic resource] / Nuclear Development. — Nuclear Energy Agency, OECD, June 2011. — 52 p. — Available at: \www/URL: <http://www.oecd-neo.org/ndd/reports/2011/load-following-npp.pdf>
3. Аминов В. А. АЭС с ВВЭР: Режимы, Характеристики, Эффективность [Текст] / В. А. Аминов, А. С. Хрусталеv, Л.И. Осадчий. — М.: Энергоатомиздат, 1990. — 264 с.
4. Отчет о проведении первого этапа испытаний маневренных характеристик энергоблока № 2 [Текст]. — ОП ХАЭС № 2. ЯБ.0171.ОТЧ-06. — Нетишин, 2006. — С. 12.
5. "Енергоатом" успішно протестував регулювання потужності блока №2 Хмельницької АЕС — Режим доступу: \www/URL: <http://economics.unian.ua/energetics>
6. РАЕС переходить на нові технології, а ХАЕС-2 випробують в режимі маневрування — Режим доступу: \www/URL: <http://energy.volyn.ua>
7. НП 306.2.106-2005. Требования к проведению модификаций ядерных установок и порядку оценки их безопасности. — ГКАР Украины, 2005.

Соколовська О.М., студентка, **Соколовський П.В.**, студент, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», Україна
науковий керівник **Басок Б.І.**, член-кор. НАН України, докт. техн. наук, проф.
Інститут технічної теплофізики України, Україна

ЕКСПЕРЕМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ СОНЯЧНОГО ВИПРОМІНЕННЯ ДЛЯ КЛІМАТИНИХ УМОВ МІСТА КИЄВА

Проаналізовано результати експериментального дослідження вимірювання інтенсивності сонячної радіації в місті Києві.

We analyzed the results of an experimental study measuring the intensity of solar radiation in the city of Kiev.

Метеорологічні спостереження за останні десять років показали, що в Україні на рік припадає $100 \div 200$ сонячних днів в залежності від регіону. Середньорічна кількість сонячної енергії, що надходить щороку на територію України, коливається в межах від 1070 кВт·год на 1 м^2 в північній частині України та до 1400 кВт·год на 1 м^2 в південних областях України. Термін ефективної експлуатації фотоенергетичного обладнання становить 7 місяців (з квітня по жовтень), в північних областях - 5 місяців (з травня по вересень). Однак геліоенергетичне обладнання може достатньо ефективно використовуватися протягом всього року.

Для проектування енергетичних системи, що функціонують на основі сонячної енергії, необхідно враховувати такі основні фактори, як: кількість сонячної радіації та оптимальний кут нахилу фотоелектричної панелі. Установки, які автоматично повертають сонячну панель, значно знижують надійність і збільшують вартість основного обладнання. Зазвичай фотоелектричні панелі встановлюють нерухомо під оптимальним кутом. Для максимального отримання сонячної енергії необхідно знати оптимальний кут нахилу панелі до горизонту [1].

В зв'язку із глобальним потеплінням та зі зміною кліматичних умов покладатись на дані по сонячній радіації, які взяті з кліматичних довідників та нормативних документів, не доцільно, такі дані потребують уточнення та не враховують такі фактори, як: хмарність, загазованість повітря викидними газами транспорту (особливо в великих містах) та радіаційну властивість атмосфери місцевості. Обладнання для перетворення сонячної енергії є досить дороги тому, є необхідність в точних значення приземної сонячної радіації.

В даній роботі наведені результати вимірів, зроблених з допомогою піранометра «СР-У1», який розташований на даху корпусу №1 ІТТФ НАН України, що знаходиться за адресою вул. Булаховського, 2 місто Київ. Даний прилад враховує географічні і кліматичні умови навколишнього середовища. Піранометр вимірює густину сумарної сонячної радіації, що надходить на площину з кутом нахилу до горизонту від 0° до 90° з кроком в 10° .

Даний прилад розміщується на стаціонарній платформі, в якості приймача теплового випромінення використовується багатосекційний перетворювач теплового потоку (ПТП), який розподілений на 10 ділянок з окремими виводами. Кожна ділянка відповідає за вимірювання сонячної радіації, що надходить під певним кутом. Приймач розміщений на загальному теплоізолюючому, та захищений скляним куполом від навколишнього середовища. Теплоізолюючий запобігає випаданню конденсату під куполом. Система охолодження та тепловий режим пристрою контролюється платиновими термометрами опору, які розміщені в корпусі. При роботі послідовно здійснюється вимірювання сигналів від кожної ділянки ПТП та первинна обробка даних, а результати представляються на екрані комп'ютера у числовому вигляді та у вигляді графіків. Також дані записуються в форматі Microsoft Excel, що дозволяє використовувати їх в подальшому аналізі [2].

За результатами роботи піранометра були опрацьовані дані, які зображені на графіку та показують зміну сонячного випромінення протягом 13.07.2015 - 19.07.2015 (рис.1).

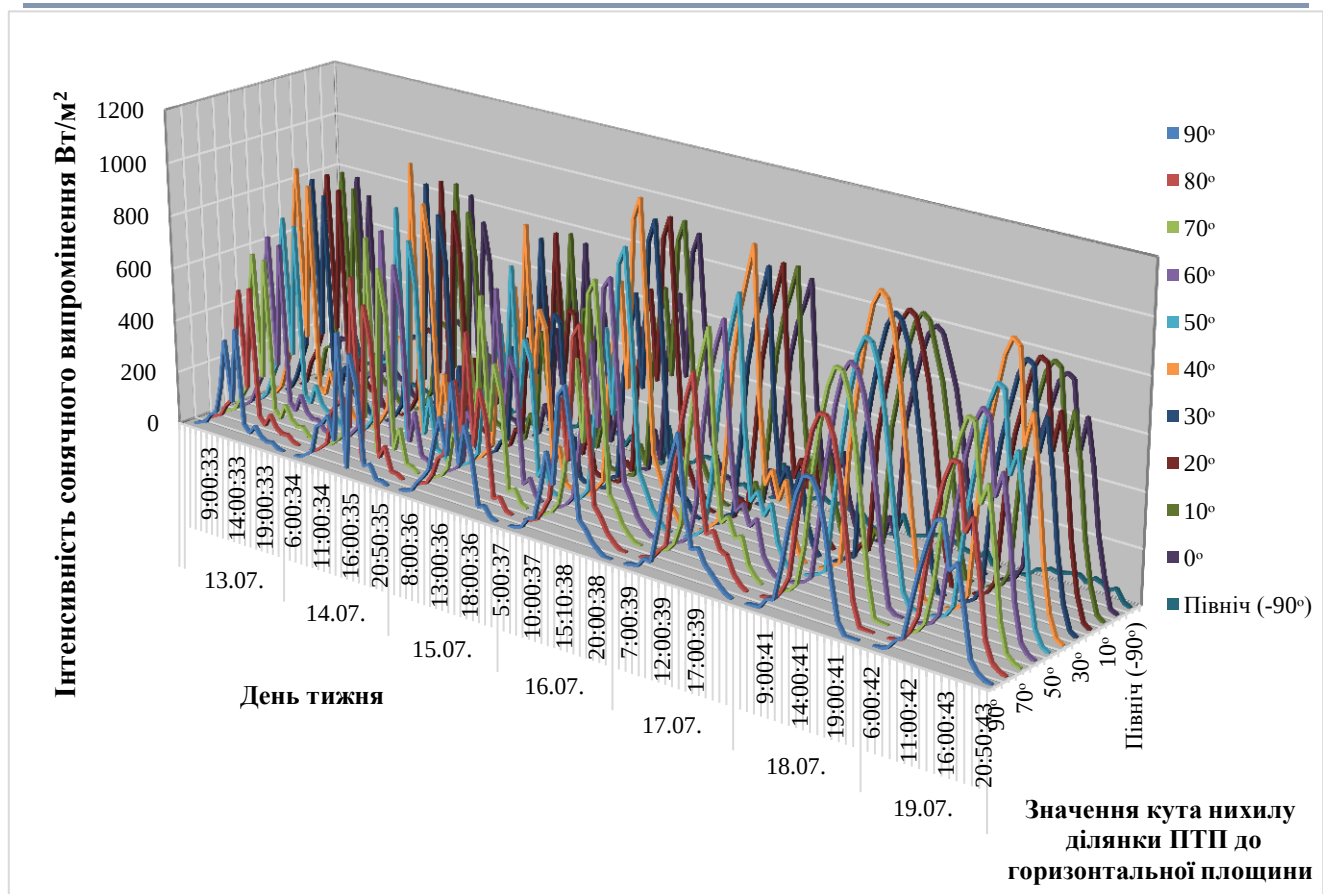


Рисунок 1 - Графік зміни інтенсивності сонячного випромінення протягом 13.07.2015-19.07.2015

Згідно цього графіку найбільша кількість енергії сонячного випромінення, що надходить на ділянку перетворювача піранометра протягом всього тижня, має кут нахилу до горизонтальної площини $40^{\circ} - 45^{\circ}$, це є оптимальний кут нахилу для дня з максимальною - 18.07.2015 та мінімальною хмарністю - 13.07.2015.

Висновки. Проектування сонячних систем електропостачання вимагає забезпечення оптимальних умов роботи обладнання. В реальності це не завжди можливо, що призводить до збільшення вартості проекту. В роботі розглядається залежність продуктивності обладнання від розташування та кліматичних умов міста Київ. Дослідження дозволяють виконати реальну оцінку ефективності системи та обрати вірні інженерно-технічні рішення для проектування енергетичних сонячних систем.

Список використаної літератури

1. Акулинин А., Смыков В. Оценка возможностей солнечной энергетики на основе точных наземных измерений солнечной радиации // Проблемы региональной энергетики. Институт энергетики АН Молдовы. – №1(6), 2008. – с.29-39.
2. Басок Б.І., Воробйов Л.Й., Гончарук С.М., Декуша Л.В., Чорна Н.О. Прилади для дослідження надходження сонячної енергії на похилий геліоколектор // Промышленная теплотехника. - Т. 35, № 5, 2013. - С.78-87.

УДК 681.51

Капуста А.В., Романенко А.С.
Науковий керівник: доц., к.т.н. Торопов А.В.

Національний технічний університет України «КПІ»
Київ, пр. Перемоги 37, 03056

ПАРАМЕТРИЧНИЙ СИНТЕЗ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ПАРАМЕТРАМИ НАСОСНИХ УСТАНОВОК

Анотація. В роботі запропоновано спосіб підвищенні ефективності роботи систем автоматичного керування насосними установками шляхом врахування інерційності зміни тиску при виборі параметрів регулятора.

Ключові слова: система керування, насосна установка, регулятор Циглера-Ніколса.

CONTROL SYSTEMS PARAMETRIC SYNTHESIS OF TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF PUMPING UNITS

Abstract. The paper presents a method of improving the efficiency of automatic control pumps by taking into account the inertia of the pressure changes when selecting the parameters of the regulator.

Key words: control system, pump installation, the Ziegler-Nichols regulator.

Насьогодні актуальною темою є енергозбереження засобами сучасного електроприводу. Це питання стосується як муніципальних, так і промислових комплексів. Завжди актуальним є використання енергозберігаючих технологій у системах водопостачання.

Режим роботи насосних установок залежить від змінного у часі водоспоживання. На практиці основними способами регулювання технологічних параметрів насосних комплексів є дроселювання робочого потоку і ступеневе регулювання зміною числа насосних агрегатів, які, незважаючи на простоту технічної реалізації, супроводжуються значними енергетичними витратами на регулювальних гідравлічних елементах та інтенсивним зносом електромеханічного обладнання. Тому актуальним питанням є пошук більш ефективного способу керування насосними установками у системах водопостачання. Одним з таких способів є використання частотно-регульованого електроприводу для роботи насосних установок та синтез їх технологічних параметрів з метою визначення оптимальних налаштувань. Цей спосіб забезпечує плавне регулювання в широкому діапазоні, одержувані характеристики мають високу жорсткість. Частотний спосіб до того ж відрізняється і ще однією дуже важливою властивістю: при регулюванні швидкості асинхронного двигуна не відбувається збільшення його ковзання, як це має місце, наприклад, при реостатному регулюванні [1].

Для вирішення таких завдань широко використовуються частотні перетворювачі з вбудованим ПІД-регулятором (пропорційно-інтегрально-диференціальний регулятор). Пропорційно-інтегрально-диференціальний (ПІД) регулятор - пристрій, що використовується в системах автоматичного керування для формування керуючого сигналу, що складається з помилки регулювання, похідної помилки регулювання і визначеного інтеграла помилки регулювання за часом від початку відліку до поточного моменту. Тому для покращення роботи системи керування насосними установками необхідно розрахувати параметри ПІД-регулятора. Існують різні методи розрахунку

ПД-регулятора [2].

Одним з таких є метод Циглера-Ніколса. Цей метод, запропонований у 1943 р., відноситься до емпіричних і заснований на використанні даних, отриманих експериментально на реальному об'єкті. Для отримання експериментальних даних замість реального об'єкту використовується уточнена математична модель насосної установки з врахуванням зміни часу запізнювання від продуктивності, зображена на рисунку 1.

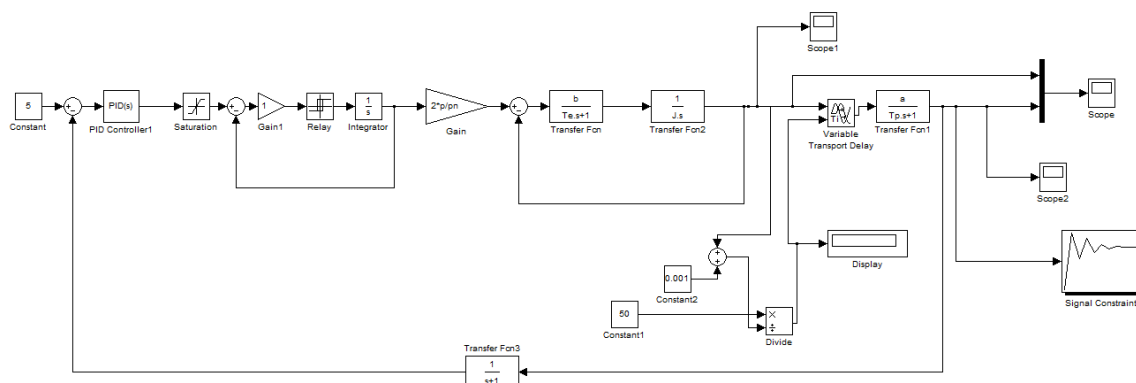
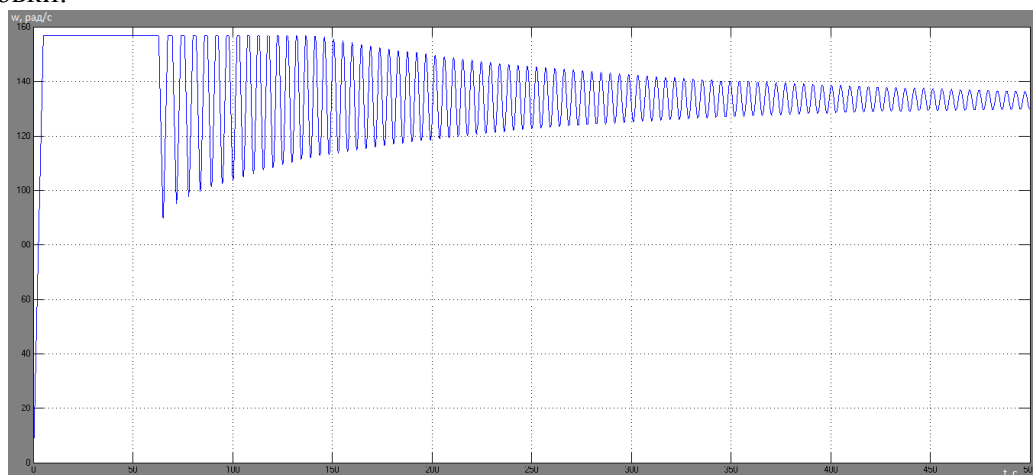


Рис.1 Математична модель насосної установки з частотно-регульованим електроприводом

Результати моделювання зображені на отриманих графіках, які відображують роботу системи без корегування її параметрів та роботу системи після проведення аналізу динаміки системи з корекцією параметрів регулятора Циглера-Ніколса. На графіках чітко видно, що робота системи до проведення корекції відповідних параметрів є нестабільною, а значення тиску не відповідає необхідному. Після проведення синтезу параметрів показники роботи системи покращились, а саме, вдалося зменшити коливання при перехідних процесах та стабілізувати роботу насосної установки.



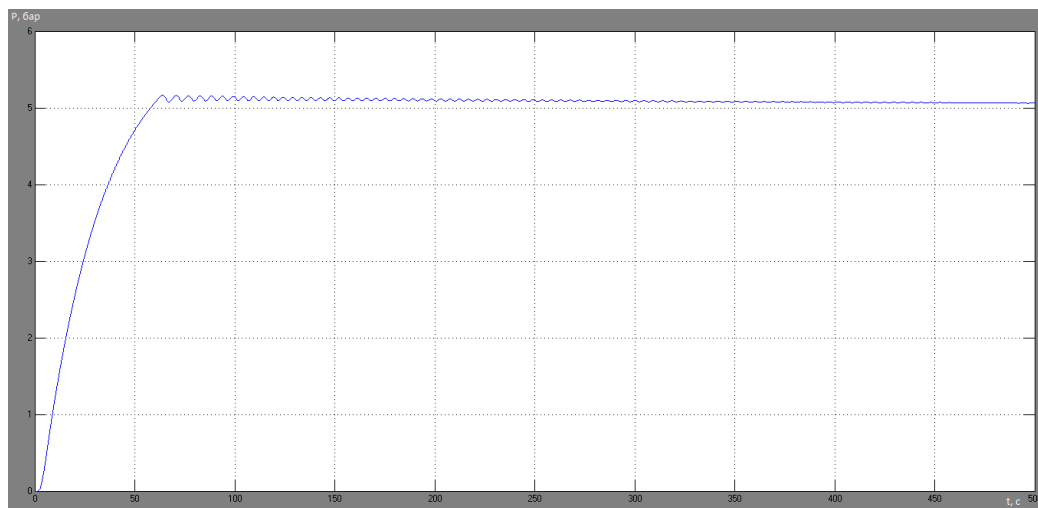


Рис.2 Графіки зміни швидкості та тиску до проведення налаштувань

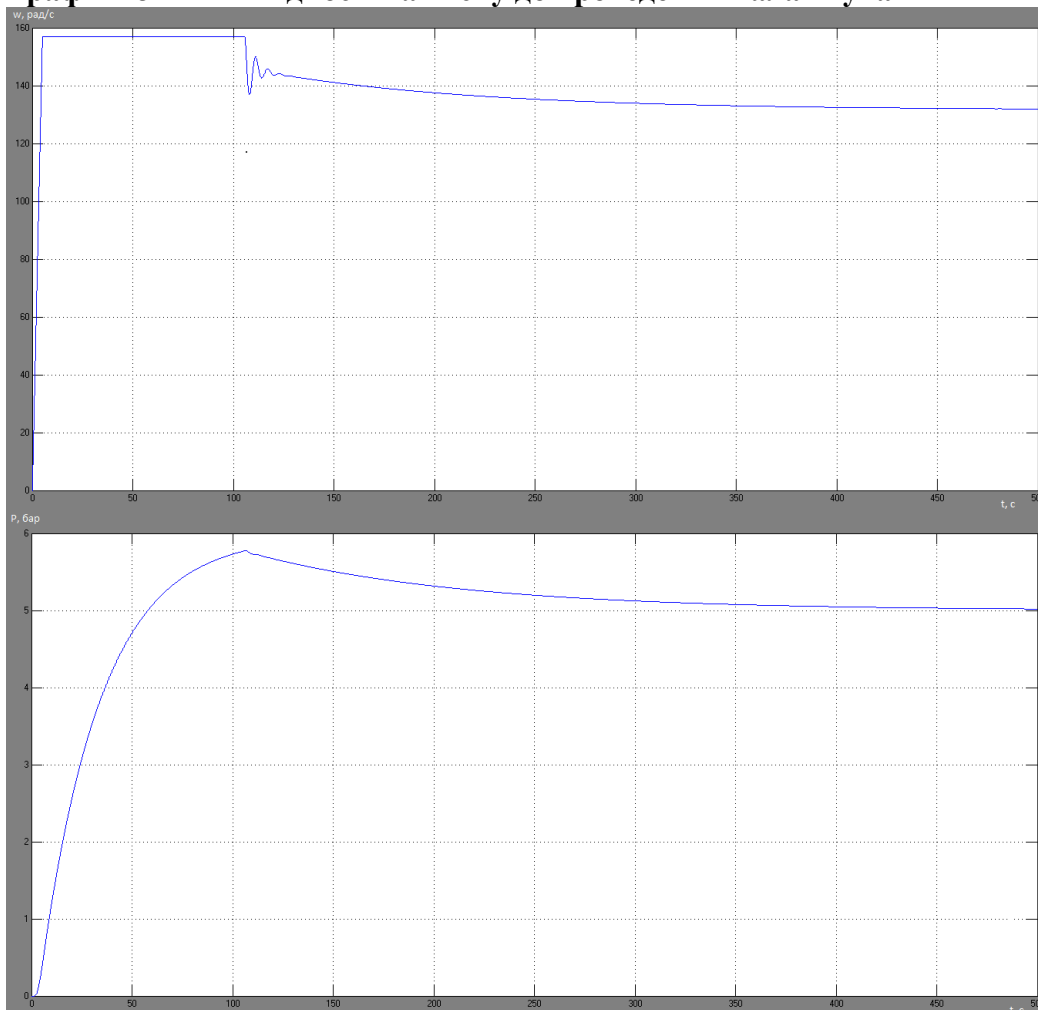


Рис.3 Графіки зміни швидкості та тиску після проведення налаштувань

Висновки. Здійснено аналіз динаміки системи з корекцією параметрів регулятора Циглера-Ніколса. Набула подальшого розвитку процедура параметричного синтезу регулятора для систем з запізнюванням. Також була покращена робота системи керування насосною установкою за допомогою здійснення більш детальних налаштувань.

Література

1. Якубчик П.П. Насосы и насосные станции . "СПб: ПГУПС", 1997

2. Иголкин А.А., Игонин А.А. Анализ и синтез мехатронных систем управления энергетических установок Самарский государственный аэрокосмический университет, 2011

УДК 62-51

студ. Романенко А.С., доц., к.т.н. Торопов А.В.

Національний технічний університет України «КПІ»

МОДЕЛЕОРІЄНТОВАНЕ КЕРУВАННЯ НАСОСНИМИ АГРЕГАТАМИ НА БАЗІ ПРОГРАМОВАНИХ ЛОГІЧНИХ КОНТРОЛЕРІВ СТАНДАРТУ МЕК61131

Анотація. В даній роботі запропонована інтелектуальна система управління насосною станцією для водопостачання міст та житлових масивів з декількома агрегатами різної потужності. Сформовано алгоритм керування насосними механізмами з урахуванням перепаду тиску, швидкого падіння тиску та часу доби згідно стандарту МЕК-61131

Abstract. In this work the intelligent control of pumping station for water supply of cities and residential areas with several different power units. Control algorithm for pumping mechanisms based differential pressure, rapid pressure drop and day time according to IEC-61131 is proposed.

Вступ. Станом на сьогоднішній день зафіксовано швидкий ріст цін на енергоносії і ресурси, що має наслідки значних фінансових затрат, при використанні насосних станцій для водопостачання міст, житлових масивів, підприємств чи окремих будинків. Спостерігається знос технологічного обладнання і мереж водопостачання у зв'язку з використанням до тепер систем подачі води які створюють значний тиск в трубопроводі, що приводить до витоків води. Отже, постає актуальною задача побудови енергоефективної, інтелектуальної системи управління насосами.

Аналіз стану питання. Складатися насосна станція, може з певної кількості насосів, які повинні забезпечувати необхідний напір при зміні продуктивності. На сьогоднішній день не сформовано одного чіткого алгоритму керування енергоефективної системи управління насосами. Зазвичай в такій системі є основний насос, який працює постійно, а якщо він не забезпечує заданий напір, в систему починаються підключатися резервні насоси. Існує безліч способів підключення резервних насосів. Значних проблем у випадку коли насоси однієї потужності, при їх підключенні не виникає. Але такі випадки зустрічаються дуже рідко. Зачасту основний і резервні насоси не однакової потужності. Це пов'язано з тим, що не завжди є вигідно з економічної точки зору, підключати резервний насос однакової потужності з основним, так як у насосів, що не використовуються в номінальному режимі, будуть зафіксовані значні енергетичні втрати. Більш доцільно використовувати насос, що має меншу потужність, але для забезпечення необхідного напору, працює в номінальному режимі і не створює значних енергетичних затрат. У разі вибору насосів не однакової потужності для паралельної роботи потрібно враховувати різні фактори, одним з основних є напір (Н), який повинен бути у всіх насосів однаковим. Це потрібно для того, щоб насос з великим напором не «душив» насос з меншим напором.

Також важливим є врахування добового споживання води, наприклад для житлових масивів, при побудові енергоефективної системи управління насосної станції. На рис 1 зображено добовий графік споживання води.

Рис 1 Добовий графік споживання води.

Зафіксовано, що добовий графік споживання води має періоди спаду (наприклад , в нічний час , коли споживання практично немає) і періоди пікового споживання

(наприклад, ввечері, коли витрата води жителями максимальна). При цьому необхідно враховувати не заплановане збільшення споживання води, яке має місце на протязі цілої доби.

Мета роботи. підвищення ефективності роботи насосної станції за рахунок використання ефективного алгоритму керування на базі програмованого логічного контролера.

Методики, матеріали і результати досліджень. На основі розглянутих особливостей роботи системи водопостачання сформовано алгоритм керування насосною установкою з урахуванням перепаду тиску P , часу доби t , швидкого падіння тиску dp/dt та відповідності робочих характеристик насосів, що підключаються. Розроблений алгоритм зображений на (рис. 2). Насосна установка складається з основного насоса $M1$ та резервних $M2$, $M3$. При перепаді тиску в системі водопостачання та спрацюванні датчику тиску, що про це сигналізує, відбувається перевірка чи тиск в системі менше встановленого мінімального P_{min} чи навпаки збільшився вище максимально встановленого P_{max} . Далі відбувається перевірка часу доби t , тобто чи зміна тиску в системі відбулась на протязі періоду спаду чи в період максимального споживання води ($6 < t < 10$, $16 < t < 22$). Якщо тиск змінився менше встановленого мінімального в період максимального споживання води, після перевірки на відповідність робочих характеристик основного і підключаемого резервного насоса, відбувається підключення резервних насосів. У випадку коли в системі зафіксовано збільшення тиску вище встановленого максимального, резервні насоси поступово відключаються. У разі зміни тиску в період спаду споживання води, створюється перевірка швидкості зміни тиску dp/dt . Якщо тиск в системі змінився різко швидко то після перевірки на відповідність робочих характеристик основного і підключаемого резервного насоса, підключається більш потужний насос, а у випадку не дуже різкої зміни тиску після перевірки на відповідність робочих характеристик основного і підключаемого резервного насоса, підключається менш потужний резервний насос.

Рис.2 Алгоритм керування насосною установкою з урахуванням перепаду тиску, часу доби, швидкого падіння тиску, та відповідності робочих характеристик насосів.

Розроблений алгоритм буде реалізовано в програмному забезпеченні CodeSys, за допомогою стандартної мови програмування (ST - Structured Text) на базі програмованого логічного контролера стандарту MEK61131.

Приклад програмної реалізації :



```

0009 Sp1:= BOOL;
0010 P1:= BOOL;
0011 P3:= BOOL;
0012 P4:= BOOL;
0001 Sp1:= SB1 OR P8 AND NOT (K2) OR P2 AND NOT(K1);
0002 IF Sp1=TRUE THEN P1:=TRUE;
0003 END_IF;
0004 IF P1=TRUE THEN P2:=FALSE;P8:=FALSE;Sp2:=FALSE;Sp8:=FALSE;
0005 END_IF;
0006 Sp2:= P1 AND K1;
0007 IF Sp2=TRUE THEN P2:=TRUE;
0008 END_IF;
0009 IF P2=TRUE THEN P1:=FALSE; P3:=FALSE; Sp1:=FALSE; Sp3:=FALSE;
0010 END_IF;
0011 Sp3:=P2 AND T1 OR P4 AND NOT (K2) OR P7 AND NOT(K3) OR P6 AND T3 ;
0012 IF Sp3=TRUE THEN P3:=TRUE;
0013 END_IF;
0014 IF P3=TRUE THEN P2:=FALSE;Sp2:=FALSE;P4:=FALSE;Sp4:=FALSE; P7:=FALSE;Sp7:=FALSE; P6:=FALSE;Sp6:=FALSE;
0015 END_IF;
0016 Sp4:=P3 AND K2;
0017 IF Sp4=TRUE THEN P4:=TRUE;
0018 END_IF;
0019 IF P4=TRUE THEN P3:=FALSE;Sp3:=FALSE;P5:=FALSE;Sp5:=FALSE;
0020 END_IF;
0021 Sp5:= P4 AND T2 OR P6 AND NOT (K3);
0022 IF Sp5=TRUE THEN P5:=TRUE;
0023 END_IF;
0024 IF P5=TRUE THEN Sp4:=FALSE;P4:=FALSE;Sp6:=FALSE;P6:=FALSE;
0025 END_IF;
0026 Sp6:= P5 AND K3;
0027 IF Sp6=TRUE THEN P6:=TRUE;
0028 END_IF;
0029 IF P6=TRUE THEN Sp5:=FALSE;P5:=FALSE;
0030 END_IF;
0031 Sp7:= P3 AND K3;

```

Висновки

- 1.Розглянуто особливості роботи насосної установки, яка забезпечує водопостачання міст, житлових масивів, підприємств або окремих будинків.
- 2.Запропоновано основні фактори, якими необхідно керуватись при побудові інтелектуальної, енергоефективної системи управління насосами.
- 3.Сформовано алгоритм керування насосною установкою з урахуванням перепаду тиску, часу доби, швидкого падіння тиску та відповідності робочих характеристик насосів, які підключаються.

Література

1. Лобачев П. В. Насосы и насосные станции. М.: Стройиздат. 1990. – 320 с.
2. Программируемые логические контроллеры. Практическое руководство для начинающего инженера. Минаев И. Г., Самойленко В. В. – Ставрополь:АГРУС, 2009 . - 100 с.
3. Попкович, Г. С. Основы автоматики и автоматизации водопроводно-канализационных сооружений : учебник для вузов / Г. С. Попкович. - М. : Высш. школа, 1975. - 359 с.

УДК 621.316.9

Дубовик В.Г., Лебедев Л.Н., Брагина Л.Е., Гетьманцев Д.Р.

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»

КОНТРОЛЬ СОСТОЯНИЯ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

ПРИ ИХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

В статье показано, что для упрощения контроля состояния асинхронных электродвигателей можно использовать метод вибрационного и акустического контроля, который позволяет распознавать аварийные ситуации и предотвращать их последствия.

Ключевые слова: асинхронный электродвигатель, аварийные режимы, акустические и вибрационные методы контроля.

Дубовик В.Г., Лебедев Л.М., Брагина Л.С., Гетьманцев Д.Р.

**КОНТРОЛЬ СТАНУ АСИНХРОННИХ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ
ПРИ ЇХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ**

У статті показано, що для спрощення контролю стану асинхронних двигунів можна застосувати метод вібраційного та акустичного контролю, за допомогою яких можна розпізнати аварійні ситуації та запобігати їх наслідкам.

Ключові слова: асинхронний електродвигун, аварійні режими, акустичні та вібраційні методи контролю.

Dubovyk Volodymyr., Lebedev Lev, Bragina Ludmyla., Hetmantsev Danyl.

STATE CONTROL OF ASYNCHRONOUS MOTORS IN THEIR USE

It is shown in the article, that for simplification of control of the state of asynchronous electric motors it is possible to utilize the method of vibration and acoustic control which allows to recognize emergency situations and to prevent their consequences.

Keywords: asynchronous electric motor, malfunctions, acoustic and vibration methods of control.

Контроль состояния асинхронных электродвигателей (АД) в процессе работы может выполняться по сигналам источников акустического шума и вибраций, которыми являются:

- электромагнитные силы, передающиеся корпусу машины;
- пульсации вращающегося момента, способные возбуждать вибрации статора и акустический шум;
- магнитострикционные силы в магнитной системе машины;
- технологические погрешности, обусловленные асимметрией конструкции.

В АД, как магнитное поле в зазоре, так и ток в силовых обмотках, имеет одну или несколько гармонических составляющих разных частот. Так, если в зазоре асинхронного двигателя поле изменяется с частотой ω_1 , а ток в силовой обмотке имеет частоту ω_2 , то электромагнитная сила без учета переменного магнитного поля, создаваемого проводником, кроме постоянной составляющей, имеет гармоническую составляющую с частотой $2\omega_1$, а электродинамическая сила – две составляющие с комбинационными частотами $\omega_1 + \omega_2$ и $\omega_1 - \omega_2$.

При нелинейных искажениях магнитного поля из-за частичного магнитного насыщения сердечника появляются составляющие с частотами, кратными частоте вращения ротора. При несимметрии токов по фазам растет составляющая с частотой напряжения питания и она же модулируется двойной частотой скольжения при электрической несимметрии ротора. Значение величины зазора в АД зависит от его габаритов и количества пар полюсов, уменьшаясь от значения $\delta = 2$ мм у двухполюсных машин мощностью выше 500кВт, до значения $\delta = 0,2$ мм для многополюсных машин малой мощности [1].

Необходимо учитывать возможные изменения вибрации АД из-за пульсирующих колебательных сил и моментов, возникающих при питании АД несимметричным или несинусоидальным напряжением, которое вызывают появление или увеличение вибрации на частотах, кратных частоте питающего напряжения.

Особенность формирования низкочастотной вибрации АД связана с возможностью появления пульсирующих моментов на частоте вращения АД при наличии одновременно статического и динамического эксцентриситетов зазоров. Величина пульсирующего момента для таких АД можно определить по выражению

$$M_{\text{от}} = \frac{2M_0}{\cos \varphi \cdot \varepsilon_{\text{lst}} \cdot \varepsilon_{\text{lrt}}},$$

где ε_{lst} , ε_{lrt} соответственно, относительный статический и динамический эксцентриситеты первого порядка, M_0 - момент нагрузки АД, φ - угол сдвига между векторами напряжения и тока.

Основное влияние на вибрацию АД при питании от не идеального источника напряжения оказывают пульсирующие электродинамические моменты, частота которых при несимметрии напряжения равна $f_{\text{нл}} = 2\omega_1$, а при появлении нелинейных искажений напряжения –

$$f_{\text{нл}} = 6k\omega_1 [2].$$

Точки измерения низкочастотной вибрации выбираются обычно на корпусе АД на максимально возможном удалении от мест его крепления к фундаменту. Но для практических измерений достаточно проводить одно измерение вибрации в одном направлении для АД малых габаритов и два - для АД больших габаритов. Для совмещения диагностических и мониторинговых измерений в одном их лучше всего проводить на подшипниковых щитах корпуса АД в горизонтальном направлении со смещением оси измерения относительно оси вращения ротора.

Шум асинхронных электродвигателей имеет несколько составляющих:

- механический шум, обусловленный вибрацией деталей и узлов от небаланса ротора, работы подшипников;
- аэродинамический шум, обусловленный вращением ротора и движением воздушных потоков внутри машины;
- электромагнитный шум, обусловленный магнитными силами, действующими в воздушном зазоре.

Основными источниками аэродинамического шума являются:

- шум вентилятора, обусловленный вихрями, которые срываются от воздушной струи кромками лопаток и диском рабочего колеса вентилятора;
- шум вращения ротора, обусловленный срывом вихрей с его поверхности от рассеечения воздушной струи головками обмоток ротора или выступающими стержнями «беличьей клетки» короткозамкнутых роторов;
- шум воздушных потоков, вихрей, которые вызываются срывом из неподвижных препятствий в вентиляционных путях и др.;
- шумы, которые вызываются тем, что в деталях вращающихся механизмов, возникают возмущающие центробежные силы, из-за неуравновешенных масс, а также от перемещения деталей под действием электрических сил обмоток асинхронного электродвигателя;
- шумы, вызванные механическими узлами, такими как подшипники, элементы сцепления вала привода и рабочего колеса.

Уровень акустического шума, который создается асинхронными электродвигателями и машинами постоянного тока мощностью P в диапазоне от 1 до 1000 кВт с частотой вращения n на расстоянии 0,5 м, с достаточной точностью может быть определен по выражению $L = 10 \lg P + 20 \lg n + 10$, дБ [3].

При контроле только вибрации асинхронных электродвигателей не обеспечивается достаточная точность контроля их технического состояния, связанная с отсутствием измерения акустического сигнала при изменении частоты вращения рабочего вала.

Для повышения точности оценки технического состояния АД предлагается устройство, в котором вводится канал измерения акустического сигнала шума в зависимости от частоты вращения рабочего вала, что позволяет более полно идентифицировать причины технических изменений и нарушений, оперативно влиять на технологический процесс, структурная схема которого представлена на рис.1 [4].

Устройство состоит из последовательно соединенных вибропреобразователя 1, анализатора спектра 2, блока 3 регистрации уровней вибросигналов, три выходы которого соединены со вторыми входами трех пороговых элементов 4.1, 4.2, 4.3, а второй вход соединен с третьим выходом схемы управления 5, второй выход которой соединен с четвертым входом ключевого элемента 6 трехканального, датчика технологического 7, выход которого соединен с блоком 8 определения нагрузки, три выходы которого соединены с тремя входами блока 9 памяти, четвертый вход которого соединен с выходом схемы управления 5, а три выхода соединены с тремя выходами ключевого элемента 6 трехканального и со входами трех пороговых элементов 4.1, 4.2, 4.3, вторые входы которых соединены с тремя выходами блока 3 регистрации уровней вибросигналов и тремя входами ключевого элемента 6 трехканального, акустического датчика 10, выход которого через преобразователь звука соединен со входом четвертого порогового элемента 4.4, второй вход которого соединен с выходом датчика 12 оборотов через функциональный преобразователь 13, ко второму и третьему входам которого подключены источники постоянного входного действия, соответственно, E_1 и E_2 , выходы четырех пороговых элементов 4.1, 4.2, 4.3, 4.4 соединены с четырьмя входами дисплея 14 и четырьмя входами элемента 15 ИЛИ, выход которого соединен с блоком 16 задержки, выход которого соединен с блоком 17 защиты.

Вибропреобразователь 1 предназначен для измерения вибрационной скорости, вибрационного и ударного ускорений в заданном частотном диапазоне.

Анализатор спектра 2 обеспечивает анализ измеренных спектров методом разложения общего уровня вибрации на частотные составляющие.

Блок 3 регистрации уровней вибросигналов обеспечивает выделение амплитуд сигналов вибрации в трех поддиапазонах с использованием фильтров для стандартного диапазона 10 Гц – 1кГц.

Схема управления 5 обеспечивает режимы записи в блок 9 памяти при подготовке устройства к работе.

Ключевой элемент 6 трехканальный обеспечивает переключение трех выходов блока 3 регистрации уровней вибросигналов с тремя выходами блока 9 памяти.

Датчик технологический 7 измеряет значения U_m величины технологического параметра, который наиболее точно отражает состояние нагрузки АД при эксплуатации.

Блок 8 определения нагрузки выделяет отдельные диапазоны значений U_i из возможных значений величины U_m технологического параметра с присвоением им трехразрядного цифрового кода.

Блок 9 памяти обеспечивает режим записи/чтения по трем каналам по сигналам схемы управления 5.

Акустический датчик 10 преобразует звуковые колебания аэродинамического шума в электрический сигнал.

Преобразователь звука 11 обеспечивает разложение шума на тональные составляющие с определением их интенсивностей в виде спектра и формирование выходного сигнала LA , пропорционального уровню звукового давления.

Согласно ГОСТ 12.1.003 – 83 «Шум. Общие требования безопасности»

нормирования может осуществляться по уровню звукового давления в октавных полосах частот со стандартными частотами 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000 и 8000 Гц, которые представляют совокупность восьми нормативных уровней звукового давления.

Датчик оборотов 12 формирует выходной сигнала U_{12} , пропорциональный частоте n вращения вала АД, $U_{12}=k \cdot n$.

Функциональный преобразователь 13 формирует выходной сигнала в соответствии с выражением $LA = \lg\left(\frac{Pn^2}{r_s^2}\right) + k$, так как, для широкого класса АД с самовентиляцией уровень

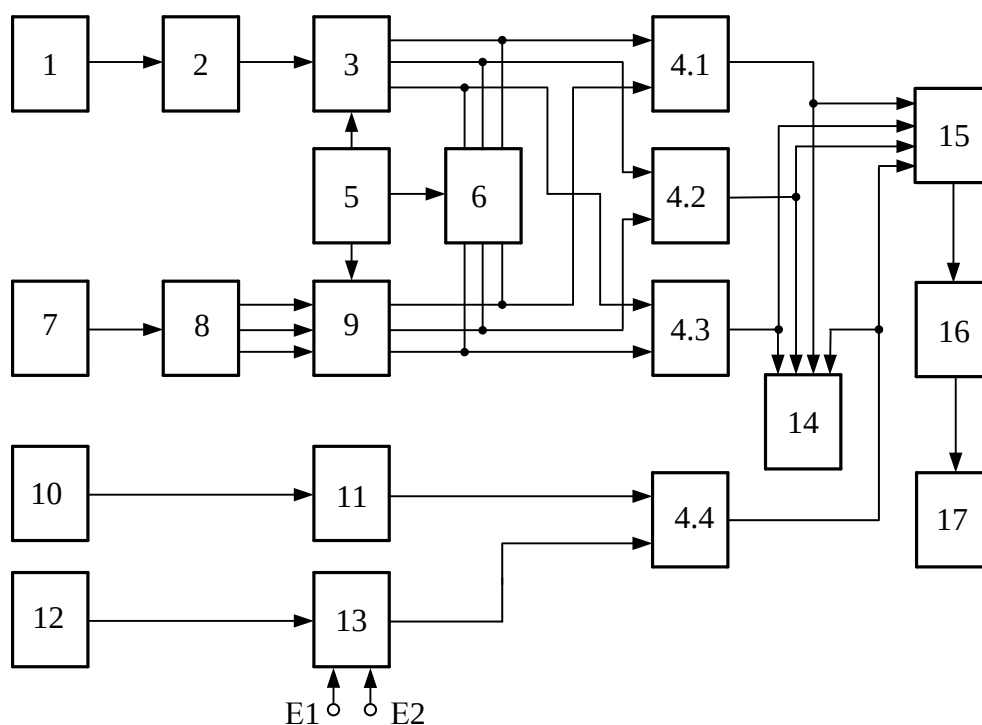


Рисунок 1 – Структурная схема устройства для контроля технического состояния асинхронного электродвигателя

звука LA (дБА) на расстоянии r_s , (м) пропорциональный квадрату частоты вращения n (об/мин) и номинальной мощности P (кВт), где k - эмпирическая величина, которая может изменяться в пределах до 30 дБ и характеризует степень малозумности конструкции АД и уменьшается с увеличением жесткости статора [5].

Источники E_1 и E_2 постоянного входного воздействия задают значения напряжений, пропорциональных, соответственно, номинальной мощности P (кВт) и расстоянию r_s (м) от акустического датчика до корпуса АД.

Шумовые параметры АД в соответствии с ГОСТ 16372 (МЭК 60034) характеризуются уровнем звукового давления LPA и уровнем звуковой мощности LWA , которая корректируется по шкале А в режиме холостого хода и регламентируются изготовителем. Увеличение уровня звуковой мощности при номинальной нагрузке по сравнению с холостым ходом ΔLWA определяется в соответствии с ГОСТ 16372 (МЭК 60034).

Дисплей 14 обеспечивает отображение значений параметров вибрации и акустических сигналов шума и на его вход подаются сигналы через блок соединения, который на рис.1 не показан.

Блок 16 задержки обеспечивает задержку передачи сигнала на блок 17 защиты.

Блок 17 защиты обеспечивает переключение схемы управления АД, ее отключения в аварийном режиме и может быть выполнен на ключевых элементах, которые обеспечивают гальваническую развязку.

Приняты обозначения U_n^i - напряжение на i -м выходе n -го блока.

Работает устройство следующим образом. Перед началом эксплуатации проводится калибрование устройства с учетом передаточных характеристик блоков, для чего в рабочих режимах АД записывают значения трех выходов блока 3 регистрации уровней сигналов в блок 9 памяти через ключевой элемент 6 трехканальный, который замыкается с помощью схемы управления 5, которая обеспечивает подачу сигнала логического высокого уровня со второго выхода на ключевой элемент 6 трехканальный, а также из первого выхода - на четвертый вход блока 9 памяти. Интерфейсы ввода-вывода в блоке 9 памяти не показаны.

Устанавливаются значения напряжений E_1 и E_2 постоянного входного действия, которые пропорциональны, соответственно, номинальной мощности P (кВт) и расстоянию r_s (м) от акустического датчика до АД. В рабочем режиме после подачи напряжения в цепи питания устройства сигнал от вибропреобразователя 1, пропорциональный амплитудному значению вибрации, при работе АД подается на анализатор спектра 2, который обеспечивает анализ измеренных спектров методом разложения общего уровня вибрации на частотные составляющие, а с его выхода сигналы подаются на блок 3 регистрации уровней вибросигналов, который выполняет измерение амплитуд сигналов вибрации в трех поддиапазонах с использованием фильтров. Три выходных сигнала блока 3 подаются на вторые входы пороговых элементов 4.1, 4.2, 4.3, где сравниваются с сигналами, которые подаются на первые входы этих элементов от блока 9 памяти. Пороговые элементы 4.1, 4.2, 4.3 имеют характеристики

$$U_4^i = 0, \text{ если } U_3^i \leq U_7^i, \quad U_4^i = 1, \text{ если } U_3^i > U_7^i.$$

Сигналы датчика 7 технологического подаются на блок 8 определения нагрузки, на выходе которого, в зависимости от значения нагрузки устанавливается цифровой код, который подается на блок 9 памяти, из выходов которого, значения уровней сигналов вибрации АД, установленные при наладке и подготовке устройства к работе, подаются на входы трех пороговых элементов 4.1, 4.2, 4.3.

Сигналы акустического датчика 10 через преобразователь звука 11 подаются на вход порогового элемента 4.4, который имеет характеристику

$$U_4^4 = 0, \text{ если } U_{10} \leq U_{13}, \quad U_4^4 = 1, \text{ если } U_{10} > U_{13}.$$

На второй вход порогового элемента 4.4 подаются сигналы от функционального преобразователя 13, который выполняет преобразование с учетом сигналов от датчика оборотов 12 и источников $E1$ и $E2$ постоянного входного воздействия.

При появлении сигнала с уровнем логической единицы $U_4^i = 1$ на одном или нескольких выходах он передается через элемента 15 ИЛИ на блок 16 задержки, который обеспечивает переключение его выходного сигнала из логического нуля в единицу с задержкой, а также подается на дисплей 14 для визуализации и идентификации превышения значения вибрации или акустического сигнала шума. Из выхода блока 16 задержки сигнал подается на блок 17 защиты, который обеспечивает отключение АД.

Сигнал на выходе четвертого порогового элемента появляется при увеличении акустического сигнала шума АД в случае износа подшипников и увеличения вибрации вала, нарушении центровки его осей, нарушении балансировки приводного механизма, в соответствии к ГОСТ ИСО 10816-1-97 и зависит также от нагрузки машины [5].

Измерительная система устройства предусматривает возможность калибровки

всего измерительного тракта и имеет независимые выходы для подсоединения дополнительных анализаторов. Крепления вибропреобразователя и акустического датчика должно быть таким, чтобы оно не изменяло акустическо-шумовые характеристики АД.

Устройство позволяет контролировать технологический небаланс в машинах, который может возникать в рабочем режиме, при частично открытых заслонках, например, для вентиляторов, что повышает уровень шума из-за нарушений балансировки, а также гистерезис при небалансе рабочего колеса, обусловленный наличием упругого элемента, который под действием центробежных сил при номинальной частоте вращения смещается.

Устройство обеспечивает повышение точности оценки технического состояния АД путем измерения акустического сигнала шума в зависимости от частоты вращения рабочего вала, обнаруживать магнитные несимметрии магнитопроводов и позволяет идентифицировать причины технических нарушений, что также повышает надежность и срок их службы

Использованные источники:

1. Аксенова, О.Т. Промышленная акустика: учебное пособие / О.Т. Аксенова. – Благовещенск: Амурский гос. ун-т, 2011. – 132 с.
2. Костюков В.Н., Науменко А.П., Бойченко С.Н., Тарасов Е.В. Основы виброакустической диагностики машинного оборудования. Омск: НПЦ «ДИНАМИКА», 2007. 286 с.
3. Защита асинхронных электродвигателей по сигналам вибрации и шума / Дубовик В.Г., Лебедев Л.Н., Яковчук И.В., Тарасюк А.П.; НТУУ «КПИ» Н.-и. ин-т автоматики и энергетики «Энергия». – Киев, 2015. – 15 с. – Библиогр.: 7 назв. – Рус. – Деп. в ГНТБ Украины 24.09.15 г., №10 –Ук 2015.
4. Патент України на корисну модель №106391. Пристрій для контролю технічного стану електричних машин. МПК G01M 7/00, G01R 31/00. Дубовик В.Г., Лебедев Л.Н., Яковчук І.В., Докшина С.Ю. Бюлетень №8, 2016.
5. Кучер В.Я. Вибрация и шум электрических машин: Письменные лекции. - СПб.: СЗТУ, 2004. – 55 с.

УДК 681.52

Дубовик В.Г., Лебедев Л.М., Докшина С.Ю., Стасюк І.К.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

ТРИФАЗНИЙ ПРИСТРІЙ ОЧИЩЕННЯ ТРЬОХ ТРУБ ВІД АСФАЛЬТОСМОЛОПАРАФАНОВИХ ВІДКЛАДЕНЬ

У статті вказані недоліки існуючого пристрою одночасного очищення декількох труб від асфальтосмолопарафінових відкладень та запропонована покращена конструкція для ефективнішого очищення.

Ключові слова: асфальтосмолопарафінові відкладення, очистка, труби, трифазний пристрій.

Дубовик В.Г., Лебедев Л.Н., Докшина С.Ю.,

Стасюк И.К.

ТРЕХФАЗНОЕ УСТРОЙСТВО ОЧИСТКИ ТРЕХ ТРУБ ОТ АСФАЛЬТОСМОЛОПАРАФИНОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ

В статье отмечены недостатки известного устройства одновременной очистки нескольких труб от асфальтосмолопарафиновых отложений и предложена улучшенная конструкция для более эффективной очистки.

Ключевые слова: асфальтосмолопарафиновые отложения, очистка, трубы, трехфазное устройство.

Dubovyk Volodymyr, Lebedev Lev, Dokshyna Sofiia, Stasiuk Ivan

THE THREE-PHASE DEVICE FOR THE THREE PIPES CLEANING FROM HEAVY OIL DEPOSITS AND ASPHALTENE SEMIDENTS

The article pointed out the shortcomings of the existing devices simultaneous cleaning of a several pipes from heavy oil deposits and asphaltene semidents and the proposed improved design of the device for better cleaning of pipes.

Keywords: Heavy oil deposits and asphaltene sediments in pipes, the three-phase device for the three pipes cleaning.

Мета роботи: підвищення ефективності очищення внутрішніх поверхонь труб від асфальтосмолопарафінових відкладень шляхом контрольованого одночасного прогрівання трьох труб для очищення по всій їх довжині за допомогою трифазної установки.

Асфальтосмолопарафінові відкладення (АСПВ) на внутрішньосвердловинному обладнанні серйозно ускладнюють видобуток нафти і призводять до зниження її обсягів. Для деяких свердловин, якщо не застосовуються технології попередження появи АСПВ, скорочується межочистний та міжремонтний періоди їх роботи. Інтенсивне утворення АСПВ може призводити до повного перекриття підземних труб і кільцевих каналів в затрубному просторі, що викликає необхідність проведення підземних ремонтів в цілях депарафінації свердловин.

Згідно класифікації АСПВ, що характеризує вплив нафтових компонентів на формування дисперсної фази в нафтовій системі, що виражається відношенням $S+A/P$ (де S - смоли, A - асфальтени, P - парафіни). Якщо співвідношення $S+A/P < 1$, то дисперсні частинки є парафінами і АСПВ відноситься до типу P і має температуру плавлення $+74^{\circ}\text{C}$ [1].

АСПВ являють собою темно-коричневу, чорну тверду або густу мазеподібну масу високої в'язкості, яка при підвищенні температури знижується незначно, а при температурі плюс 320°C перетворюється в тверду речовину, що втрачає плинність.

На рис. 1 показаний вигляд перерізу труби при наявності асфальтосмолопарафінових відкладень. Існує кілька основних способів боротьби з АСПО: механічний, тепловий, хімічний, фізичний.

Асфальтосмолопарафінові речовини, що знаходяться в нафті, можуть випадати в приви́бійній зоні пласта, на різних ділянках внутрішньосвердловинного та наземного обладнання. Товщина відкладень і утриманого в них парафіну збільшується по мірі наближення до гирла свердловини. Теплові методи счистки засновані на здатності парафіну плавитися при температурах вище 50°C і стікати з нагрітої поверхні. Для створення необхідної температури потрібне спеціальне джерело тепла, яке може бути розміщене безпосередньо в зоні відкладень, або необхідно виробляти тепловмісний агент в гирлі свердловини. У разі колійного електропідігріву енерговитрати можуть становити близько $115 \text{ Вт}\cdot\text{год/м}$ і вище [2].



Рисунок 1 – Вигляд перерізу труби при наявності асфальтосмолопарафінових відкладень

Для одночасного очищення декількох труб від асфальтосмолопарафінових відкладень, демонтованих з нафтових свердловин можна використати відомий пристрій, що забезпечує нагрів труб до температури, що перевищує температуру плавлення відкладень, за допомогою нагрівача. Він має низьку ефективності, а також затрудняється контроль за температурним режимом і якістю очищення кожної окремої труби [3]. Також можна використати пристрій очищення труб від асфальтосмолопарафінових відкладень [4], що містить теплоізований корпус всередину якого вводять труби для очистки, індукційний нагрівач, обмотки якого підключені до джерела змінного струму промислової частоти через перетворювач частоти, термодатчик, вихід якого приєднаний до керуючого входу перетворювача частоти, але він забезпечує очищення внутрішніх поверхонь тільки одної труби, а обмотки індукційного нагрівача намотані на корпус, який має великий повітряний проміжок між обмоткою та магнітопроводом.

Запропоновано пристрій з підвищеною ефективністю очищення за рахунок одночасного контрольованого нагріву відразу трьох труб по всій їх довжині, відсутності великого повітряного зазору між обмоткою та магнітопроводом з симетричним навантаженням на мережу живлення нагрівача. Нагрівання одночасно відразу трьох труб по всій їх довжині зменшує загальний час нагріву і значення величини теплових втрат в порівнянні з посекційним нагрівом. За допомогою трьох однофазних магнітопроводів з обмотками формують трифазну систему, яка симетрує навантаження на мережу живлення. Обмотки намотують навколо магнітопроводів, що мають значно менший переріз ніж корпус нагрівача. Повітряний проміжок між обмоткою і магнітопроводом значно менший ніж між обмоткою корпусу і індуктором, обмотки розміщені концентрично, що дозволяє економити активні матеріали, а також підвищує енергетичні показники нагрівача та ефективність використання пристрою.

На рис. 2 зображений загальний вигляд трифазного пристрою очистки трьох труб від асфальтосмолопарафінових відкладень, який містить труби 1 для очищення і три струмопровідні труби 2, які виконують роль теплоізованого корпусу і в середину вводять труби що очищують. Струмопровідні труби 2 розділені на дві

паралельні трифазні секції за допомогою електричних перемичок 3 по краях і середині труб. Середні електричні перемички пропущені через вікна магнітопроводів 4, охоплених обмотками 5. Середні перемички з'єднані за схемою «зірка». Навантаження цієї «зірки» є дві паралельні трифазні секції з половинок трьох труб. Виводи обмоток 5 магнітопроводів 4 також сполучені за схемою «зірка». Входи обмоток приєднані до мережі змінного струму промислової частоти U_M через перетворювач частоти 6.

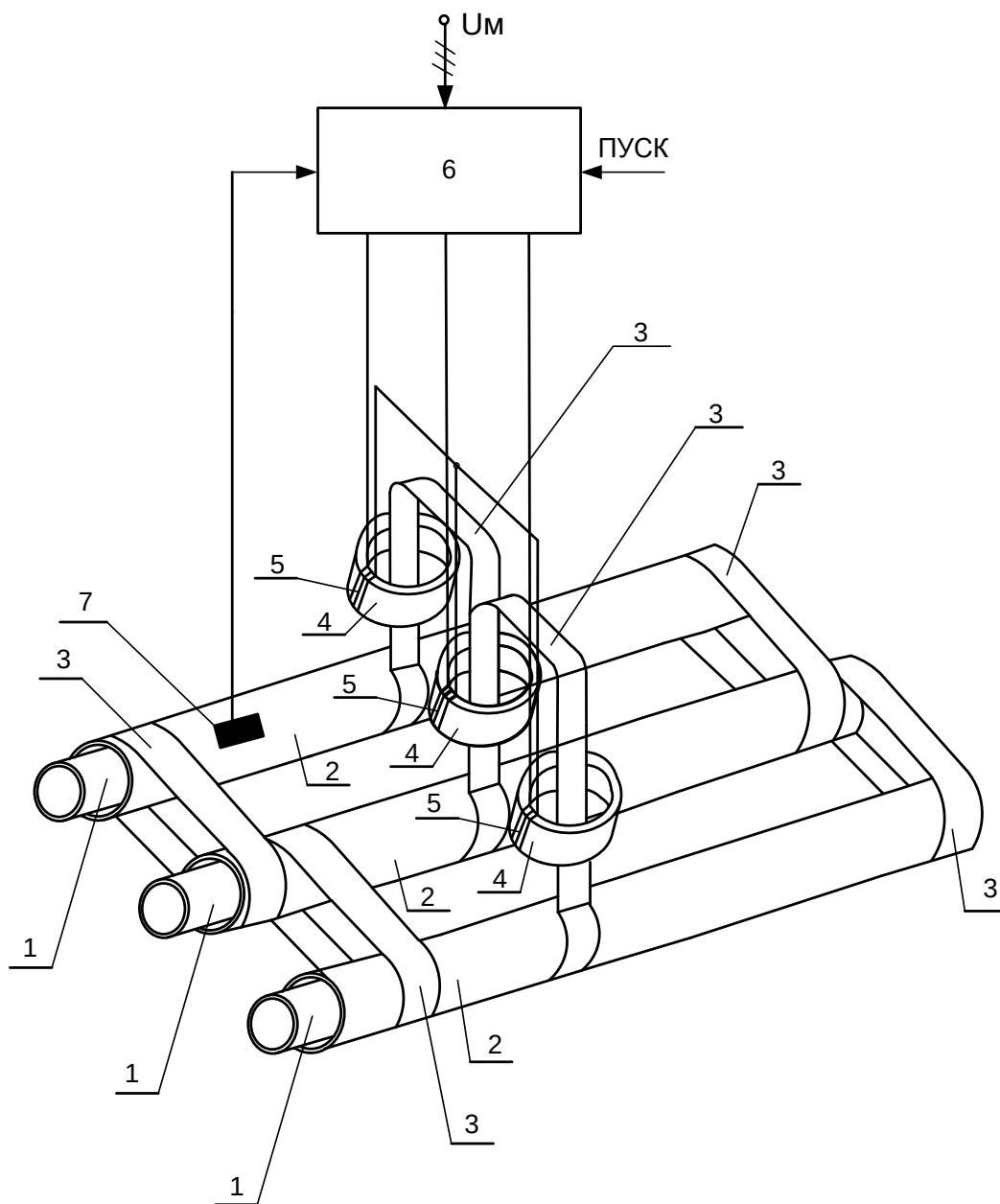


Рисунок 2 – Загальний вигляд трифазного пристрою очистки трьох труб від асфальтосмолопарафінових відкладень.

Перший керуючий вхід перетворювача частоти 6 сполучений з виходом термодатчика 7, розташованого на поверхні струмопровідної труби, другий – з ланкою сигналу «ПУСК». Теплоізоляційний шар струмопровідних труб на рис. 1 не показаний [5]. Кожен однофазний трансформатор групи звичайно має менші габарити і масу, чим один трифазний силовий трансформатор на повну потужність групи. Крім того, при

груповому трансформаторі, як резерв, досить мати один однофазний трансформатор (третина потужності групи), тоді як при одному трифазному трансформаторі в резерві доводиться встановлювати інший трансформатор на повну потужність.

Працює пристрій таким чином. Подають напругу промислової частоти на перетворювач частоти 6, з виходу якого напруга вже з підвищеною частотою поступає на однофазні обмотки 5 магнітопроводів 4, які створюють трифазну групу. Під дією трифазних струмів, що протікають по обмотках магнітопроводів 4, сполучених в «зірку», в двох паралельних трифазних одновиткових секціях наводяться ЕРС в декілька вольт, під дією якої в одновиткових секціях протікають струми в декілька кілоампер. Ці струми протікають по електричних перемичках 3 і стінках струмопровідних труб 2. Між струмопровідними трубами 2 і розташованими в них трубами для очистки протікає частина струмів за рахунок механічного і електричного контакту. Таким чином, нагрів труб 1, що очищують проходить за допомогою теплового випромінювання, теплопровідності в місцях механічного контакту із струмопровідними трубами і тепла, що утворюється при протіканні частини струмів по трубах для очистки. Тепло від стінок труб 1, що очищують, передається асфальтосмолопарафіновим відкладенням, внаслідок чого вони нагріваються і починають плавитися спочатку біля стінок, виконуючи роль матеріалу, що змашує для відкладень, які не встигли розплавитися, а далі і по всьому внутрішньому об'єму. Під дією сили тяжіння в трубах, розташованих під кутом до горизонту, та зовнішніх сил, наприклад тиску повітря, асфальтосмолопарафінові відкладення, що не встигли повністю розплавитися видаляються в ємність для подальшої переробки.

Висновок. При використанні запропонованої трьохтрубної трифазної установки підвищується ефективність процесу очищення внутрішніх поверхонь труб від асфальтосмолопарафінових відкладень шляхом контрольованого одночасного прогрівання трьох труб для очищення, по всій їх довжині та підвищується ефективність її використання.

Література

1. Тронов В.П. Механизм образования смоло-парафиновых отложений и борьба с ними. - М.: Недра, 1970. - 192 с.
2. Коршак А.А., Шаммазов А.М. Основы нефтегазового дела: учебник для вузов. Уфа: ООО «ДизайнПолиграфСервис», 2009. - С. 544.
3. Патент России № 2169627, МПК В08В9/02. Способ очистки труб от асфальтосмолопарафиновых отложений. Лобарев И.В., Евдокимов А.Л. Опубл. 27.06.2001.
4. Патент России №2437726. МПК В08В 9/00. Устройство очистки труб от асфальтосмолопарафиновых отложений. Орлов А.И., Попов И.И., Соловьев В.Г., Зелди И.П. Опубл. 27.12.2011.
5. Патент України на корисну модель №84309 . МПК В08В 9/027 . Трифазний пристрій очищення трьох труб від асфальтосмолопарафінових відкладень. Лебедев Л.М., Дубовик В.Г., Лебедев М.М., Приходько С.О. Бюл. №19, 2013.

УДК 621.316.9

Дубовик В.Г., Лебедев Л.М.,

Александрова І.В

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

**ОСОБЛИВОСТІ СТРУМОВОГО ЗАХИСТУ ЕЛЕКТРОДВИГУНА
З УРАХУВАННЯМ ЙОГО ТЕПЛОВОГО СТАНУ**

У статті показано, що для зменшення збитку, пов'язаного з простоем технологічного устаткування унаслідок аварій асинхронних електродвигунів, можна розпізнавати аварійні ситуації в режимах з частими пусками.

Ключові слова: асинхронний електродвигун, аварійні режими, контроль теплового стану.

Дубовик В.Г., Лебедев Л.Н., Александрова И.В.

**ОСОБЕННОСТИ ТОКОВОЙ ЗАЩИТЫ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ
С УЧЕТОМ ЕГО ТЕПЛОВОГО СОСТОЯНИЯ**

В статье показано, что для уменьшения ущерба, связанного с простоем технологического оборудования, вследствие аварий асинхронных электродвигателей, можно распознавать аварийные ситуации в режимах с частыми пусками

Ключевые слова: асинхронный электродвигатель, аварийные режимы, контроль теплового состояния.

Dubovyk Volodymyr, Lebedev Lev, Aleksandrova

Iryna

**FEATURES CURRENT PROTECTION OF THE MOTOR
TAKING INTO ACCOUNT ITS THERMAL STATE**

The article shows that for diminishing of harm, related to the outage of technological equipment because of failures of asynchronous electric motors, it is possible to recognize their emergency situations with frequent modes launches.

Keywords: asynchronous motor, emergency operation, monitoring the thermal state.

Мета роботи. Дослідження та вибір способу струмового захисту електродвигуна з урахуванням його теплового стану.

Основний вид двигунів у промисловості, на транспорті і в побуті - асинхронні електродвигуни (АД), з яких до 10% у результаті аварій щорічно виходять з ладу. Це призводить до важких аварій і великого матеріального збитку, пов'язаного з простоем технологічного обладнання, усуненням наслідків аварій та ремонтом пошкоджених електродвигунів. Для захисту від аварійних режимів використовують електричний захист, захист електродвигунів від коротких замикань, перевантаження, пониження або зникнення напруги, а також спеціальний захист електродвигунів від роботи на двох фазах та ін.

Практика експлуатації (АД) свідчить, що 80% аварій відбувається через відсутність або несправність апаратів захисту, невідповідності характеристик асинхронного двигуна і засобів захисту. Тому питанню вдосконалення захисту, підвищення її ефективності, зниження витрат на застосування повинна приділятися постійна увага, особливо в умовах максимального використання електротехнічних матеріалів в сучасних двигунах.

Всі показники експлуатаційної надійності пов'язані і визначають показники використання електродвигунів і витрати грошових коштів на виконання

відновлювальних робіт:

- зростання ресурсу електродвигунів веде до зменшення числа капітальних ремонтів і зниження витрат на них;
- підвищення безвідмовності електродвигунів призводить до зменшення витрат на усунення наслідків відмов;
- забезпечення необхідної ймовірності безвідмовної роботи дозволяє отримати якісну промислову продукцію;
- поліпшення ремонтпридатності електродвигунів знижує витрати праці, часу і коштів на планові ремонти, технічне обслуговування та усунення наслідків відмов.

Контрольованими параметрами можуть бути струм двигуна, температура обмоток, момент на валу, струм витоку, напруга та ін. Для нестационарних теплових режимів необхідно враховувати температуру в найбільш нагрітій точці обмотки двигуна.

Теплові перехідні процеси в вузлах електродвигунів і їх специфічні особливості з достатнім ступенем точності можна описати за допомогою еквівалентних теплових схем (ЕТС) заміщення. Однак їх використання має певні труднощі. Перш за все, їх використовують при визначенні пасивних параметрів ЕТС. Пасивні параметри (теплопровідність і теплоємність) знаходяться в складній функціональній залежності від геометричних розмірів, режиму роботи системи охолодження і т.п.

Аналіз статистичних даних свідчить, що основні аномальні режими (перевантаження, зниження напруги, обрив фазного дроту) супроводжуються збільшенням струму електродвигуна, що викликає нагрів його обмоток і температурний захист забезпечує його захист, але передавальна характеристика температурного захисту не в повному ступені відповідає перевантажувальній характеристиці електродвигуна [1].

В відомому способі захисту електродвигуна, що включає безперервне вимірювання струму електродвигуна, формування сигналу пропорційного квадрату струму електродвигуна, усереднювання вказаного сигналу в часі, відключення електродвигуна від мережі при перевищенні гранично допустимої тривалості струмового перевантаження. Недоліком відомого способу є те, що він має низьку надійність по тому, що усереднення сигналу струму навантаження здійснюється на конкретному, прийнятому за допомогою розрахунку часу усереднення, яке не враховує тепловий стан електродвигуна перед пуском [2].

В другому відомому способі захисту електродвигуна проводиться безперервне вимірювання амплітудних значень струмів електродвигуна, визначення значень їх квадратів, формування часового ряду квадратів струмів, видалення останнього значення часового ряду при надходженні чергового значення квадрата струму електродвигуна, зміщення на крок уперед вмісту елементів пам'яті часового ряду, встановлення на перше місце часового ряду знов вимірюваного значення квадрата струму і підсумовування його до вмісту решти елементів пам'яті, при перевищенні суми квадратів струму в будь-якому елементі пам'яті заданого рівня формують сигнал на відключення електродвигуна від мережі живлення. Недоліком способу є низька надійність захисту при короткочасних повторних пускових навантаженнях електродвигуна, так як, не враховується тепловий стан на момент чергового його пуску [3].

Крім того, вимірюються еквівалентні струми з часом усереднення від Δt до $n \cdot \Delta t$, де Δt – крок дискретизації контрольованого часового інтервалу; n – кількість кроків; $n \cdot \Delta t = (3..4)T_n$; T_n – тепла стала часу нагріву електродвигуна. Такий спосіб дозволяє захищати електродвигун не залежно від значення та тривалості його перевантаження, але при частих пусках електродвигуна, підвищується вірогідність його теплового перевантаження, тому що не враховується кількість та тривалість попередніх пусків. При змінному характері навантаження контролюється еквівалентне по теплових втратах значення струму, яке розраховують за конкретний проміжок часу. Якщо

еквівалентний струм контролюють на коротких проміжках часу, наприклад, секундах, то при усередненні виявити незначні в (5-10)% але тривалі струмові перевантаження неможливо. Якщо еквівалентний струм визначають на тривалих проміжках часу усереднення, наприклад, десятках хвилин, то неможливо вчасно відключити електродвигун при перевантаженнях пусковими струмами.

Двигуни загальнопромислового призначення основного виконання можуть працювати в різних режимах відповідно до ГОСТ 28173 (МЭК 60034-1). Наприклад, при періодично повторно-короткочасному режимі S4 з впливом пускових процесів відбувається послідовність ідентичних циклів роботи, кожен з яких включає час пуску Δt_0 , час роботи при постійному навантаженні Δt_p , за яке двигун не нагрівається вище за допустиму температуру $\Theta_{\max}$, і час стоянки Δt_R , за який двигун не охолоджується до температури навколишнього середовища.

Допустиме число пусків Z двигуна в годину, що має динамічний момент інерції ротора J_M , кг·м², що працює в режимі S4 із статичним навантаженням на валу, визначуваним потужністю P_2 , кВт, і динамічним навантаженням, визначуваним динамічним моментом інерції електродвигуна J_{EXT} , кг·м², орієнтовно можна визначити по формулах:

$$Z = Z_0 \cdot \frac{K_M \cdot K_p}{F_j}; \quad K_M = 1 - \frac{m_{cm.cp}}{m_{o.cp}};$$

$$K_p = 1 - \left(\frac{P_2}{P_{2H}} \right) \cdot \frac{(1 - K_0) \cdot \frac{ПВ}{100}}{(1 - K_0) \cdot \frac{ПВ}{100} + \left(1 - \frac{ПВ}{100} \right) \cdot \beta_0};$$

$$F_j = \frac{J_M + J_{EXT}}{J_M}; \quad m_{o.cp} = \frac{m_n + 2 \cdot m_k + 2 \cdot m_M + 1}{6};$$

де: Z_0 - допустиме число пусків в годину двигуна без статичного і динамічного навантаження на валу;

$m_{СТ.СР}$ - відносне значення середнього за час розгону статичного моменту двигуна;

$m_{Д.СР}$ - відносне значення середнього за час розгону моменту обертання двигуна.

Час розгону двигуна Δt_0 , с, до номінальної швидкості обертання визначається по формулі:

$$\Delta t_0 = 0,109 \cdot \left(\frac{n_1}{100} \right) \cdot \frac{J_M + J_{EXT}}{P_{2H}} \cdot \frac{1}{m_{o.cp} \cdot m_{cm.c3}};$$

При зміні окремих періодів повторно-короткочасного режиму відбувається струмове перевантаження електродвигуна і його температура може перевищувати допустиме значення $\Theta_{\max}$.

Для підвищення надійності захисту електродвигуна від струмових перевантажень з урахування теплового стану електродвигуна в момент його пуску запропоновано спосіб захисту електродвигуна від струмових перевантажень, включає вимірювання струмів електродвигуна, визначення значень їх квадратів, формування часового ряду часткових сум квадратів струмів, видалення останнього значення цього часового ряду при надходженні чергового значення квадрата струму електродвигуна, зміщення на крок вперед складових усіх елементів часового ряду, встановлення на перше місце часового ряду нового вимірюваного значення квадрата струму і підсумовування його до складових решти елементів часового ряду, формування сигналу на відключення електродвигуна від мережі при перевищенні заданого рівня сум квадратів струму в будь-якому елементі часового ряду. Крім того формують першу ланку з інформаційних точок часового ряду з часом усереднення кратним часу дискретизації давачів струмів фаз електродвигуна, а кожен наступну ланку формують з

інформаційних точок з часом усереднення кратним часу усереднення інформаційних точок першої ланки, також продовжують формувати часовий ряд на період з моменту формування сигналу на відключення електродвигуна до моменту обнуління всіх складових елементів часового ряду, або впродовж 3 .. 4 постійних часу нагріву електродвигуна після його фактичного відключення від мережі живлення [4].

Здійснюється спосіб наступним чином. Вимірюють значення струмів електродвигуна з дискретністю Δt . Формують інформаційні точки, усереднюючи виміряні значення на інтервалі часу $n \cdot \Delta t$. Визначають значення квадратів інформаційних точок, далі з них формують часовий ряд часткових сум квадратів струмів. При надходженні чергового значення квадрата струму електродвигуна, видаляють останнє значення та зміщують на крок вперед складові усіх елементів пам'яті часового ряду. На перше місце ставлять останнє значення квадрата струму і підсумовують його до складу решти елементів часового ряду. При перевищенні заданого рівня суми квадратів струмів в будь-якому елементі часового ряду формують сигнал на відключення електродвигуна від мережі живлення. Довжину часового ряду вибирають завдовжки (3...4) теплової постійної часу нагріву електродвигуна. Щоб скоротити m – кількість елементів, часовий ряд формують з ланок з наростаючою кратністю часу усереднення інформаційних точок $n_1 < n_2 < n_n$. Наприклад, першу ланку формують з інформаційних точок тривалістю в секунди, а другу - в хвилини. Таким чином, кількість елементів двохланкового часового ряду зменшується приблизно в 50...60 разів.

Продовжують формувати часовий ряд на період з моменту формування сигналу на відключення електродвигуна до моменту обнуління всіх складових елементів часового ряду, або впродовж 3 .. 4 постійних часу нагріву електродвигуна після його фактичного відключення від мережі живлення.

Визначення гранично допустимих значень сум квадратів струму в кожному елементі часового ряду проводять виходячи, наприклад, з рекомендацій для реле з витримкою часу.

Гранично допустиме значення сум квадратів струмів m -ного елементу часового ряду дорівнює:

$$\sum_1^n I_{екв}^2 = n I_{ном}^2 \left[\left(\frac{K}{n \Delta t} \right) + 1 \right];$$

де n - порядковий номер елементу часового ряду, $I_{ном}^2$ – номінальний струм електродвигуна в квадраті, K – постійна, Δt – період дискретизації.

Порівнюють значення часткових сум квадратів струму в елементах часового ряду з їх гранично допустимими значеннями. При виході за межі хоча б в одному з елементів часового ряду значення часткових сум квадратів струму формують сигнал на відключення електродвигуна від мережі, що дозволяє контролювати криву припустимого навантаження від часу в усьому діапазоні дозволених струмових перевантажень з урахуванням теплового стану електродвигуна перед пуском.

Таким чином, запропонований спосіб дозволяє досягти поставлену задачу - підвищити надійність захисту електродвигуна від струмових перевантажень, включаючи режими з частими пусками.

Література

1. Гелекс Р.Г. Неисправности электрических машин / Под ред. Р.Б.Уманцева. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1989. – 336 с.
2. Авторское свидетельство СССР № 1365226 А1, МПК H02H 5/04, 7/08. Аистов В.В., Левашов Б.И., Медяков И.Н. Способ тепловой защиты электродвигателя

следящей системы. Оpubл. 07.01.88.

3. Патент України UA 42964, МПК H02 H 7/08. Дубовик В.Г., Лебедев Л. М. Спосіб захисту електродвигуна. Оpubл. 27.07.2009.

4. Патент України на корисну модель №101074, МПК H02H7/08. Спосіб захисту електродвигуна від струмових перевантажень Лебедев Л.М., Дубовик В.Г., Захарчук О. О., Поворознюк О.М. Бюл. №16, 2015.

УДК 621.311:621.331

Зав. Кафедри АУЕК, доктор технічних наук, професор **В.П. Розен**;
аспірант **ДЕМЧИК Я.М.**

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ МЕТОДІВ ПРОГНОЗУВАННЯ СПОЖИВАННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ВИРОБНИЧИХ СИСТЕМ

В даній статті досліджується використання методів експоненціального згладжування прогнозування споживання електричної енергії підприємства харчової галузі. Основною метою являється дослідження впливу експоненціального згладжувань на прогнозування електроспоживання та точність при різних показниках згладжування. Використання сучасних способів збору інформації дозволяє приймати точні рішення. В цій статті представлено різні методи прогнозування з використанням статистичних даних отриманих за допомогою пристроїв збору даних. Дане дослідження дозволить використовувати методи в простому прогнозуванні при використанні статистичних інструментів. Результати можуть використовуватися в електроенергетиці при попередньому прогнозуванні споживання електроенергії. Запропоновані методи показують як правильно використовувати моделі експоненціального згладжування та які з них являються найбільш точнішими.

Ключові слова: електроспоживання, підприємство харчової галузі, експоненціальне згладжування, прогнозування.

Вступ.

У сучасних умовах одним з важливих завдань є формування відносин між суб'єктами енергоринку, зокрема між споживачем та енергопостачальною компанією. Прогнозування електроспоживання харчових підприємств є одним моментів планування діяльності всього підприємства, а також харчової промисловості в цілому. Для виробника електричної енергії прогноз потрібний для оптимізації поставки і резервування електроенергії, проведення профілактичних робіт і забезпечення безпеки функціонування електроенергетичної системи (ЕЕС). Споживачу прогноз необхідний для мінімізації похибок, пов'язаних з платою штрафів при перевищенні лімітів по потужності і з передплатою за заявлену, але не використану потужність, а також з простоем технологічного обладнання в випадку дефіциту потужності в ЕЕС [1, 2].

Прогнозування режимних параметрів і техніко-економічних показників є одним із важливих завдань, як при прогнозуванні, так і при веденні діючих режимів енергообладнання підприємства. Складаючи плани за різними показникам на наступну добу, тиждень, місяць, квартал, рік, служба головного енергетика підприємства повинна вирішувати задачу прогнозування енергобалансу - співвідношення між потребою в електроенергії (потужності) і засобами її задоволення. Одним з показників при прогнозуванні є рівень очікуваного електро-споживання в цілому по підприємству. У цьому сенсі величина прогнозу електроспоживання є опорним показником для прогнозування балансів електроенергії та потужності. Необхідність точного

прогнозування споживання електроенергії обумовлена технологічними і економічними причинами підприємства.

Точність прогнозних розрахунків визначається відповідністю застосовуваних математичних моделей процесу коливань споживання електроенергії. В цілому дані коливання являють собою складний нестационарний випадковий процес, який має певні циклічності (регулярні коливання) [3]. При застосуванні математичних моделей і програмних засобах фахівці служби головного енергетика підприємства зазвичай обмежуються усередненими за минулі періоди значеннями. Таку методику розрахунків очікуваних планових величин називають зазвичай «ручним прогнозом». Спрощене, «ручне» прогнозування споживання може давати досить високі значення математичного очікування помилок, широкий довірчий інтервал і практично не застосовується для швидких оперативних розрахунків в темпі процесу [4, 5, 6].

Мета і завдання.

Метою роботи є дослідження моделей експоненціального згладжування при прогнозуванні електроспоживання підприємства харчової промисловості для забезпечення достатньої точності середньострокового прогнозування шляхом врахування впливу виробничих, режимних та інших факторів на індивідуальні режими електроспоживання.

Останні публікації

Питання прогнозування електроспоживання займалися такі провідні українські вчені, як Праховник А.В. [1], Розен В.П. [1, 2], Дегтярев В.В. [1], Бевчая Е.А. [2], Івахненко А.Г. [3] та інші. За останні роки прогнозування електроспоживання застосовувало різні методи та моделі. Аналіз попередніх років показує, що найпростішим та найкращим способом прогнозування електроспоживання запропоновано метод згладжування. У запропонованому алгоритмі значення рівня, тенденції і сезонності згладжуються за допомогою експоненціального згладжування. При цьому параметри згладжування можуть бути різними. Головне, що завжди можна підібрати такі параметри згладжування, які дають велику точність моделі на тестовому наборі і потім використовувати ці параметри при реальному прогнозуванні [9].

Матеріал та результати дослідження.

Під час аналізу моделей експоненціального згладжування було використано статистичні дані електроспоживання підприємства харчової промисловості. Часовий ряд включає щомісячне електроспоживання підприємства в період з березня 2012 по листопад 2015 рр. та наведений на рисунку 1.

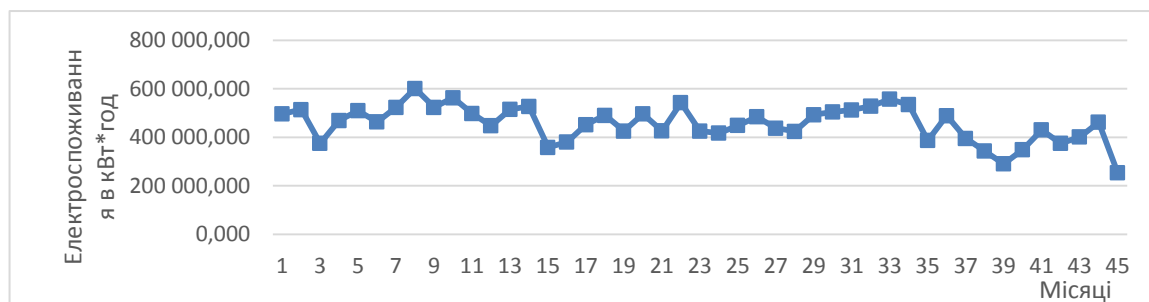


Рис. 1 - Часовий ряд спостережень електроспоживання підприємства харчової промисловості

Аналіз методів експоненціального згладжування

Частіше для описання часових рядів з характеристиками що варіюються найбільше часто використовують метод експоненціального згладжування [7]. Цей метод застосовується для кількісної оцінки впливу яке надає на прогнозний показник попередні члени динамічного ряду з врахуванням їх віддаленості від кінця розглянутої послідовності змінних величин.

При використанні метода експоненціального згладжування степінь дії кожного члена динамічного ряду на величину змінної у в майбутньому розподіляється в відповідності з експоненціальним законом. Це означає, що дія замикаючих впливів відбивається на прогнозних оцінках помітніше чим вплив початкових рівнів ряду [7].

Експоненціальне згладжування являється простим варіантом самонавчальної моделі. Обчислення виконуються ітеративно. Вони потребують менше арифметичних операцій, чим для моделей зі змінним середнім $S_t = \frac{1}{\tau} \sum_{i=t-\tau}^t x_{t-i}$. Масив передісторії зменшується до одного значення S_{t-1} . Експоненціальне згладжування завжди використовують попереднє значення експоненціальної середньої:

$$\bar{x}_t = \alpha x_t + (1 - \alpha) S_t \quad (1)$$

Де $0 < \alpha < 1$ параметр згладжування. Коли процес тільки починається, повинна бути деяка величина S_0 , наприклад, середнє значення $S_0 = \frac{1}{\tau} \sum_{i=\tau}^t x_i$, яке може бути використано в якості значення, попереднього S_1 . Розглянемо ряд, генерований моделлю:

$$x_t = a + \zeta_t$$

де $a = \text{const}$; ζ_t – випадкові неавтокорельованні відхилення, або шум із середнім значенням 0 і дисперсією σ^2 . Використаємо до нього процедуру експоненціального згладжування (1). Можна показати, що:

$$S_t = \alpha \sum_{i=0}^{N-1} \omega^i x_{t-i} + S_0 \omega^N,$$

Являється зваженою сумою всіх членів ряду. Так як $\omega < 1$ ($\omega = 1 - \alpha$), то при $N \rightarrow \infty$ $\omega^N \rightarrow 0$, $\alpha \sum_{i=0}^{N-1} \omega^i \rightarrow 1$. $S_t = \alpha \sum_{i=0}^{\infty} \omega^i x_{t-i} = a + \alpha \sum_{i=0}^{\infty} \omega^i \zeta_{t-i}$. Відповідно експоненціальне згладжування можна представити як фільтр, на вхід якого в вигляді потоку послідовно поступають члени вихідного ряду, а на виході формуються значення експоненціальної середньої. При цьому ваги зменшують експоненціального в залежності від давності спостереження. Чим менше α , тим в більшій степені фільтрується коливання вихідного ряду.

Найдемо математичне очікування $M(S_t) = M(x_t) = a$ і дисперсія:

$$D(S_t) = M[(S_t - a)^2] = M[(\alpha \sum_{i=0}^{\infty} \omega^i \zeta_{t-i})^2] = \alpha^2 \sum_{i=0}^{\infty} \omega^{2i} \sigma^2 = \sigma^2 \frac{\alpha}{2 - \alpha}.$$

Так як $0 < \alpha < 1$, то $D(S_t) = D(x_t) = \sigma^2$. Як видно при великому значенні α дисперсія експоненціального середнього незначно відрізняються від дисперсії ряду x_t . Таким чином, експоненціальна середня S_t має те, що математичне очікування, що і ряд x_t но меншу дисперсію. Чим менше α тим в більшій степені зменшується дисперсія експоненціальної середньої. Експоненціальне середнє використовується для прогноз в момент t на період попередження l : $x_t(l) = S_t = S_{t-1} + \alpha(x_t - S_{t-1})$. Новий прогноз отримуємо коригуванням попереднього прогнозу з врахуванням його похибки. Оскільки будь-яка дискретно-безперервна функція може бути представлена у вигляді суми ступінчатих функцій виду: $a_t = a_l l(t)$, то передбачається, що часовий ряд генерується моделлю $x_t = a_t + \zeta_t$, де – в загальному випадку є випадкова величина. При короткостроковому прогнозуванні бажано відобразити зміну x_t і в той же час найкращим чином очистити ряд від випадкових коливань ζ_t . Для цього, з одного боку, необхідно збільшити вагу більш свіжих спостережень, що можна досягти збільшенням α , а з іншого боку для згладжування випадкових відхилень величину α потрібно зменшити. Як видно, ці дві вимоги знаходяться в протиріччі. Пошук компромісний значення α становить завдання оптимізації моделі. В [8] було показано для прогнозування стаціонарного процесу з автокорреляційної функцією виду $\rho_i = \rho_1^i$, що мінімум середнього квадрата помилки при прогнозуванні такого ряду на 1 крок вперед ($l = i = 1$) буде при

$$\alpha_{opt} = \begin{cases} \frac{3\rho_1 - 1}{2\rho_1} & 1/3 < \rho_1 \leq 1 \\ 0 & -1 \leq \rho_1 \leq 1/3 \end{cases}$$

Де ρ_1 – коефіцієнт автокореляції при лагу 1. Якщо $l > 1$, то суттєво підвищується

критична величина $\rho_{1\text{крит}}$, нижче за яку оптимальне значення α_{opt} дорівнює 0. Якщо дані сильно корельовані $\rho_1 \leq 1/3$ і період попередження l малий, якось згладжувати не варто. Доцільно в якості прогнозу використовувати найбільш пізніше спостереження. Якщо $\rho_1 \leq 1/3$, то найбільший, що може дати найпростіша модель, це оцінка середнього рівня, навколо якого варіює процес [9]. Для короткострокових прогнозів значення α , як правило, потрібно брати великим, а для більш довгострокових меншим. Вибір конкретних значень параметрів α багато в чому визначається досвідом розробника.

Метод Хольта

Метод Хольта або експоненціального згладжування з лінійним трендом родоначальник методів адаптивного прогнозування [9]:

$$\begin{cases} S_t = \alpha(S_{t-1} + T_{t-1}) + (1 - \alpha)x_t \\ T_t = \nu(S_t - S_{t-1}) + (1 - \nu)T_{t-1} \end{cases} \quad (2)$$

в якому крім константи α використовуються константа ν згладжування тренда.

Метод Хольта-Вінтера

Метод Хольта-Вінтера або метод Вінтера, в якому фігурує додаткова константа η згладжування циклів з періодом p [9]:

$$S_t = \alpha(S_{t-1} + T_{t-1}) + (1 - \alpha) \frac{x_t}{Z_{t-p}}$$

$$Z_t = \eta(x_t/S_{t-1}) + (1 - \eta)Z_{t-p}$$

Оптимальне значення параметра p є те, яке мінімізує суму квадратів залишків

Результати дослідження

Загальне формулювання задачі дослідження являється те, як впливає модель експоненціального згладжування на точність прогнозу електроспоживання. Послідовні значення споживання електроенергії за період з березня 2012 - листопад 2015рр. Дані отримані зі статистики $x_1, x_2, \dots, x_n$. Графік часового ряду електроспоживання підприємства харчової промисловості рисунок 1.

Метод експоненціального згладжування при вибраних коефіцієнтах $\alpha=0,8$; $\alpha=0,1$. Як видно з графіка при $\alpha=0,8$ прогнозні дані більше мають форму фактичних даних, але похибка становить більше значення 2,39% і точність прогнозування 97,61% [табл. 1]. При $\alpha=0,1$ прогнозні дані менше схожі на фактичні, але похибка становить менше значення 2,21% і точність прогнозування 97,79% [табл. 1].

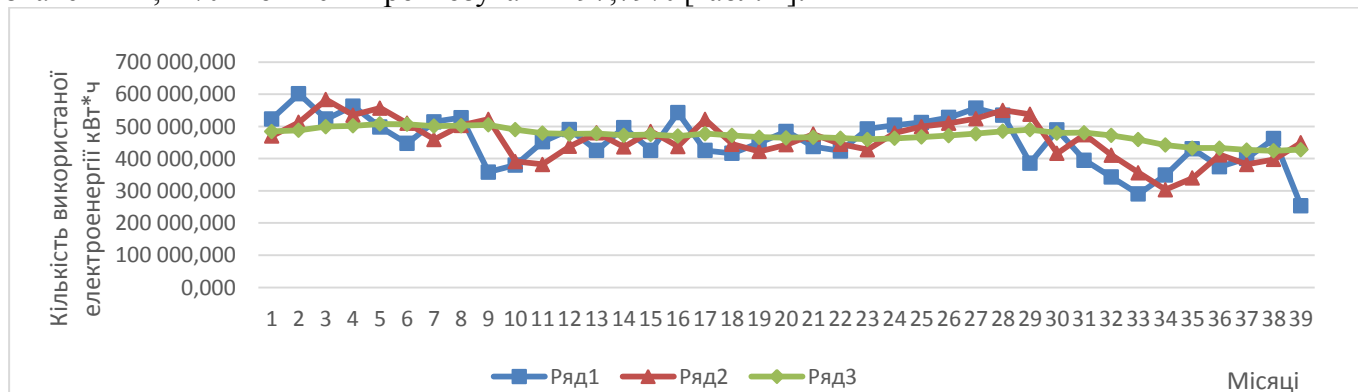


Рис. 2 – Порівняльний графік вихідного ряду 1 та прогнозних значень електроспоживання підприємства: при $\alpha=0,8$ – ряд 2; $\alpha=0,1$ – ряд 3.

Метод експоненціального згладжування при вибраних коефіцієнтах за формулою Брауна $\alpha=0,04$ та вибір початкових даних двома способами: 1 спосіб S_0 – середньоарифметичне значення показників за всі місяці – $S_0=456356,1$; 2 спосіб S_0 дорівнює початковому значенню вхідних даних дослідження – $S_0=496490,5$. Як видно з графіків при $\alpha=0,04$ та початкових значеннях 1- $S_0=456356,1$; 2- $S_0=496490,5$ прогнозні дані менше схожі на фактичні, але похибка складає менше значення:

- 1 спосіб похибка становить 2,26% і точність прогнозування 97,74% [табл. 1];
 2 спосіб похибка становить 2,22% і точність прогнозування 97,78% [табл. 1].

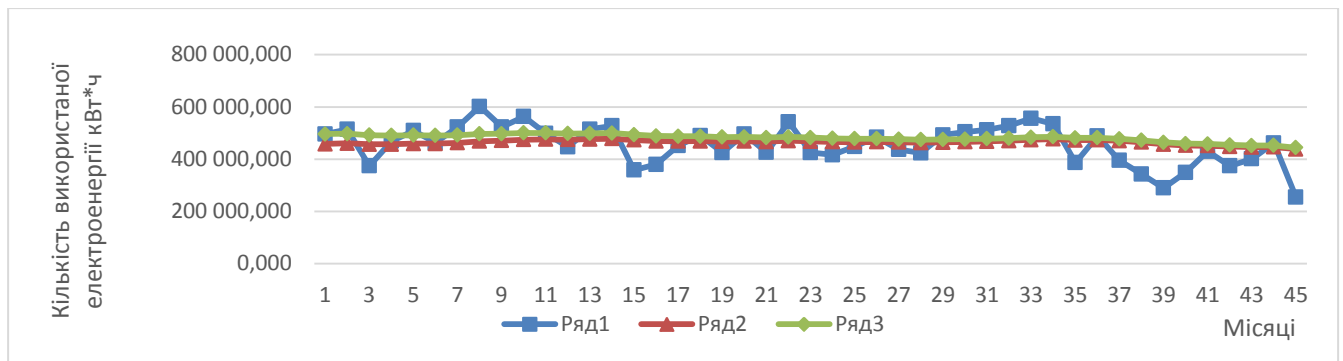


Рис. 3 – Порівняльний графік вихідного ряду 1 та прогнозних значень електроспоживання підприємства: при $\alpha=0,04$, $S_0=456356,1$ – ряд 2; $\alpha=0,04$, $S_0=496490,5$ – ряд 3.

Метод експоненціального згладжування з лінійним трендом (метод Хольта)
 $y = a + bx$ $b=1531,4$, $a=448484$ при вибраних коефіцієнтах та виборі початкових даних Як видно з графіків прогнозні дані не схожі на фактичні, при цьому похибка становить 3,38%, а точність прогнозу 96,62% [табл. 1].

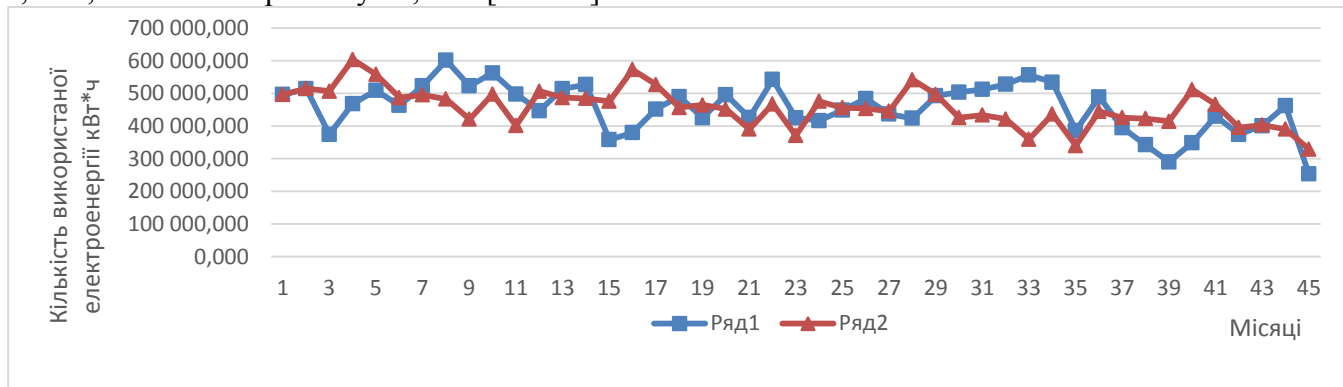


Рис. 4 – Порівняльний графік вихідного ряду 1 та прогнозних значень електроспоживання підприємства: при $b=1531,4$, $a=448484$ - ряд 2

Метод експоненціального згладжування (метод Хольта-Вінтера) при вибраних коефіцієнтах згладженого ряду $k=0,5$; згладженого тренда $b=0,9$; згладженого сезонності $q=0,5$ та виборі початкових даних Як видно з графіків прогнозні дані схожі на фактичні, при цьому похибка становить 4,79%, а точність прогнозу 95,21% [табл. 1].

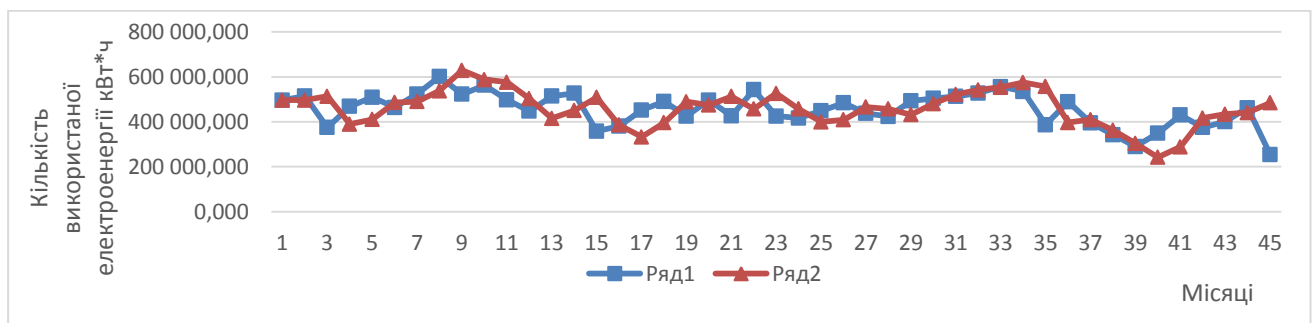


Рис. 5 – Порівняльний графік вихідного ряду 1 та прогнозних значень електроспоживання підприємства при коефіцієнтах згладженого ряду $k=0,5$; згладженого тренда $b=0,9$; згладженого сезонності $q=0,5$ – ряд 2.

Результати прогнозування та графіка точності прогнозування за різними моделями експоненціального згладжування наведено в таблиці 1 та рисунку 6.

Таблиця №1. Результати досліджень

Методи експоненціального згладжування	Коефіцієнти згладжування	Похибка прогнозування методу	Середньо-квадратична похибка
Експоненціальне згладжування першого порядку	$\alpha=0,8$	2,39%	97,61%
	$\alpha=0,1$	2,21%	97,79%
	Метод Брауна $\alpha=0,04$	2,26%	97,74%
		2,22%	97,78%
Експоненціальне згладжування з лінійним трендом (метод Хольта) рівняння тренда $y=bx+a$	$b=1531.4$	3,38%	96,62%
	$a=448484$		
Експоненціальне згладжування (метод Хольта-Вінтера)	Коефіцієнт згладженого ряду $k=0,5$	4,79%	95,21%
	Коефіцієнт згладженого тренда $b=0,9$		
	Коефіцієнт згладженого сезонності $q=0,5$		

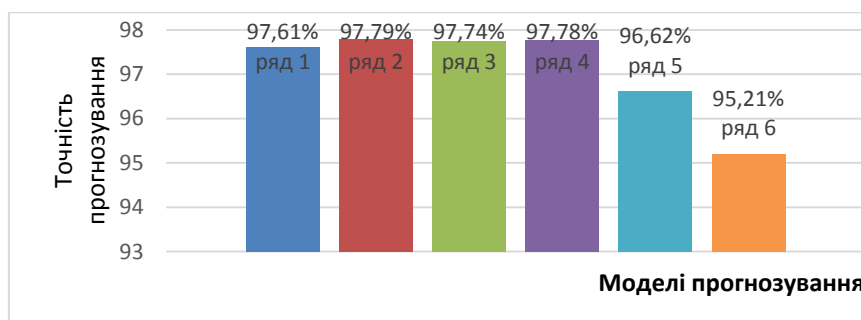


Рис. 6 – Порівняльний графік точності прогнозування електроспоживання підприємства за моделями експоненціального згладжування (див. табл. 1)

Висновки.

З аналізу моделей слідує, те, що кожна із моделей прогнозування являє собою логічне завершення, але всі вони мають як переваги так і недоліки:

дані методи мають відносно невелику похибку прогнозової моделі та являються методами швидкого прогнозування;

результати прогнозу сильно залежить від параметрів згладжування та інтервал, в межах якого змінюється параметр згладжування, дуже великий і змінюється при прогнозуванні різних часових рядів, при цьому виробити чіткі рекомендації по вибору параметра не вдається;

в отриманих результатів також можна отримати результат, що просте експоненціальне згладжування являється найбільш точнішим при прогнозування на середньострокові та довгострокові прогнози при цьому точність складає 97,79% і похибка моделі 2,21%.

також можна відзначити недолік метода Хольта-Вінтера тим що від являється менш точним та більш складним в прогнозуванні при цьому точність складає 95,21% і похибка 4,79%

Список літератури

1. Праховник А.В. Энергосбережение режимов электроснабжения горнодобывающих предприятий / А.В. Праховник, В.П. Розен, В.В. Дегтярев, – М.: Недра, 1985. – 232 с.
2. Бечвая Е.А. Прогнозирование спроса: методы и модели / Е.А. Бечвая, В.П. Розен, – Под общ. ред Старостиной А.А. – К.: ООП Коммунэкономика, 1996. – 196 с.
3. Ивахненко А.Г. Принятие решений на основе самоорганизации / А.Г. Ивахненко, Ю.П. Зайченко, В.Д. Димитров, - М.: «Сов. радио», 1976. – 280 с.
4. Макоклюев Б.И. Расчет и планирование режимных параметров, балансов мощности и электроэнергии АО-энерго и предприятий сетей с помощью программных комплексов «Энергостат» и «РБЭ». / Б.И. Макоклюев, - М.: Сборник докладов «Современные методы и средства расчета, нормирования и снижения технических и коммерческих потерь электроэнергии в электрических сетях» НЦ ЭНАС, 2000.
5. Макоклюев Б.И. Прогнозирование потребления электроэнергии в АО «Мосэнерго». / Б.И. Макоклюев, А.И. Владимиров, Г.И. Фефелова, – ТЭК N 4, 2001. - с. 56–57.
6. Ивашенко В.А. Модели автоматизированного прогнозирования электрических нарузов промишленных предприятий / В.А. Ивашенко, М.В. Колоколов, Д.А. Васильев // Управление большими системами. Выпуск 34 с.254 – 266.
7. Денискин В.В. Основы экономическоно прогнозирования в пищевой промышленности / В.В. Денискин, – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1984. – 192с.
8. Светуных И.С. Методы и модели социально-экономического прогнозирования / И.С. Светуных, С.Г. Светуных, - М.: Издательство Юрайт, 2014. – 351 с.
9. Лукашин Ю.П. Адаптивные методы краткосрочного прогнозирования временных рядов / Ю.П. Лукашин, – М.: Финансы и статистика, 2003. – 416с.

Зав. Кафедри АУЕК, доктор технічних наук, професор В.П. Розен;
аспірант ДЕМЧИК Я.М.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ МЕТОДІВ ПРОГНОЗУВАННЯ СПОЖИВАННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ВИРОБНИЧИХ СИСТЕМ

В даній статті досліджується використання методів експоненціального згладжування прогнозування споживання електричної енергії підприємства харчової галузі. Основною метою являється дослідження впливу експоненціального згладжувань на прогнозування електроспоживання та точність при різних показниках згладжування. Використання сучасних способів збору інформації дозволяє приймати точні рішення. В цій статті представлено різні методи прогнозування з використанням статистичних даних отриманих за допомогою пристроїв збору даних. Дане дослідження дозволить використовувати методи в простому прогнозуванні при використанні статистичних інструментів. Результати можуть використовуватися в електроенергетиці при попередньому прогнозуванні споживання електроенергії. Запропоновані методи показують як правильно використовувати моделі експоненціального згладжування та які з них являються найбільш точнішими.

Ключові слова: електроспоживання, підприємство харчової галузі,

експоненціальне згладжування, прогнозування.

**ROSEN V. P., doctor of technical Sciences, Professor, Y. M. DEMCHIK graduate
National technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute"**

COMPARATIVE ANALYSIS OF METHODS OF FORECASTING OF ELECTRICITY CONSUMPTION OF PRODUCTION SYSTEMS

Abstract.

This article examines the use of exponential smoothing methods for forecasting electrical energy consumption of the enterprises of the food industry. The main objective is to study the impact of exponential smoothing for forecasting of power consumption and accuracy at different rates of smoothing. The use of modern methods of gathering information to enable accurate decisions. This article presents the different forecasting methods using statistical data obtained by data capture devices. This study will allow to use simple methods in forecasting using statistical tools. The results can be used in the power industry in the preliminary forecasting of electricity consumption. The proposed methods show how to use exponential smoothing models and which ones are the most accurate.

Keywords: power consumption, the enterprise of the food industry, exponential smoothing, forecasting.

УДК 681.515+62-551.453

B.L. Tyshevych (Associated Professor at National Technical University of Ukraine "Kiev Polytechnical Institute")

A.A. Marchenko (Master Student at National Technical University of Ukraine "Kiev Polytechnical Institute")

APPLICATION OF NEURAL NETWORKS IN CONCRETE PRODUCTION

Б.Л. Тишевич, к.т.н., доцент (НТУУ "КПІ"), А.А.Марченко, магістрант (НТУУ "КПІ")

ЗАСТОСУВАННЯ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ У ВИРОБНИЦТВІ БЕТОНУ

This paper present overview of possible application of neural networks in concrete production. Describe potential usage of recycled materials such as fly ash and limestone powder in order to develop more sustainable pattern of resource use.

Key words: neural networks; emissions; manufacturing processes; concrete; strength; sustainability; resource use; cleaner production.

У цій статті розглядається можливість застосування нейронних мереж у процесі виробництві бетону. Розглядаються перспективи використання відновлювальних матеріалів таких як летючий попел та подрібнений вапняк з точки зору розробки більш надійної моделі використання ресурсів.

Ключові слова: нейронні мережі; викиди; процес виробництва бетону; міцність; стійкість; використання ресурсів; екологічно чисте виробництво.

Introduction. Concrete production is an important part of infrastructure development. This construction material is easy to use, it allows to make different shapes and provides strong durability. But from other side, construction and demolition activities are responsible for around 860 million tons of waste generated in 2010 on the EU territory [1].

Public become more and more concern about global warming and concrete contribution to it, due to variety of awareness rising events. As result, there were done many researches in order to eliminate ecological impact from concrete production and also provide strong durability to the concrete aggregates. The use of combined cements or supplementary cementitious materials can be a good alternative to basic cement mix and decrease permeability of concrete. As result, concrete will be more resistant to climate conditions. Consequently, the blending of Portland cement with composite cementitious materials, such as pulverized fuel ash (PFA) and silica fume (SF), has become an increasingly conventional practice in the construction of structures exposed to harsh environments such as offshore structures, highway bridges, tunnels, sewage pipes and structures for wastes containing toxic chemicals and radioactive elements [2].

As far as number of ingredients has a tendency to increase, it is difficult to predict properties of such concrete aggregates by using statistical empirical relationship. Neural network can be used as alternative approach for data evaluation. Such approach aloud to work with variation in data sets and model non-linear systems. In the past, various fruitful attempts have been made to forecast properties of concrete using artificial neural network (ANN) [3].

NN model was made in MATLAB environment. ANN consist of input layer, output layer and one hidden layer of nonlinear processing elements.

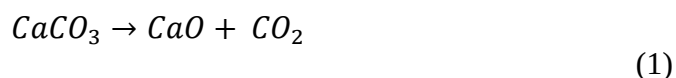
The purpose and objectives. Basic raw material composition of clinker, which is the primary component of Portland cement can be seen at table 1. Limestone, shells and chalk (lime) have majority with respect to other components, such as sand, fly ash or clay (silica/alumina).

Table 1

Raw material composition of clinker, the primary component of Portland cement [4]

Raw materials	Sources	Mass percent
Lime	Limestone, shells, chalk	60-67
Silica	Sand, fly ash	17-25
Alumina	Clay, shale, fly ash	2-8
Iron oxide	Iron ore	0-6

Methods, materials and research results. Around 50 percent of the CO_2 emissions released during manufacturing of the cement (or approximately 540 kg of CO_2 per ton of clinker) is from calcination in which limestone ($CaCO_2$) is transformed into lime (CaO) [5]. Following reaction can be described as:



Another part of CO_2 , emitted during manufacturing, is the result of fuel use in calcination process. Kilns need to be heated up to 1400-1500 °C in order to enable process of calcination.

So, data regarding strength of concrete with respect to percent relation of pulverized fuel ash, silica fume and Portland cement mix were collected in order to create data set for ANN. Least Squares Solution (LSS) were used for numerical optimization. *“Least Square problems have often their origin in fitting models to observations. In its simplest form, we know this from the problem of fitting a regression line, $y = ax + b$, through a set of data points $\{x_i, y_i\}; i = 1; \dots; N$. When $N > 2$, it is in general impossible to put the line through all points, but we try to determine an optimal line, for example by determining the pair a^*, b^* which minimizes the objective function”* [6]

$$f(a, b) = \sum_{i=1}^N (ax_i + b - y_i)^2 \quad (2)$$

For this specific case MATLAB going to perform last squares solution 2nd order because it was determined that 2nd order is the most suitable for such data set.

For this specific case, architecture of ANN will have “input” with 5 clusters: total cementitious materials, percentages of cement, pulverized fuel ash, silica fume and water-binder ratio; “hidden layer” with 100 neurons and “output layer” fig. 1.

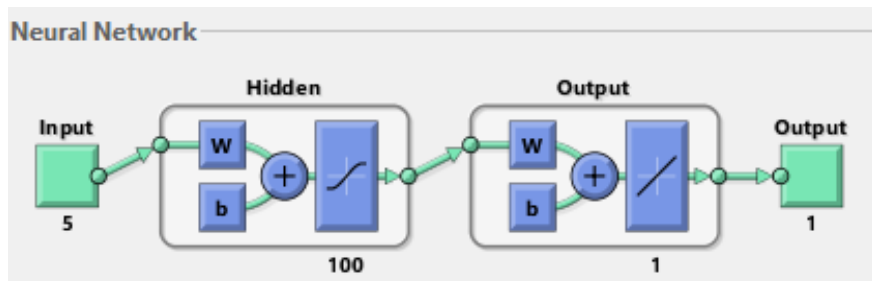


Fig. 1. Artificial Neural Network Architecture used in MATLAB

ANN will be trained with use of Levenberg–Marquardt Method. Tis method was named after Levenberg (1994) and Marquardt (1963) and it is a compromise between Newton’s method and Gradient descent. According to the Levenberg–Marquardt method, the optimum adjustment Δw applied to the parameter vector w [7] is defined by:

$$\Delta w = [H + \lambda I]^{-1} g \quad (3)$$

Where: I – identity matrix of the same dimensions as H and λ is a regularizing, or loading, parameter that forces the sum matrix $(H + \lambda I)$ to be positive definite and safely well-conditioned throughout the computation [7].

The network is trained by minimizing the cost function [7] Eq. 4.

$$\varepsilon_{av}(w) = \frac{1}{2N} \sum_{i=1}^N [d(i) - F(x(i); w)]^2 \quad (4)$$

$$g(w) = \frac{\partial \varepsilon_{av}(w)}{\partial w} = -\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [d(i) - F(x(i); w)] \frac{\partial F(x(i); w)}{\partial w} \quad (5)$$

$$H(w) = \frac{\partial^2 \varepsilon_{av}(w)}{\partial w^2} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left[\frac{\partial F(x(i); w)}{\partial w} \right] \left[\frac{\partial F(x(i); w)}{\partial w} \right]^T - \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [d(i) F(x(i); w)] \frac{\partial^2 F(x(i); w)}{\partial w^2} \quad (6)$$

$$H(w) \approx \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left[\frac{\partial F(x(i); w)}{\partial w} \right] \left[\frac{\partial F(x(i); w)}{\partial w} \right]^T \quad (7)$$

Eq. 5 and Eq. 6 represent adjustment of Δw . In order to mitigate difficulties of Eq. 5 and Eq. 6 it is recommended to ignore the second term on the right-hand side of Eq. 5 thereby approximating the Hessian simply as Eq. 7 [7].

Also, additional function, which enable data input from user, was added in programming code. It was made in order to provide further investigation in planning of cement mix ingredients for manufacturing or domestic use. Therefore, person need to provide data set regarding ingredients that potentially would be used, such as: TCM - total

cementitious materials $\left[\frac{kg}{m^3} \right]$, Cement[%], PFA - pulverized fuel ash[%], SF - silica fume[%] and w/b ratio - water-binder ratio. Calculation output will be prediction of “expected weeks to wait” in order to create concrete with proper durability.

Research results. Neural Network supervised training went well and NN is performing prediction of the concrete strength. If we consider 90 MPa as threshold value for compressive strength of ready concrete unit – following data going to be achieved fig. 2 a-d.

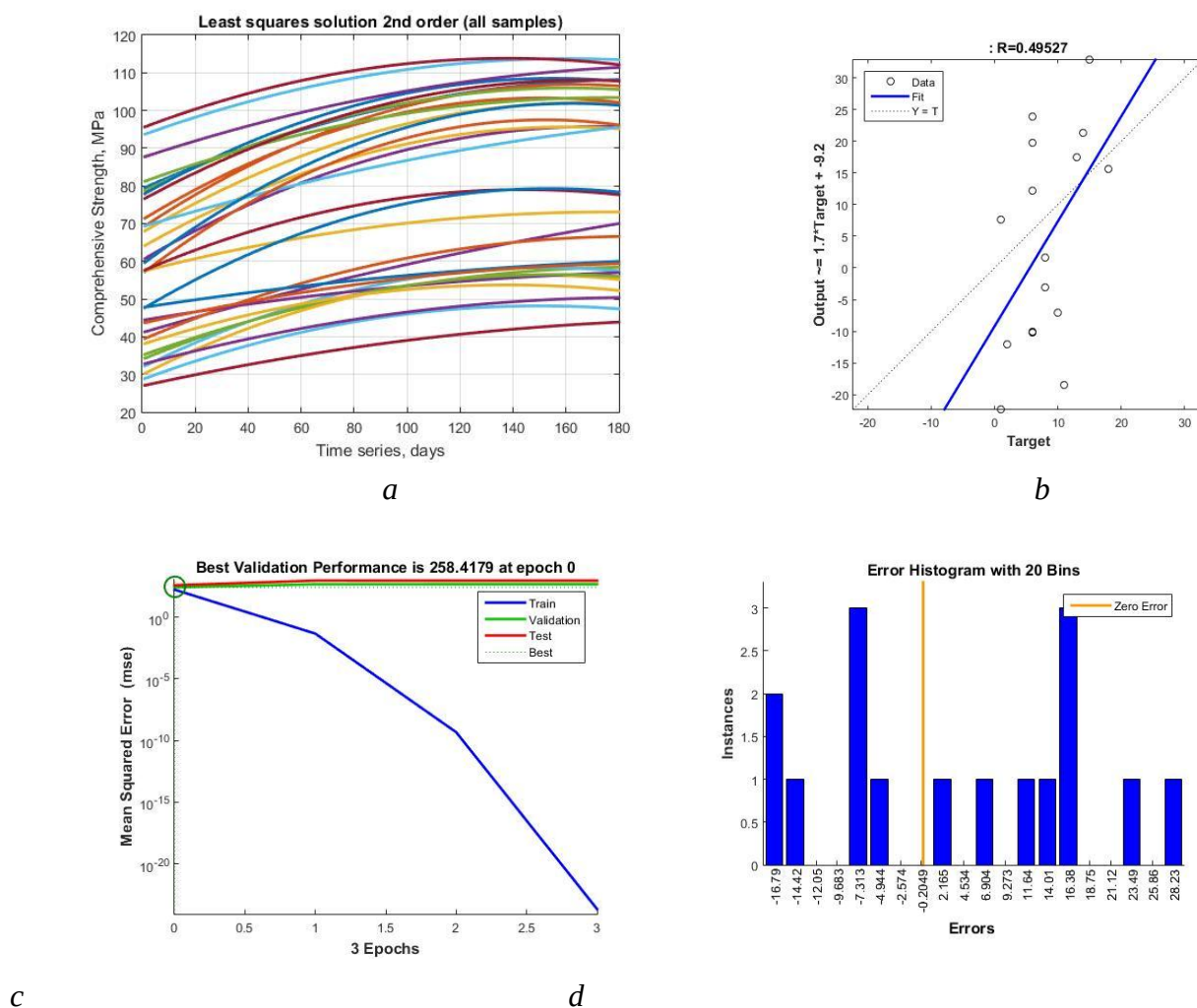


Fig. 2. Data of performing prediction of the concrete strength:
 a - Last Squares Solution 2nd order for all samples; b – Regression; c – Best Validation Performance; d – Error Histogram;

Further action will be to perform prediction of weeks' amount for specific cement mix, ingredients of which determined by user fig. 3.

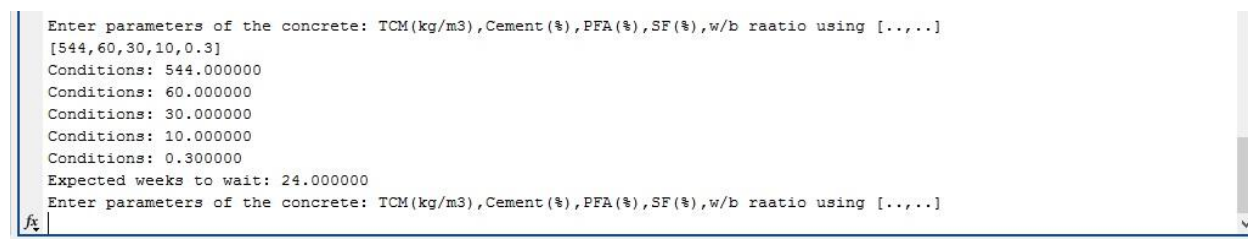


Fig. 3. Demonstration of prediction performance

As can be seen from fig. 3 in order to create concrete unit from 60% of Portland cement, 30% of PFA and 10% of SF we need 24 weeks in order to reach strength of 90 MPa.

Conclusins. As can be seen from gained results – it is possible to investigate in concrete ecological performance with artificial neural network. Potential reduction in CO_2 emissions is important factor for the environment and human health. By enabling procedure of strength prediction for customized cement mixes, it is possible to implement pattern of sustainable resource use at manufacturing companies and at domestic usage of concrete.

References

1. R. Silva, Properties and composition of recycled aggregates from construction and demolition waste suitable for concrete production [Text] / J. Brito, R. Dhir, // Construction and Building Materials, (2014) pp. 201-217.
2. M. Khan, Predicting properties of High Performance Concrete containing composite cementitious materials using Artificial Neural Networks [Text] // Automation in Construction, 22 (2012) pp. 516-524.
3. F. Demir, Prediction of elastic modulus of normal and high strength concrete by artificial neural networks [Text] // Construction and Building Materials 22 (7) (2008) pp. 1428–1435.
4. D. Huntzinger, A life-cycle assessment of Portland cement manufacturing: comparing the traditional process with alternative technologies [Table] / T. Eatmon // Journal of Cleaner Production 17 (2009) pp. 668-675
5. A. Hasanbeigi, Emerging energy-efficiency and CO_2 emission-reduction technologies for cement and concrete production: A technical review [Text] / L. Price, E. Lin, // Renewable and Sustainable Energy Reviews, (2012) pp. 6220–6238.
6. H. Krogstad, Least Squares Optimization [Text] // TMA 4180 Optimeringsteori, NTNU 2010 pp. 1-13
7. S. Haykin, Neural Networks and Learning Machines Third Edition [Text] // QA76.87.H39 (2008) pp. 197-199

УДК 681.515+62-551.453

Б.Л. Тишевич, к.т.н., доцент (НТУУ "КПІ"), **Д.Д. Мугенов**, магістрант (НТУУ "КПІ")

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ ШВИДКІСТЮ ДЛЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ З СИНХРОННИМ ДВИГУНОМ

B.L. Tyshevych, Associated Professor, **D.D. Mugenov**, Master Student at “National Technical University of Ukraine "Kiev Polytechnical Institute”

INTELLIGENT SPEED CONTROL SYSTEM FOR THE ELECTRIC DRIVES WITH SYNCHRONOUS MOTORS

Пропонується інтелектуальна система управління швидкістю електропривода з синхронним двигуном з постійними магнітами, на базі штучної нейронної мережі. В такій системі управління пропонується використати контролер - нейронну мережу разом з контролером - нейромережевою еталонною моделлю. Наявність двох контролерів - одного у прямому каналі, іншого у зворотному зв'язку, які навчаються в режимі "онлайн" забезпечать поліпшення динамічних характеристик системи

електроприводу.

Ключові слова: електропривод; синхронний двигун з постійними магнітами; інтелектуальна система управління; штучна нейронна мережа.

In this article offers intelligent control system of the drive speed of an synchronous motor with permanent magnets, based on artificial neural network. In such a control system it is proposed to use the controller - a neural network with the controller - neural network reference model. Having two controllers - one in the direct channel, a different feedback, who are trained in "online" mode, provide improved dynamic characteristics of the drive system.

Key words: electric drive; synchronous motor with permanent magnets; intelligent control system; artificial neural network.

Вступ. В останні роки, електропривод на базі синхронного двигуна з постійними магнітами (СДПМ) почав відігравати важливу роль у промисловості, завдяки досягненням у дослідженні магнітних матеріалів, напівпровідникових силових пристроях і теорії управління [1,2]. СДПМ широко застосовуються у високоефективних електроприводах завдяки компактному розміру, високій потужності, великому повітряному зазору, щільності потоку, високому відношенню крутного моменту до моменту інерції, високої енергоефективності [3]. При використанні векторного управління, момент на валу СДПМ може змінюватись лінійно, а максимальний крутний момент на одиницю струму досягає аналогічного як для двигуна постійного струму з незалежним збудженням. Для підвищення продуктивності і вирішення проблем, пов'язаних з нелінійностями і невизначеностями динамічної моделі СДПМ, було розроблено декілька алгоритмів управління з використанням нейронних мереж [4,5].

Мета роботи. Розробити інтелектуальну систему управління швидкістю для електроприводу з СДПМ. Синтезувати систему управління з використанням контролера - нейронної мережі (КНМ) разом з контролером - нейромережевою еталонною моделлю (КНЕМ). Забезпечити навчання КНЕМ та КНМ в режимі "онлайн" для поліпшення динамічних характеристик системи електроприводу. Компенсувати помилку між еталонною моделлю і реальним приводом при наявності збурень навантаження і невизначеності параметрів електропривода. Дослідити динамічні характеристики системи електроприводу з СДПМ і запропонованою інтелектуальною системою управління, при зміні навантаження і варіації параметрів.

Методики, матеріали і результати досліджень. Вхідними сигналами до КНМ є сигнал похибки e_{ω}^{fb} (1), та похідна (2) від дійсної швидкості обертання ротора ω_r . Аналогічно, вхідними сигналами КНМЕ, у зворотному зв'язку, є сигнал похибки e_{ω}^{mf} (3) та похідна від швидкості обертання ротора (4), яка використовується для навчання вагових коефіцієнтів нейронної мережі в режимі "онлайн".

$$e_{\omega}^{fb} = (\omega_r^* - \omega_r); \quad (1)$$

$$\dot{\omega}_r^{fb} = k_{\omega}^{fb} \frac{d\omega_r}{dt}; \quad (2)$$

$$e_{\omega}^{mf} = (\omega_r^{mf} - \omega_r); \quad (3)$$

$$\dot{\omega}_r^{mf} = k_{\omega}^{mf} \frac{d\omega_r}{dt}. \quad (4)$$

У зворотному зв'язку, КНМЕ використовується для підвищення точності при відстеженні заданого сигналу швидкості, а КНМ для регуляції навантаження при зміні збурення.

Нейронні мережі, які застосовані у КНМ і КНМЕ складаються з трьох шарів кожна - вхідного шару i^{th} , прихованого шару j^{th} та вихідного шару k^{th} . Структурна схема системи управління показана на рисунку 1.

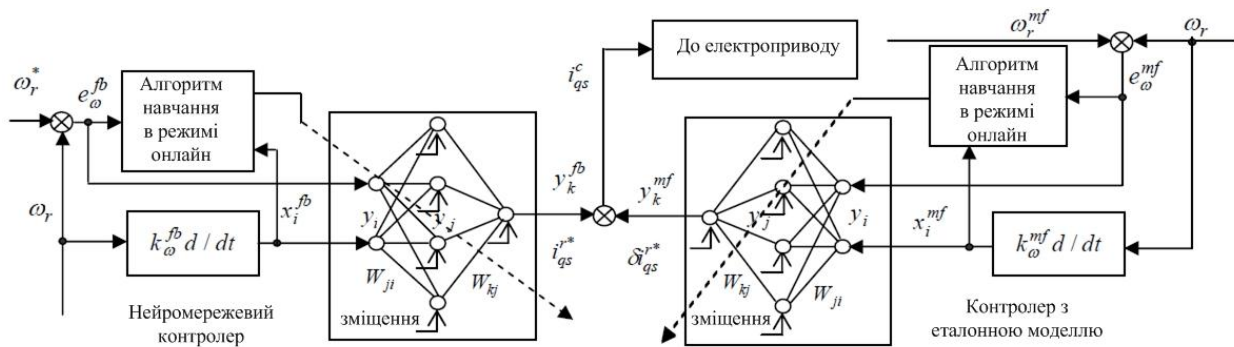


Рис.1.Інтелектуальна система управління електроприводом з СДПМ

Розповсюдження сигналу і функції активації для обох контролерів вводяться наступним чином:

- для кожного вузла i у вхідному шарі, вхідні x_i та вихідні y_i сигнали визначаються:

$$nn_i = x_i; \quad (5)$$

$$y_i = f_i(nn_i), i = 1, 2; \quad (6)$$

$$x_1^{mf} = e_\omega^{mf}(t), x_2^{mf} = k_\omega^{mf} \frac{d\omega_r}{dt}; \quad (7)$$

$$x_1^{fb} = e_\omega^{fb}(t), x_2^{fb} = k_\omega^{fb} \frac{d\omega_r}{dt}, \quad (8)$$

- входи та виходи прихованого шару до вузла j вводяться, відповідно, в такий спосіб:

$$nn_j = \sum_i (W_{ji} y_i) + \varphi_j; \quad (9)$$

$$y_j = f_j(nn_j), j = 1, m; \quad (10)$$

$$f_j(nn_j) = \frac{1}{1 + e^{-nn_j}}, \quad (11)$$

- вхід та вихід вихідного шару до вузла k визначається за формулою:

$$nn_k = \sum_i (W_{ki} y_j) + \varphi_k, \quad (12)$$

і відповідний вихід

$$y_k = f_k(nn_k) = \frac{1}{1 + e^{-nn_k}}; \quad (13)$$

$$y_k^{fb} = i_{qs}^{r*}, y_k^{mf} = \delta i_{qs}^{r*}. \quad (14)$$

Для навчання КНМ и КНМЕ застосовано алгоритм зворотного розповсюдження помилки, призначений для мінімізації середньоквадратичної помилки між фактичним вихідним сигналом мережі і заданим значенням. Це рекурсивний алгоритм, який змінює вагові коефіцієнти нейронної мережі, починаючи з вихідних нейронів і опрацьовує мережу назад до прихованого і вхідного шару.

Для того, щоб збільшити швидкість навчання в режимі "онлайн" величин вагових коефіцієнтів, пропонується використовувати закон управління, який можна представити, як:

$$\left. \frac{\delta E_\omega}{\delta y_k} \right\}^{fb} = e_\omega^{fb} + k_\omega^{fb} \dot{\omega}_r; \quad (15)$$

$$\left. \frac{\delta E_\omega}{\delta y_k} \right\}^{mf} = e_\omega^{mf} + k_\omega^{mf} \dot{\omega}_r. \quad (16)$$

Результати моделювання інтелектуальної системи управління електроприводом з СДПМ представлені для перевірки якості роботи запропонованої схеми управління. Графіки перехідних процесів для заданій швидкості 377 рад/с і навантаженні 3,6 Н·м показано на рисунку 2.

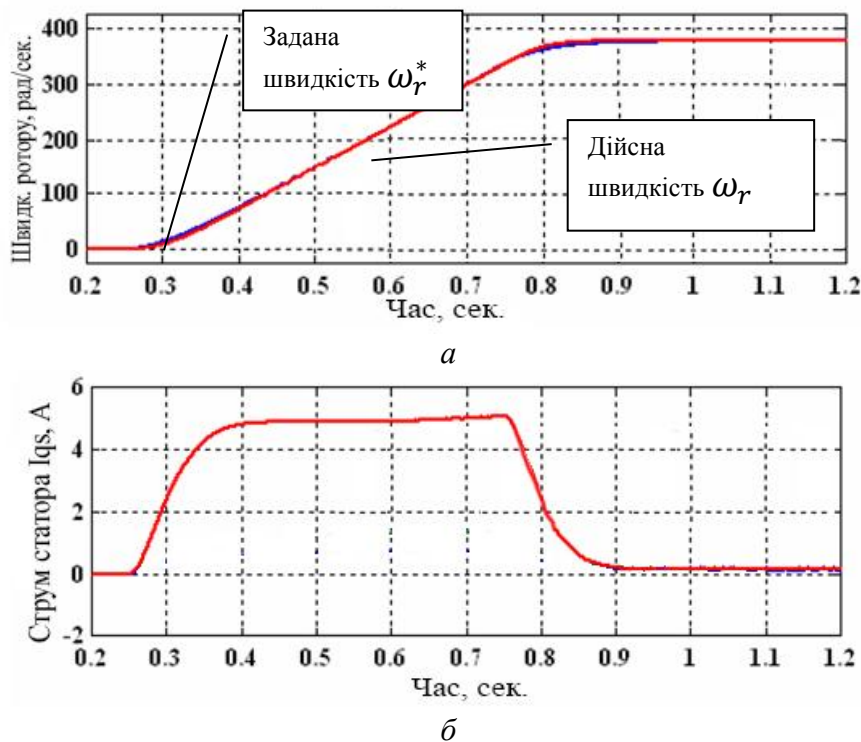


Рис. 2. Графіки зміни швидкостей (а) і струму статора (б) для електропривода з СДПМ.

Висновки. Застосування інтелектуальних систем управління, з використанням нейромережевого контролера управління швидкістю на додачу до контролера з еталонною моделлю у зворотному зв'язку, забезпечує стійке управління електроприводом з СДПМ. Запропонована система дозволяє контролювати реальну швидкість ротора для виконання точного відслідковування сигналів еталонної моделі в широкому діапазоні експлуатаційних умов. Використання похибки між вихідними сигналами швидкості еталонної моделі та реального електродвигуна забезпечує зміну вагових коефіцієнтів та коефіцієнтів опорних сигналів зміщень при надійній взаємодії нейронних мереж КНМ та КНМЕ.

Результати моделювання показали, що запропонована інтелектуальна система управління, яка складається з КНМ і КНМЕ, забезпечує надійний контроль швидкості і стійкі характеристики регулювання при невизначеності параметрів СДПМ і зовнішнього навантаження.

Література

1. Faa-Jeng, A Permanent-Magnet Synchronous Motor Servo Drive Using Self-Constructing Fuzzy Neural Network Controller [Text] / Faa-Jeng, Chih-Hong Lin // *IEEE Trans., Energy Conversion*, EC-19, No. 1, 2004, pp. 66-72.
2. Fayez F. El-Sousy Fuzzy Adaptive Neural-Network Model-Following Speed Control for PMSM Drives [Text] / F. Fayez El-Sousy, N. Maged Nashed // *WSEAS Transactions on Systems*, Issue 4, Vol. 4, April, 2005, pp. 265-261.
3. Fayez F. El-Sousy, Intelligent Model-Following Position Control for PMSM Servo Drives [Text] / F. Fayez El-Sousy, N. Maged Nashed // *6th WSEAS International Conference on Neural Networks*, Lisbon, Portugal, June 16-18, 2005, pp. 230-238.
4. Narendra K. Identification and control of dynamical systems using neural networks [Text] / K. Narendra, K. Parthasarathy // *IEEE Trans., Neural Network*, NN-1, 1990, pp. 4-27.

5. Fukuda T. Theory and applications of neural networks for industrial control systems [Text] / T. Fukuda, T. Shibata // *IEEE Trans., Ind. Electr.*, IE-39,1992, pp. 472-491.

УДК 681.315

Шевчук Н.А. к.т.н., доцент ФММ, НТУУ «КПІ»

Дацьо Ю. Ю. студент гр. ОА-31, ІЕЕ, НТУУ «КПІ»

ЕЛЕКТРИФІКАЦІЯ ТА АВТОМАТИЗАЦІЯ СИСТЕМИ ВОДОПОСТАЧАННЯ

У цій статті досліджено необхідність автоматизації систем водопостачання з метою зниження витрат на електроенергію.

This article investigated the need for automation of water systems to reduce energy costs.

Більшість свердловинних насосів працюють при зниженому навантаженні. Пояснюється це тим, що проектувальники вибирають двигуни із запасом потужності, а також тим, що витрата води, що споживається змінюється і двигун працює при максимальному навантаженні тільки в ранкові та вечірні години. Наслідком цього є не раціональне використання електроенергії і зменшення ресурсу роботи системи водопостачання.

Матеріали і результати досліджень. Регулювати витрату можна при повній швидкості приводу насоса, змінюючи гідравлічний опір тракту за допомогою клапанів і заслінок. Додаткове устаткування, необхідне в цьому випадку, часто виявляється не надійним, важко регульованим і споживаючим багато енергії. Експлуатація такої системи без постійно прикритої засувки на виході неможлива, оскільки вірогідні розриви трубопроводів.

У решту часу доби із-за зниження споживання води тиск в системі зростає і вимагається прикривати ту ж засувку, а це вимагає постійного чергування біля неї і супроводжується втратами електроенергії. Тому автоматизація водних свердловин є дуже важливе питання.

У системі механізованого водопостачання єдиною операцією, яка підлягає автоматизації, являється підйом води. Якщо автоматизувати роботу насосного агрегату, то вся система водопостачання об'єкту діятиме автоматично. Головне завдання автоматизації незалежно від типу водокачки - узгодження роботи насоса з режимом споживання води об'єктом. Найбільш раціональним способом регулювання є зниження частоти обертання двигуна насоса за допомогою перетворювача частоти, при збереженні незмінної характеристики навантаження.

Висновок. Застосування частотно-регульованих електроприводів в системах свердловинного водопостачання, передусім, дозволяє істотно понизити споживання електроенергії електроприводами насосів, оскільки надлишковий натиск в цьому випадку не створюється.

1. Закладний О. М. Энергосбережения засобами промислового електропривода :[Навчальний посібник.] / Закладний О. М, Праховник А. В., Соловей О. І – К: Кондор.- 2005. – 408 с.
2. Авербах И.А., Частотно-регулируемый асинхронный электропривод как средство энергосбережения./ Авербах И.А., Браславский И.Я. – Екатеринбург, 2002. – 478 с.
3. Суреньянц С.Я. «Эксплуатация водозаборов подземных вод»/ Суреньянц С.Я. Иванов А.П.- Изд-во "Стройиздат", 1989.
4. В.М. Черкасский «Насосы, вентиляторы, компрессоры»/ Черкасский В.М. - Изд-во Энергоатомиздат- 1983.

УДК 622.35

О.М. Терентьев, д. т. н., професор;
Г.С. Гаращенко, студентка;
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут»
Інститут енергозбереження та енергоменеджменту

ДОСЛІДЖЕННЯ МАГНІТНО ВИБУХОВИХ ГЕНЕРАТОРІВ РУЙНУВАННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД

Енергетична стратегія України на період до 2030 року затверджена розпорядженням Кабінету Міністрів № 145-р від 15 березня 2006 року визначає однією з проблем видобувного комплексу України застарілий і морально зношений технічний фонд та відсутність реконструкції

Скорочення енергоспоживання планується за рахунок стимулювання модернізації енерговитратних видів виробництва, розробки нових екологічних технологій та джерел енергії для руйнування гірських порід. Основним джерелом енергії для руйнування гірської породи є вибухова речовина. Проте існують джерела енергії які по енергомісткості наближаються до вибухових речовин. До таких джерел відносять електромагнітне поле. Відомо, що енергію вибухової речовини можливо перетворити в енергію магнітного поля. Ідеєю роботи є використання ефекту Ребіндера для зниження поверхневої енергії гірської породи електромагнітним впливом в субрезонансних режимах.

Ключові слова: електромагнітне поле, гірська порода, магніто вибуховий генератор.

Energy Strategy of Ukraine till 2030 approved by the Cabinet of Ministers № 145-p of 15 March 2006 identifies one of the problems the mining complex of Ukraine is outdated and morally worn out technical foundation and lack of reconstruction.

Reducing energy consumption by stimulating planned modernization of energy-intensive modes of production, development of new environmental technologies and energy sources for breaking rocks. The main source of energy for breaking rock is explosive. However, there are energy sources which are close to the energy intensity explosives. These sources include electromagnetic field. We know that the energy of the explosive may convert the energy of the magnetic field. The idea is to use the effect of Rebinder to lower the surface energy of rock influence in subrezonans electromagnetic regimen.

Keywords: electromagnetic field, rock, explosive magnetic generator.

Вступ. Вперше технологія стиснення магнітного потоку для отримання надсильних магнітних полів та надсильних струмів була запропонована академіком А. Д. Сахаровим в 1951-52 роках [1] і передбачалось використання її в різних сферах діяльності. Ця технологія заснована на збереженні повного магнітного потоку і збільшення енергії магнітного поля при швидкому вибуховому деформуванні металічних контурів зі струмом, зокрема, при кумулятивному схлопуванні пустотілих металічних циліндрів. В ідеальному випадку, без врахування втрат магнітного потоку

та кінцевого електричного опору, магнітне поле та його енергія збільшуються зі зменшенням радіуса порожнини обернено пропорційно квадрату радіуса [1].

Мета. Зниження питомої енергоємності руйнування гірських порід комбінованою дією резонансного магнітно-вибухового навантаження.

Для досягнення поставленої мети сформульовані наступні **завдання**:

1. Вибрати та обґрунтувати конструкцію *магнітно-вибухового генератора* руйнування гірських порід.

2. Встановити закономірності зниження енергії руйнування гірських порід комбінованими резонансними *магнітно-вибуховими* навантаженнями.

Матеріал та результати досліджень.

На ідеях Сахарова були засновані перші ударно-хвильові випромінювачі (магнітно вибухові генератори) [2]. Принцип їх роботи заснований на формуванні електромагнітного імпульсу в момент різкого стиснення циліндра зі струмопровідного матеріалу (резонатора) за допомогою вибухової речовини, що знаходиться ззовні. Існує два обмеження, що накладаються на швидкість роботи генератора. Стискання повинне бути швидким та має забезпечуватись рівень електричної ізоляції. При вибуховій деформації детонаційної камери і зменшенні індуктивності соленоїда до 0 Гн за законом збереження магнітного потоку концентрація силових ліній лишається сталою. А густина магнітного потоку збільшується за рахунок зменшення площі замкнутого контуру.

Густина електричної енергії, що генерується в магнітно вибуховими генераторами може досягати $\sim 10^2$ Дж/г вибухової речовини, а питома потужність 1013-1014 Вт/м³ [2]. З їх використанням були отримані імпульсні струми до ~ 300 МА та освоєно енергетичний діапазон 107-108 Дж при піковій потужності 1013 Вт. Розроблені методи просторово-часового перетворення енергії дозволяють змінювати форму струмового імпульсу в навантаженні і його тривалість від 10^{-6} до 10^{-3} - 10^{-2} с [2].

Конструкція являє собою тонкостінний циліндр з струмопровідного матеріалу заповнений вибуховою сумішшю, що вміщується в мідну обмотку більшого діаметру, рисунок 1.1. За мить до детонації хімічного заряду струм від конденсаторної батареї надходить до обмотки і створює магнітне поле. Детонація заряду розповсюджується від заднього кінця трубки до переднього. Трубка розширюється і торкається краю обмотки, викликаючи рухоме коротке замикання, яке стискає магнітне поле і в той же час зменшує індуктивність обмотки (до 0 Гн). В результаті створюється імпульс струму, що росте обернено пропорційно зміні індуктивності та опору системи.

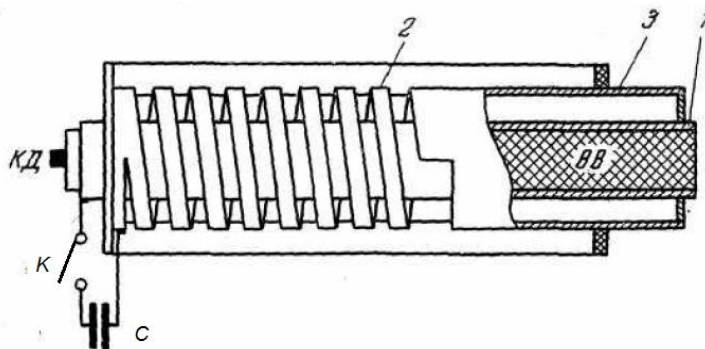


Рисунок 1.1 – Магнітокумулятивний генератор МК-2

1 – струмопровідна вибухова камера; 2 – обмотка індуктивності у вигляді спіралі; 3 – співвісна ділянка; К – ключ; С – конденсаторна батарея; КД – капсуль детонатора.

Розглянуто та проаналізовано конструкції магнітно вибухових генераторів: циліндричних зі стисненням; циліндричних з розширенням; дискових. Найбільш підходящою конструкцією є циліндричні генератори. Згідно з проведеними дослідженнями [3] при діаметрі циліндра 200 мм та пристроєм вибухового розмикання струму, формується струм більше 5 МА з тривалістю наростання фронту близько 400 нс.

Енергія, що потрібна системі для руйнування гірських порід електротермічним способом, формула 1.1 [4].

$$W_{el} = \frac{62\pi R E_H \Delta T \lambda \sqrt{(1-\nu) V \frac{K_n}{R}}}{\ln(2)(1-2\nu) \cdot ((1-\pi R^2)E + E_H \pi R^2)} \quad (1.1)$$

де – E_H – модуль Юнга нагрітої на ΔT породи, Па;

ΔT – зміна температури ГП, К;

λ – коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м·К);

ν – коефіцієнт Пуассона, в.о.;

V – об'єм нагрітої породи, м³;

K_n – коефіцієнт пластичності, в.о;

E – модуль пружності Юнга, МПа.

Виразимо зміну температури через тепловий потік, що надається гірській породі дією вибуху та електромагнітним полем. Тепловий потік [Вт] відповідно від детонації вибухової речовини електромагнітного поля [5-6]:

$$\Delta T_b = \frac{\Delta Q}{c} = \frac{qm}{c} \quad (1.2)$$

$$\Delta T_e = \frac{\Delta Q}{c} = \frac{\sigma E_e^2 V t}{c} \quad (1.3)$$

де c – питома теплоємність гірської породи, Дж/(м³·К);

q – питома теплота згорання вибухової речовини, Дж/кг;

m – маса заряду вибухової речовини, кг;

σ – питома провідність гірської породи, Ом⁻¹·м⁻¹;

E_e – напруженість електричного поля, В/м;

t – час впливу, с.

Врахуємо зміну температури в формулі 1.1. Виразимо об'єм руйнування через максимальну глибину проникнення електромагнітного поля, формула 1.4 [7].

$$Z = \sqrt{\frac{\rho_p}{\pi\omega\mu}} \quad (1.4)$$

де ρ_p – питомий опір речовини, Ом·м;

ω – частота коливання електромагнітного поля, Гц;

μ – магнітна проникність речовини, Гн/м.

$$W_{el} = \left(\frac{qm + \pi\sigma E_e^2 R^2 \sqrt{\frac{\rho_p}{\pi\omega\mu}} t}{c} \right) \frac{62\pi R E_H \lambda \sqrt{(1-\nu)\pi R^2 \sqrt{\frac{\rho_p}{\pi\omega\mu}} \frac{K_n}{R}}}{\ln(2)(1-2\nu) \cdot ((1-\pi R^2)E + E_H \pi R^2)}$$

Залежність енергії руйнування гірських порід електромагнітним способом від частоти коливання електромагнітного поля $W_{el}=f(\omega)$ показана на рисунку 1.2. Використані гірські породи граніт, лабрадорит та габро. Параметри підібрані відповідно до обраних гірських порід.

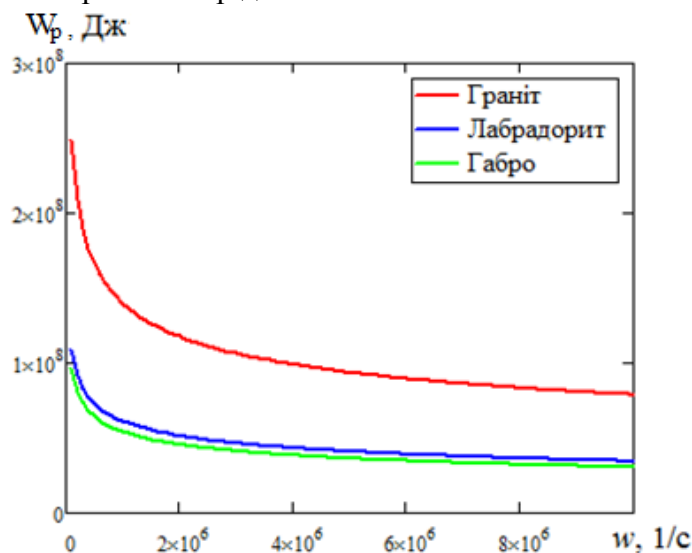


Рисунок 1.2– Залежність енергії руйнування від частоти електромагнітного поля

Отримана експоненціальна залежність зниження енергії руйнування від частоти електромагнітного поля. Це пояснюється виникненням розтягуючих напружень у гірській породі під впливом температури. Вплив електромагнітного поля провокує в породі індукційний нагрів та розтягуючі напруження від магнітострикційного ефекту. Енергія, що витрачається на руйнування гірських порід змінюється від 250 МДж до 100МДж при збільшенні частоти від 0 до $8 \cdot 10^6$ Гц для граніту, а також від 100МДж до 40 МДж при збільшенні частоти від 0 до $8 \cdot 10^6$ Гц для лабрадориту та габро.

Висновки. Розглянуто та проаналізовано конструкції магнітно вибухових генераторів: циліндричних зі стисненням; циліндричних з розширенням; дискових. Найбільш підходящою конструкцією є циліндричні генератори.

Отримана експоненціальна залежність зниження енергії руйнування від частоти електромагнітного поля. Енергія, що витрачається на руйнування гірських порід

змінюється від 250 МДж до 100МДж при збільшенні частоти від 0 до $8 \cdot 10^6$ Гц для граніту, а також від 100МДж до 40 МДж при збільшенні частоти від 0 до $8 \cdot 10^6$ Гц для лабрадориту та габро.

Перелік посилань.

1. Фортов В. Е., Взрывомагнитные генераторы мощных электрических импульсов [Текст] / В. Е. Фортов. – М. Наука., 2002. – 399 с.
2. Сверхсильные магнитные поля: Тр. Междунар. конф. по генерации меггауссных магнитных полей и родственным экспериментам. Физика. Техника. Применение. / Под ред. Титова В.М., Шевцова Г.А. – М.: Наука. 1984.
3. Гриневич Б.Е., Демидов В.Д, Ивановский А.В., Селемир В.Д. Взрывомагнитные генераторы энергии и их применение в научных экспериментах [Текст]/ УФН. 181:4. – 2011. – 422-427 с.
4. Додис Я. М., Нифадьев В. И., Разрушение горных пород при бурении и взрывании [Текст] / Я. М. Додис, В. И. Нифадьев., Учебн. пособие. – Бишкек, - 2006. – 374 с.
5. Table of friction Values associated with civils and structures [Електронний ресурс] / Режим доступу: http://www.roymech.co.uk/Useful_Tables/Tribology/co_of_frict.htm
6. Питомая теплота сгорания [Електронний ресурс] / Wikimedia Foundation, Inc., Wikipedia®. — Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/Питомая_теплота_сгорания 30.05.2016. – Загол. з екрану.
7. Закон Джоуля-Ленца [Електронний ресурс] / Wikimedia Foundation, Inc., Wikipedia®. — Режим доступу: https://ru.wikipedia.org/wiki/Закон_Джоуля-Ленца 30.05.2016. – Загол. з екрану.

УДК 62-832

Н. В. Муравинець, студентка;
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут»
Інститут енергозбереження та енергоменеджменту

**ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНІ ПРОЦЕСИ АВТОНОМНОГО АСИНХРОННОГО
ГЕНЕРАТОРА З ТУРБОДЕТАНДЕРОМ СТАНЦІЙ ГАЗОТРАНСПОРТУВАННЯ**

Для безперебійного функціонування ГРС та ГРП (живлення приладів автоматики та вимірювання, виконання ремонтних робіт, освітлення тощо) необхідне джерело електроенергії.

Зазвичай, ГРС та ГРП знаходяться на значній відстані від мереж електроживлення. Підведення ліній електропостачання вимагає значних

капіталовкладень, тому часто замість цього на ГРС і ГРП доцільне встановлення автономного джерела електроживлення у вигляді дизель-генератора.

Суттєвим недоліком роботи дизель-генератора є шкідливі викиди у повітря під час згоряння палива. Через це і ряд інших причин в якості джерела механічної енергії для електрогенератора бажано застосовувати турбодетандер, в якому внаслідок зниження тиску газу виробляється механічна енергія обертового руху.

Метою роботи є розробка математичної моделі автономного джерела живлення станцій газотранспортування та дослідження режимів роботи шляхом імітаційного моделювання.

Ключові слова: турбодетандер, асинхронний генератор з вентильним збудженням.

For the smooth functioning of GDS and GRP (power devices and measurement, repair work, lighting, etc.) necessary source of electricity.

Usually, GDS and GDP are at a considerable distance from the power network. Wrap power lines require significant investment, so often instead on GDS and hydraulic appropriate to establish an independent source of power in a diesel generator.

The disadvantage of the diesel generator is harmful air emissions during combustion. Therefore, as a source of mechanical energy to electric turbine expander is desirable to use, which by reducing the gas pressure produced by the mechanical energy of the rotating motion.

The aim is to develop a mathematical model of autonomous power supply stations hazotransportuvannya and modes of study by simulation.

Keywords: turbine expander, asynchronous generator with brushless excitation

Вступ. Більше 1600 газорозподільних станцій (ГРС) та 51000 газорозподільних пунктів (ГРП) експлуатуються в Україні на даний момент. Їх основне призначення зниження тиску газу до значень, потрібних споживачу. На ГРС понижують тиск від 5,5 – 7,4 МПа, який має місце у магістральних газопроводах (МГ), до 0,3 – 0,6 МПа.

Для безперебійного функціонування ГРС та ГРП (живлення приладів автоматики та вимірювання, виконання ремонтних робіт, освітлення тощо) необхідне джерело електроенергії.

Зазвичай, ГРС та ГРП знаходяться на значній відстані від мереж електроживлення. Підведення ліній електропостачання вимагає значних капіталовкладень, тому часто замість цього на ГРС і ГРП доцільне встановлення автономного джерела електроживлення у вигляді дизель-генератора.

Суттєвим недоліком роботи дизель-генератора є шкідливі викиди у повітря під час згоряння палива. Через це і ряд інших причин в якості джерела механічної енергії для електрогенератора бажано застосовувати турбодетандер, в якому внаслідок зниження тиску газу виробляється механічна енергія обертового руху.

Мета дослідження - розробка математичної моделі автономного джерела живлення станцій газотранспортування та дослідження режимів роботи шляхом імітаційного моделювання.

Задачі дослідження. Для досягнення мети необхідно розробити повну математичну модель електромеханічної системи з урахуванням її динамічних властивостей; створити імітаційну модель системи; провести дослідження режимів роботи схеми шляхом імітаційного моделювання; виконати аналіз результатів дослідження;

Матеріал і результати досліджень.

Відоме використання системи турбодетандер – асинхронний генератор з ємнісним збудженням» [1]. Недоліком даної системи є її робота тільки при сталій частоті обертання. Тому запропоновано використання асинхронного генератора з вентильним збудженням (АГ з ВЗ), що дозволяє при змінних обертах турбіни одержати сталу

напругу постійного струму.

Математичне моделювання електромагнітних процесів перетворення енергії займає важливе місце в теорії електричних машин з ВП в колі статора. В цьому випадку електричні машини розглядаються як сукупність магнітозв'язаних кіл із зосередженими параметрами [2].

При розробці математичних моделей асинхронних генераторів прийняті наступні припущення [2]:

1) вектор потоку взаємодукції Φ_m і відповідний йому вектор потокозчеплення Ψ_m колінеарні вектору намагнічуючого струму I_m , що дозволяє не враховувати гістерезис;

2) індуктивні опори розсіювання обмоток статора і ротора сталі;

3) магнітопровід насичується рівномірно по всьому об'єму, тобто ефект явнополюсності ротора, що виникає при насиченні, не враховується. Врахування насичення проводять по робочому потоку взаємодукції;

4) не враховуються зміна температури обмоток і явище витіснення струму в обмотці ротора;

5) всі параметри, струми і напруги обмотки ротора наводяться до обмотки статора генератора (в АГ з двома статорними обмотками до однієї із статорних обмоток приводиться друга обмотка);

7) у системі координат А, В, С несиметрія параметрів має місце тільки в колах навантаження.

Прийняті допущення приводять АГ до розряду ідеалізованої АМ з класичними допущеннями, диференціальні рівняння якої відомі [2]. Повні системи алгебро-диференціальних рівнянь можуть бути записані наступним чином:

При моделюванні АГ з вентильним збудженням в фазній системі координат диференціальні рівняння для обмотки статора мають вигляд [2]:

$$\frac{d\psi_A}{dt} = u_A - i_A r_1; \quad \frac{d\psi_B}{dt} = u_B - i_B r_1; \quad \frac{d\psi_C}{dt} = u_C - i_C r_1;$$

де u_A, u_B, u_C – проекції напруги статора на вісі А, В і С відповідно; i_A, i_B, i_C – проекції струму статора на вісі А, В і С відповідно; ψ_A, ψ_B, ψ_C – проекції вектора головного потокозчеплення машини.

Для обмотки ротора має місце співвідношення:

$$\frac{d\psi_a}{dt} = -i_a r_2 - \frac{\omega}{\sqrt{3}}(\psi_b - \psi_c); \quad \frac{d\psi_b}{dt} = -i_b r_2 - \frac{\omega}{\sqrt{3}}(\psi_c - \psi_a); \quad \frac{d\psi_c}{dt} = -i_c r_2 - \frac{\omega}{\sqrt{3}}(\psi_a - \psi_b);$$

де i_a, i_b, i_c – проекції струму ротора на вісі А, В і С відповідно;

Схемотехнічне рішення АГ з ВЗ показано на рис. 1. Відповідно до диференціальних рівнянь розроблено імітаційну модель в середовищі Matlab Simulink. Проведено дослідження перехідних процесів самозбудження генератора, визначено форми кривих струмів і напруг генератора при алгоритмах однократного перемикання вентильної системи збудження при навантаженнях постійного струму, і сталій частоті обертання турбіни.

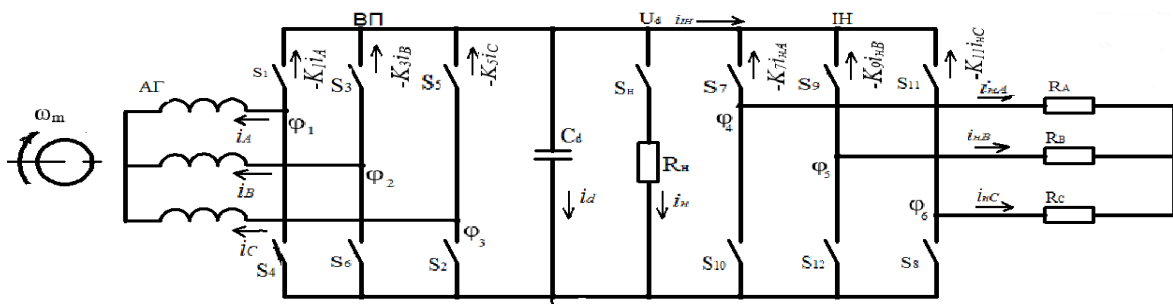


Рисунок 1 – Принципова електрична схема АГ з ВЗ

Достовірність одержаних результатів підтверджує залежність зміни вихідної напруги генератора по колу постійного струму від часу (рис. 2). Прийнято, що $U_0 = 500$ В.

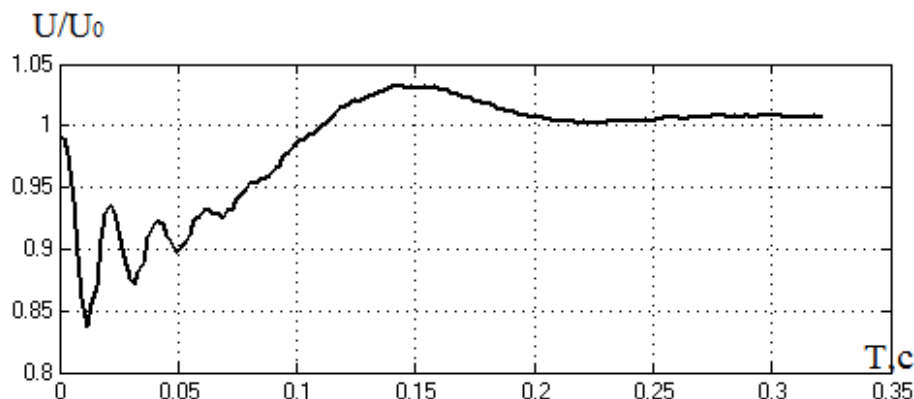


Рисунок 1. – Залежність зміни вихідної напруги від часу

В подальшому заплановано дослідити роботу системи при змінній частоті обертання турбіни з врахуванням температури газу, потужності турбодетандера і вхідного тиску.

Висновки

Робочим тілом в турбінах є природний газ магістральних газопроводів. Для виробництва корисної електричної енергії в турбодетандері використовується потенційна енергія стисненого газу, яка втрачається при його дроселюванні на ГРП (ГРС) газопроводів. При цьому спалювання газу не потрібно. Газ після турбодетандера використовується споживачами незалежно від режимів роботи агрегату.

Відповідно до диференціальних рівнянь розроблено імітаційну модель в середовищі Mathlab Simulink. Проведено дослідження перехідних процесів самозбудження генератора, визначено форми кривих струмів і напруг генератора при алгоритмах однократного перемикання вентильної системи збудження при навантаженнях постійного струму, і сталій частоті обертання турбіни.

Перелік посилань

1. Моїсєєв О. М. Електромеханічний комплекс автономного електроживлення з турбодетандером для станцій газотранспортування: Автореф. дис. на здобуття наукового ступеня канд. техн. наук: 30.09.12 // НТУ Харківський політехнічний інститут. – Х., 2012. – 19 с. – укр.

2. Мазуренко Л. И., Лищенко А. И. Асинхронные генераторы с вентильным и вентильно-емкостным возбуждением для автономных энергоустановок / научн. изд. / Институт электродинамики НАНУ – К., 2011. – 270 с.

УДК 622.276

*Лістовицький Л. К., канд. тех наук, доцент;
Лопатіна Д.Ю., студентка;
Носальська О.Є., студентка*

*Національний технічний університет України «КПІ»
Інститут енергозбереження та енергоменеджменту*

МОДЕРНІЗАЦІЯ ПНЕВМОМЕХАНІЧНОГО ГАСНИКА ГІДРОУДАРІВ У ВИСОКОНАПІРНИХ ТРУБОПРОВОДАХ

Представлено модернізацію пневмомеханічного гасника гідроударів у високонапірних трубопроводах, з метою захисту обладнання системи імпульсного відновлення нафтогазових свердловин, збільшення їх міжремонтного періоду роботи, скорочення експлуатаційних витрат і тривалості підземного ремонту, шляхом встановлення пневмомеханічного гасника гідроударів.

На основі представленої розрахункової схеми пневмомеханічного гасника виконано розрахунки та обґрунтовано його раціональні параметри.

В результаті отримано залежності швидкості ударної хвилі та тиску гідравлічного удару від зміни геометричних параметрів гасника.

Ключові слова: захисний пристрій, гідроудар, коливання, гасник.

L. Listovshchyk, D.Lopatina, O.Nosalska

MODERNIZATION OF MECHANICAL AIR QUENCHER WATER HAMMER IN THE HIGH-PRESSURE PIPELINES

Presented modernization quencher pneumatic high-pressure water hammer in the pipes. Creation of modern means of protection of pipelines wave and vibration processes is an important task in the recovery of oil and gas wells.

The aim is to protect the system hardware recovery wells, increasing its overhaul period of work, reduce operating costs and duration of underground repairs by installing pneumatic quencher water hammer and study its options.

Based on the presented design scheme pneumatic quencher made his calculations and reasonably rational parameters.

The result obtained depending on the speed of the shock wave and water hammer pressure from changing geometric parameters quencher.

Keywords: protective device, water hammer, vibrations, quencher.

Л.К. Листовщик, Д.Ю. Лопатина, О.Є. Носальская

МОДЕРНИЗАЦИЯ ПНЕВМОМЕХАНИЧЕСКОГО ГАСИТЕЛЯ ГИДРОУДАРОВ В ВЫСОКОНАПОРНЫХ ТРУБОПРОВОДАХ

Представлена модернизация пневмомеханического гасителя гидроударов в высоконапорных трубопроводах. Создание современных технических средств защиты трубопроводов от волновых и вибрационных процессов является актуальной задачей при восстановлении нефтегазовых скважин.

Целью исследования является разработка средств защиты оборудования системы восстановления скважин, увеличение ее межремонтного периода работы, сокращение эксплуатационных расходов и продолжительности подземного ремонта, путем установления пневмомеханического гасителя гидроударов и обоснования его параметров.

В результате получены зависимости скорости ударной волны и давления гидравлического удара от изменения геометрических параметров гасителя.

Ключевые слова: защитное устройство, гидроудар, колебания, гасители.

Вступ. В сучасних рідинних мережах ймовірність виникнення гідравлічних ударів в останні роки істотно зросла у зв'язку з введенням в роботу довгих трубопроводів великого діаметру з великою кількістю засувки і регулюючих клапанів [1]. В процесі експлуатації трубопровідних систем неминуче виникають хвильові явища різної природи (провали тиску і гідравлічні удари, вимушені коливання тиску, автоколивання, резонансні явища і т. д.), а також пов'язані з ними вібраційні процеси.

Для захисту обладнання системи відновлення нафтогазових свердловин розроблені і використовуються різні протиударні пристрої і заходи.

Одним з основних шляхів забезпечення надійної, економічної і безаварійної роботи трубопроводу є попередження та усунення коливань тиску, вібрації та гідравлічних ударів. Для трубопроводів великої протяжності використовуються запобіжні клапани, які здійснюють скидання рідини, що транспортується в резервні ємності в разі надмірного підвищення тиску.

Ефективність відновлення свердловин обумовлена меншими матеріальними і часовими витратами порівняно з бурінням нової свердловини.

Метою дослідження є модернізація захисного обладнання системи відновлення нафтогазової свердловини при її імпульсній обробці, збільшення її міжремонтного періоду роботи, скорочення експлуатаційних витрат і тривалості підземного ремонту шляхом встановлення пневмомеханічного гасника гідроударів та обґрунтування його параметрів.

Постановка задачі. Для досягнення мети необхідно визначити швидкість ударної хвилі [2, 3] та тиск гідравлічного удару в залежності від геометричних параметрів камери гасника з рядом діаметрів.

Матеріал і результати досліджень. Запропоновано модернізований пневмомеханічний гасник гідроударів (рис. 1), який вирішує задачу зменшення руйнівної сили гідроудару, що виникає при дії поверхневого імпульсного гідрогенератора шляхом розсіювання енергії удару за допомогою пневмомеханічного гасника. Знаючи властивості нафти, геометричні параметри трубопроводу та гасника можна знайти силу тиску, що діє на демпферну сітку гасника.

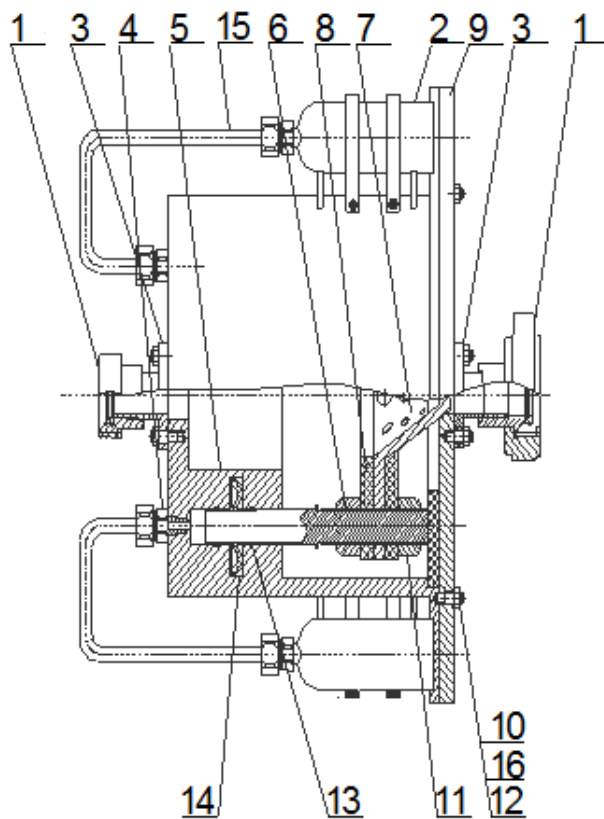


Рисунок 1 - Пневмомеханічний гасник гідроударів:

1 - швидкокороз'ємне з'єднання; 2 - пневмоакумулятор; 3 – фланці; 4 – штуцер; 5 – корпус; 6 – шток; 7 – демпферна сітка; 8, 13, 14 – гумові ущільнювачі; 9 – кришка; 10, 12, 16 – болтові з'єднання; 11 – гайка; 15 – НКТ.

Модернізований пневмомеханічний гасник гідроударів працює наступним чином.

Демпферна сітка знаходиться в правому крайньому положенні, вал міцно опирається в гумове ущільнення.

При звичайному режимі роботи рідина від насоса подається через труби до камери гасника. Крізь отвори демпферної сітки рідина дроселюється в насосно-компресорні труби.

Коли виникає гідроудар, ударна хвиля рухається в протилежному напрямку до напрямку потоку розчину та починає входити в камеру гасника через дросельні отвори, але, оскільки демпферна сітка має досить великі габарити, вся сила гідроудару не встигає гаситися через отвори. Тоді сила, що залишилася, починає рухати демпферну сітку, а разом з нею і шток. Шток рухається і зменшує штокову порожнину. В цей час, газ, який знаходиться в пневмоакумуляторах, починає стискатись, що дає змогу заряджатися акумулятору. Це відбувається доти, доки є сила ударної хвилі. Потім вал та сітка повертаються в початкові положення і пристрій працює в звичайному режимі.

Вхідні дані представлені у вигляді табл. 1.

Таблиця 1 - Вихідні параметри для розрахунків

	Позначення	Розмірність	Значення	Посилання
Діаметр труби НКТ	d_1	м	0.089	-
Діаметр камери гасника	d_2	м	0,21	-
Густина робочої рідини	ρ	кг/м ³	950	ГОСТ 8.610-2004
Швидкість руху рідини до гідроудару	g	м/с	20...25	-
Модуль пружності робочої рідини	$E_{ж}$	Н/м ²	$1,323 \cdot 10^9$	-
Модуль пружності матеріалу труби	E_m	Н/м ²	$196 \cdot 10^9$	-
Кінематична в'язкість нафти	ν	$\frac{м^2}{с}$	0,00001	ГОСТ 33-2000

В ході розрахунків отримано значення швидкості руху рідини, тиску й сили гідравлічного удару, результати представлено у табл. 2, що дає можливість оцінити негативний вплив гідроудару на роботу поверхневого обладнання.

Математичні вирази [1], які використані для отримання оптимальних параметрів пневмомеханічного гасника гідроударів зведені до табл. 3.

Таблиця 2 - Результати розрахунків

Величина	Позначення	Розмірність	Значення
Швидкість розповсюдження ударної хвилі	a	м/с	$1,143 \cdot 10^3$
Тиск гідроудару	ΔP	МПа	25
Сила гідравлічного удару	N	Н	9250

Таблиця 3 - Математичні вирази

Функція	Математичний вираз	Пояснення	Розмірність
Швидкість ударної хвилі	$a = \frac{1}{\sqrt{\rho \left(\frac{D}{E_m \cdot \delta} + \frac{1}{E_{ж}} \right)}} = \frac{\sqrt{\frac{E_{ж}}{\rho}}}{\sqrt{1 + \frac{D \cdot E_{ж}}{E_m \cdot \delta}}};$	ρ - щільність рідини; D - діаметр труби; δ - товщина стінки трубопроводу; E_m - об'ємний модуль пружності матеріалу труби; $E_{ж}$ - об'ємний модуль пружності рідини.	м/с
Тиск гідроудару	$\Delta P = \rho V a$ $\Delta P = \rho V \frac{1}{\sqrt{\rho \left(\frac{D}{E_m \cdot \delta} + \frac{1}{E_{ж}} \right)}}$	V - швидкість рідини в трубопроводі до виникнення гідроудару, ρ - щільність рідини, a - швидкість поширення ударної хвилі.	МПа
Сила гідроудару	$N_{гв} = P_{гв} \cdot F_{гв}$	$P_{гв} = \Delta P$ - тиск гідроудару, $F_{гв}$ - площа гідроудару, приймаємо площу уловлювача, яка дорівнює.	Н

На рисунках показані залежності швидкості ударної хвилі та тиску гідроудару від зміни діаметру пневмомеханічного гасника.

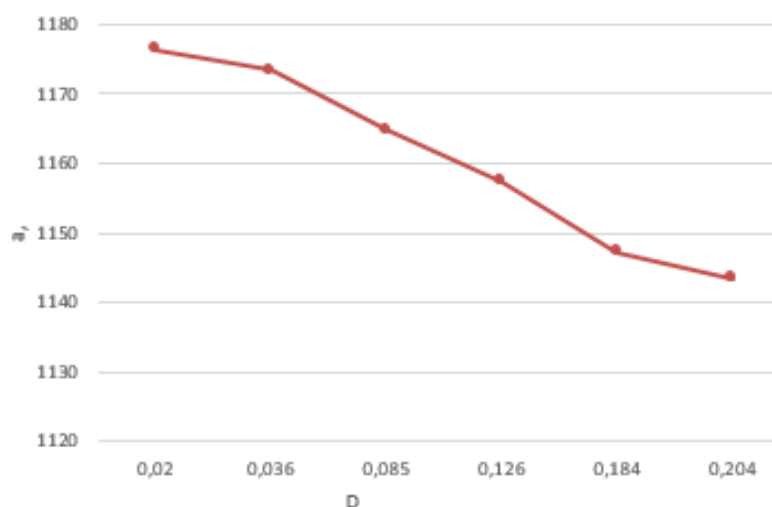


Рисунок 2 - Графік залежності швидкості ударної хвилі від діаметру гасника.

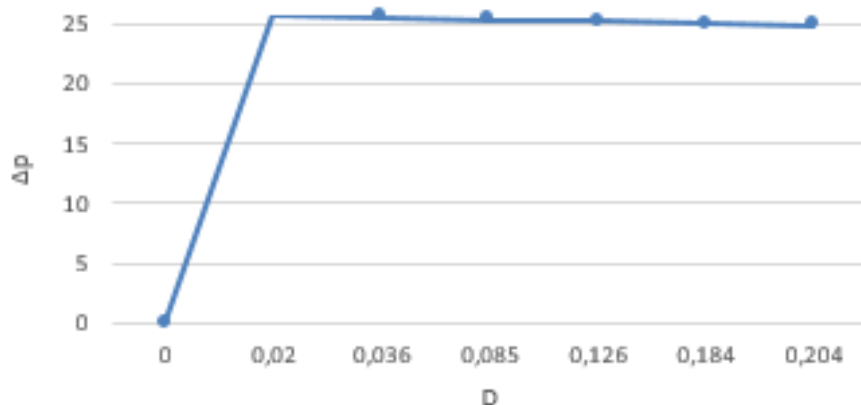


Рисунок 3 - Графік залежності тиску гідроудару від діаметра гасника.

Висновки

Існує багато способів та пристроїв які призначені для гасіння гідравлічного удару. Клапанний і гасниковий захист обладнання від гідроударів є універсальними, за їх принципом реалізується захист різних видів коливань. Модернізовано пневмомеханічний гасник гідравлічних ударів, що забезпечить звичайний рух обробного розчину, при нормальному режимі роботи, без додаткових гідравлічних опорів, а при виникненні гідравлічного удару - реагування гасника.

Проаналізувавши зміну швидкості ударної хвилі та тиск гідравлічного удару в залежності від геометричних параметрів камери гасника з рядом діаметрів 73, 77, 81, 85, 89 мм слід зазначити, що тиск гідроудару суттєво залежить від діаметру робочої камери гасника і зменшується при збільшенні діаметру камери.

Список літератури

1. Гидравлический удар, уравнительные резервуары, Аронович Г.В. [Текст] – М., Наука, 1968, - 248 с
2. Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя. Том 1,2,3 [Текст]- М.:Машиностроение,2001.- 913с.
3. Пат.№678251 СССР Гаситель гидравлического удара:: [Текст] /заявили Алехин Э.Г., Корабельников В.В., Миркин Н.Н., заявлений 05.08.1979.,опубл. 10.08.1979

УДК 622.276

*Л.К. Лістовицк, канд. тех наук, доцент;
О.Є.Носальська, студентка;
Д.Ю.Лопатіна, студентка;*

**Національний технічний університет України «КПІ»
Інститут енергозбереження та енергоменеджменту**

ВДОСКОНАЛЕННЯ ПРИСТРОЮ ДЛЯ ГАСІННЯ КОЛИВАНЬ ТИСКУ РІДИНИ

Проблема боротьби з гідравлічними ударами при відновленні нафтогазових свердловин досліджується давно, але не має однозначного рішення до цього часу.

Збільшення потужності і довжин трубопроводів нафтовідновних установок, як і інших гідравлічних систем, обумовлює збільшення небезпеки гідравлічних ударів, величина яких, у зв'язку зі збільшенням швидкостей потоків у трубах, має тенденцію

до зростання. Гідравлічні удари і супроводжуючі їх хвильові процеси часто стають причиною руйнування трубопроводів, арматури, поломки насосів або інших порушень нормальної експлуатації установок.

Метою є підвищення енергоефективності процесу імпульсного відновлення нафтової свердловини та скорочення терміну ремонтних робіт, шляхом встановлення поверхневого гасника гідроударів, обґрунтування параметрів гасника.

Ключові слова: Гідроудар, гасник, відновлення нафтової свердловини.

L.K.Listovschyk, O.Ye.Nosalska, D.Yu.Lopatina
National Technical University of Ukraine
"Kyiv Polytechnic Institute"

IMPROVING DEVICES FOR DAMPING FLUID PRESSURE

The problem of combating water hammer in the recovery of oil and gas wells investigated long ago, but has a unique solution to the present.

Increased capacity and length of the pipeline oil output installations, as well as other hydraulic systems, stipulates the increase of danger hammer, the value of which, due to the increased velocity in flows in pipes tends to increase. Water hammer, and accompanied them of exciting wave processes often cause destruction pipeline, valves, pump failure or other breaches of the former normal Inter- installations.

The aim is to improve the energy efficiency of the process recovered oil well, and shorten the repair work by establishing a consistent surface quencher water hammer, studies of options-quencher.

Keywords: hammer, quencher, oil well recovery.

Л.К. Листовщик, канд. техн наук, доцент;
О.Е. Носальська, студентка;
Д.Ю. Лопатина, студентка;

Национальный технический университет Украины
«Киевский политехнический институт»
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ УСТРОЙСТВА ДЛЯ ГАШЕНИЯ КОЛЕБАНИЙ
ДАВЛЕНИЯ ЖИДКОСТИ

Проблема борьбы с гидравлическими ударами при восстановлении нефтегазовых скважин исследуется давно, но не имеет однозначного решения до сих пор.

Увеличение мощности и длины трубопроводов нефте-восстановительных установок, как и других гидравлических систем, обуславливает увеличение опасности гидравлических ударов, величина которых, в связи с увеличением скоростей потоков в трубах, имеет тенденцию к росту. Гидравлические удары и сопровождающие их волновые процессы часто становятся причиной разрушения трубопроводов, арматуры, поломки насосов или других нарушений нормальной эксплуатации установок.

Целью работы является повышение энергоэффективности процесса восстановления нефтяной скважины и сокращения срока ремонтных работ, путем установки поверхностного гасителя гидроударов, обоснование параметров гасителя.

Ключевые слова: Гидроудар, гасители, восстановление нефтяной скважины.

Вступ. Збільшення об'ємів нафти і газу є головною задачею, яка стоїть перед представниками теплоенергетичної галузі як України, так і всього світу. В умовах відсутності нових родовищ нафти і газу, задовольняючих цим потребам, перед

робітниками нафтогазодобувної промисловості в якості потенційних джерел нафти і газу на перший план встановлюють проблеми, пов'язані з підвищенням ефективності розробки існуючих. І тут головною задачею, яка потребує свого суттєвого рішення, стає проблема підвищення продуктивності свердловин і скорочення часу на ремонт свердловини, що зменшить витрати на відновлення свердловини.

Мета дослідження – підвищення енергоефективності процесу імпульсного відновлення нафтової свердловини та скорочення терміну ремонтних робіт, шляхом встановлення поверхневого гасника гідроударів, обґрунтування параметрів гасника.

Задачі дослідження:

Для досягнення мети роботи необхідно розробити конструктивну модель гасника гідроудару, встановити характеристики та залежності тиску і швидкості гідроудару всередині гасника, дослідити та проаналізувати завихрення потоків рідини всередині гасника гідроудару.

Матеріал і результати моделювання:

Конструктивна схема поверхневого гасника коливань тиску рідини (рис.1) містить циліндричний корпус 1. За допомогою болтового з'єднання 8 до корпусу кріпляться фланці 4, які слугують кришками пристрою. Всередині робочої камери розміщується упорна труба 6, яка з'єднана із зворотнім клапаном 2 різьбою. З'єднання щільно фіксується в пази кришки ущільнювачами 12, тим самим забезпечується міцність і герметичність конструкції. Пружина 14 кріпиться на упорну трубу 6 і фіксується у канавках фланця 4 під пружину. Пружина піджимає уловлювач 7. Фланці кріпляться до кришок за рахунок шпилькового 9 з'єднання. Фланці 3 в свою чергу приєднуються до труб НКТ за допомогою швидкокороз'ємного з'єднання 1. Зручність такого з'єднання полягає в швидкому і простому з'єднанні і роз'єднанні пристрою від НКТ, не затримуючи технологічного процесу.

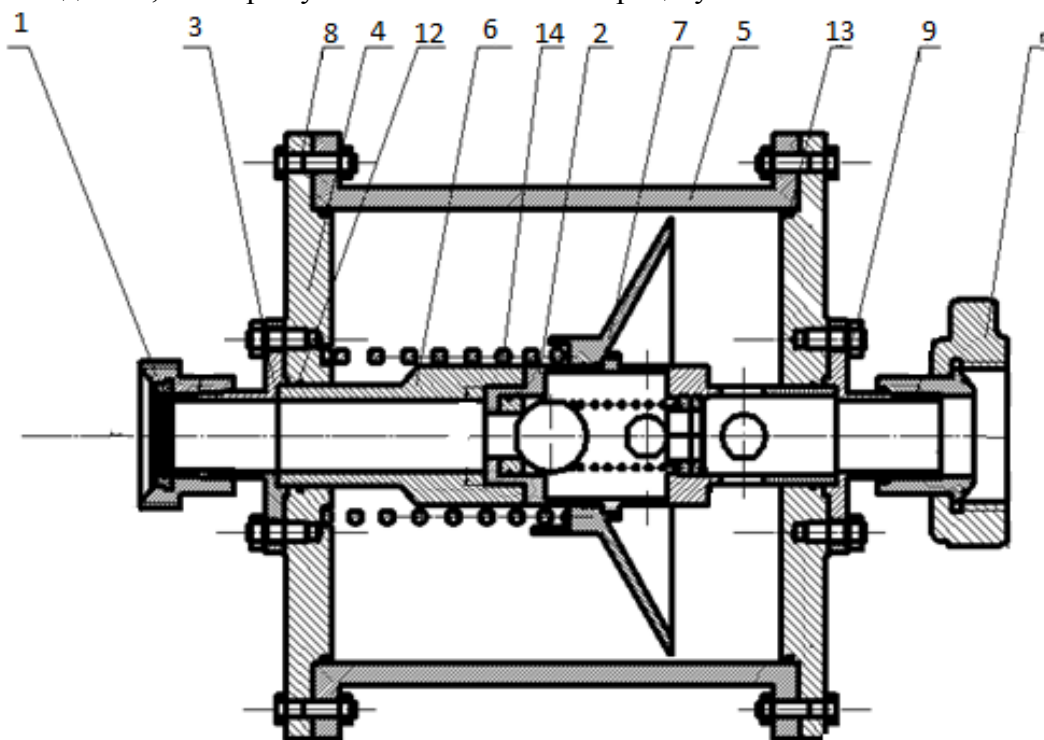


Рисунок 1 – Конструктивна схема гасника

Гасник працює наступним чином. Уловлювач 7 знаходиться в крайньому правому положенні, положення фіксується за допомогою пазів на корпусі зворотного

клапана 2.

При звичайному режимі роботи рідина від насоса подається крізь упорну трубу 6 і клапан 2. Крізь отвори клапана 2 рідина виливається в камеру гасника, звідки через дроселюючи отвори надходить в насосно-компресорні труби.

При виникненні гідроудару, ударна хвиля рухається в зворотному напрямку до напрямку руху потоку розчину. Ударна хвиля входить в камеру гасника через дросельні отвори. Спрацьовує зворотній клапан 2 і перешкоджає розповсюдженню хвилі гідроудару у напрямку насосу. В камері гасника тиск гідроудару тисне на уловлювач 7, під дією цієї сили уловлювач тисне на пружину 14, пружина деформується, тим самим відбувається розсіювання енергії удару. Залишкова енергія у вигляді гідроударів із зменшеною амплітудою гаситься всередині камери за рахунок відбивання від стінок корпусу 1, кришок 4 і уловлювача 7. Вхідні параметри для аналітичного дослідження наведені в табл. 1, розрахункові формули в табл. 2, а результати дослідження в табл. 3.

Таблиця 1 - Вихідні параметри для розрахунків

	Позначення з розрахунку	Розмірність	Прийняті експериментальні значення
Діаметр труби НКТ	d_1	м	0.066
Діаметр камери гасника	d_2	м	0,550
Густина робочої рідини	ρ	кг/м ³	950
Тиск робочої рідини	P_1	Па	5900000
Об'ємна витрати	Q	м ³ /с	23,3
Швидкість руху рідини до гідроудару	g	м/с	20...25
Модуль пружності робочої рідини	$E_{ж}$	Н/м ²	$1,324 \cdot 10^9$
Модуль пружності матеріалу труби	E_m	Н/м ²	$196 \cdot 10^9$
Кінематична в'язкість нафти	ν	м ² /с	0,00001

Таблиця 2 - Математичні вирази

Функція	Математичний вираз	Пояснення	Розмірність
Швидкість ударної хвилі	$a = \frac{1}{\sqrt{\rho \left(\frac{D}{E_m \cdot \delta} + \frac{1}{E_{ж}} \right)}} = \frac{\sqrt{\frac{E_{ж}}{\rho}}}{\sqrt{1 + \frac{D \cdot E_{ж}}{E_m \cdot \delta}}};$	ρ - щільність рідини; D - діаметр труби; δ - товщина стінки трубопроводу; E_m - об'ємний модуль пружності матеріалу труби; $E_{ж}$ - об'ємний модуль пружності рідини.	м/с
Тиск гідроудару	$\Delta P = \rho V \frac{1}{\sqrt{\rho \left(\frac{D}{E_m \cdot \delta} + \frac{1}{E_{ж}} \right)}} \Delta P = \rho V a$	V - швидкість рідини в трубопроводі до виникнення гідроудару,	МПа

		ρ -щільність рідини, а - швидкість поширення ударної хвилі.	
Сила гідроудару	$N_{\text{гв}} = P_{\text{гв}} \cdot F_{\text{гв}}$	$P_{\text{гв}} = \Delta P$ – тиск гідроудару, $F_{\text{гв}}$ - площа гідроудару, приймаємо площу уловлювача, яка дорівнює .	Н

Зміни тиску і швидкості потоку в трубопроводах відбуваються не миттєво в зв'язку з стискання робочого середовища, а з деякою кінцевою швидкістю, обумовленою необхідністю компенсації пружних деформацій рідини і труби .

Таблиця 3- Результати розрахунків

Величина	Позначення	Розмірність	Значення
Швидкість розповсюдження ударної хвилі	a	м/с	$1,181 \cdot 10^3$
Тиск гідроудару	ΔP	МПа	28
Сила гідравлічного удару	N	Н	3803

На рис. 2, 3 наведені залежності тиску гідравлічного удару від діаметра камери, а також швидкість розповсюдження ударної хвилі в камері від діаметра камери.

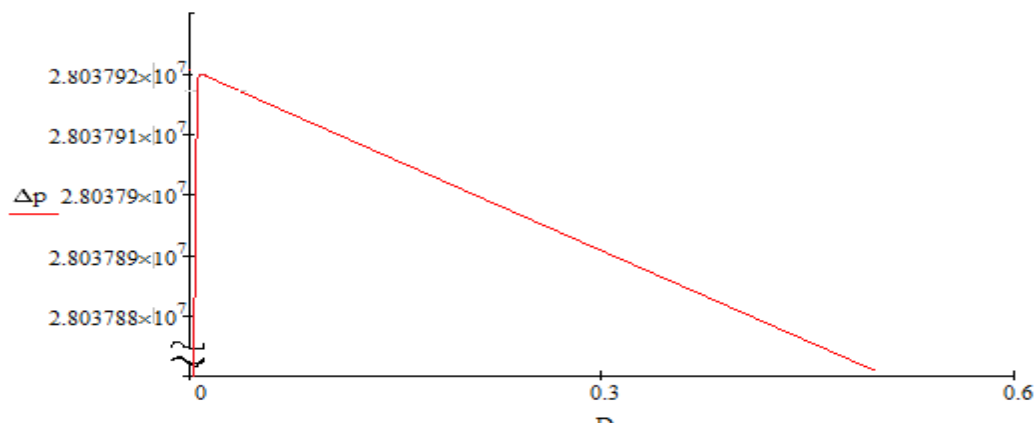


Рисунок 2 – Залежність тиску гідравлічного удару від діаметра робочої камери.

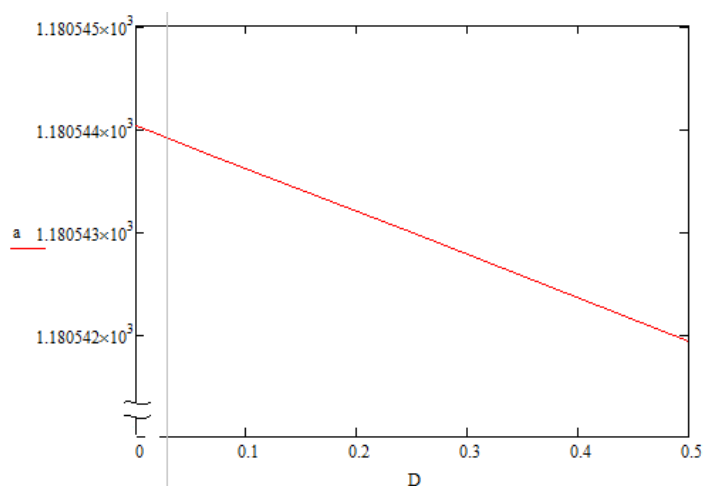


Рисунок 3 – Залежність швидкості розповсюдження хвилі гідравлічного удару від діаметра камери.

від діаметра робочої камери.

За допомогою комп'ютерного моделювання з використанням інструменту Flow Simulation оболонки SolidWorks побудована тривимірна модель гасника коливань тиску рідини та досліджена його гідродинаміка, а саме змодельовано процес закрутки вихрового потоку в камері та характер потоку робочої рідини через гасник.

Лінії течії робочої рідини показують утворення вихрового потоку рідини у камері (рис. 4).

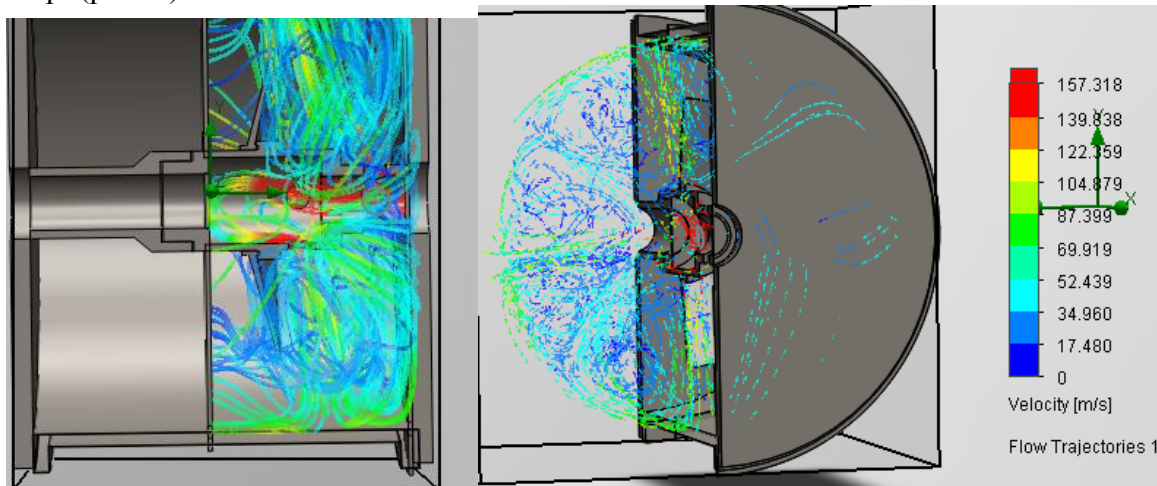


Рисунок 4 – Відображення процесу завихрення потоку.

Як ми бачимо із рис.4 завихрення потоку найбільше біля стінки вихідного фланця. Втрата напору (енергії) при раптовому розширенні русла витрачається на вихроутворення, пов'язане з відривом потоку від стінок, тобто на підтримку обертального безперервного руху рідких мас із постійним їхнім відновленням (рис. 5).

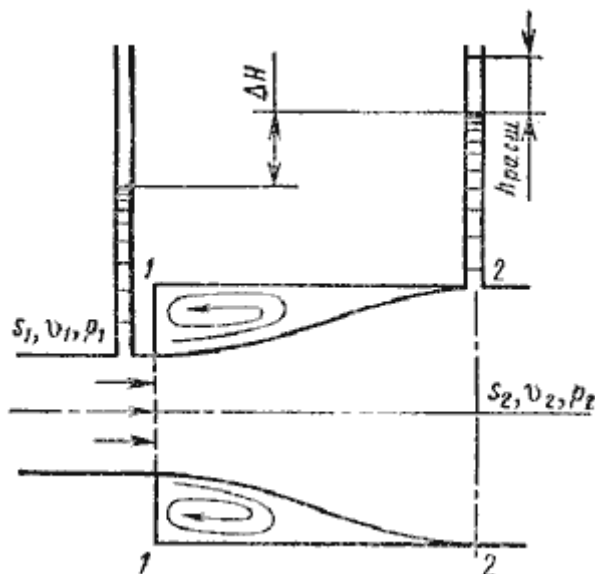


Рисунок 6 - Раптове розширення труби

При раптовому розширенні русла (труби) потік зривається з кута й розширюється не раптово, як русло, а поступово, причому в кільцевому просторі між потоком і стінкою труби утворюються вихри, які і є причиною втрат енергії. Так як потік між перерізами 1-1 і 2-2 розширюється, то швидкість його зменшується, а тиск зростає.

Висновки

Забезпечено умови розсіювання енергії хвилі гідроудару, що негативно впливає на поверхневе обладнання, наприклад насосний агрегат, який забезпечує функціонування імпульсного глибинного обладнання. Це дозволить зробити процес відновлення свердловини ефективним і економічним, з точки зору затрат на виробництво і забезпечення цілісності обладнання.

Аналізуючи зміну швидкості руху хвилі гідроудару при зміні діаметрів від 0,059 до 0,5 м слід зазначити, що втрати енергії гідроудару прямо пропорційно залежать від діаметру камери, в якій проходить ударна хвиля.

Наведена конструкція гасника, забезпечує зниження швидкості розповдження ударної хвилі.

Список літератури

1. Никишенко С. Л. Нефтегазопромысловое оборудование [Текст] Волгоград: Издательство «Ин-Фолио», 2008. - 416 с
2. Колесников П.И. Специальные агрегаты и механизмы, применяемые в бурении и нефтегазодобыче [Текст] - М.:Недра,1975.- с.33-34.
3. Аронович Г.В. Гидравлический удар, уравнильные резервуары – М., Наука, 1968, - 248 с
4. Вервейко Н.Д. Затухание головной волны гидроудара в линии переменного сечения. - Изв. вузов. Серия Машиностр.,1984 № 9 с.70-73
5. Байбиков Б.С., Дрейцер Г.А., Изосимов В.Г., Жирнов А.Н. Влияние гидравлической нестационарности на турбулентный поток жидкости в трубе. - Труды Всесоюзного заочного политехнического института, гидравлики, 1974, т. 10, вып. 3, с.89-101.

УДК 658.5

Ворфоломеев Андрій Вікторович, к.т.н., ст. викладач

Інститут енергозбереження та енергоменеджменту

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

Центр ресурсоефективного та чистого виробництва

ВПРОВАДЖЕННЯ РЕСУРСОЕФЕКТИВНОГО ВИРОБНИЦТВА НА ПІДПРИЄМСТВАХ ГАЛУЗІ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

Розглянуто концепцію ресурсоефективного та чистого виробництва. Проаналізовано споживання підприємствами-виробниками будівельних матеріалів основних ресурсів: енергії, матеріалів і води. Вибрано напрямки перспективних досліджень для підвищення ресурсоефективності підприємств.

Ключові слова: ресурсоефективність, будівельні матеріали, енергозбереження, споживання матеріалів, водні ресурси.

Andrii Vorfolomeiev, Ph.D., assistant professor

Institute of Energy Saving and Energy Management

National Technical University of Ukraine “Kyiv Polytechnic Institute”

Resource Efficient and Cleaner Production Centre

IMPLEMENTATION OF RESOURCE EFFICIENT PRODUCTION AT THE ENTERPRISES OF CONSTRUCTIONAL MATERIALS SECTOR

The concept of resource efficient and cleaner production was considered. It was analyzed the consumption of main resources (energy, materials, water) by producers of

construction materials. The directions for further investigations, which increase the resource efficiency of enterprises, was chosen.

Key words: resource efficiency, construction materials, energy saving, materials consumption, water resources

Вступ

Ресурсоефективне та чисте виробництво (РЕЧВ) – це глобальна концепція, розроблена в кінці 80-х – початку 90-х років за участі Програми ООН з навколишнього середовища (ЮНЕП) та Організації Об'єднаних Націй з промислового розвитку (ЮНІДО). Вона передбачає застосування комплексного, послідовного, превентивного підходу до виробничих процесів із метою підвищення економічної ефективності виробництва, зниження виробничих ризиків для людей та зменшення навантаження на навколишнє середовище [1].

Поширення підходів ресурсоефективного і чистого виробництва відбувається через різноманітні міжнародні програми. Так, у рамках програми «Екологізація економік країн Східного партнерства Європейського Союзу» (EaP GREEN) діє демонстраційний проект ЮНІДО «Ресурсоефективне та чисте виробництво» [2]. Серед завдань цього проекту є демонстрація переваг РЕЧВ на прикладі підприємств будівельної галузі. Ця галузь була обрана з огляду на значний потенціал для розвитку. Наприклад, виробництво (і експорт) керамічної плитки та будівельного каменю в 2010-2013 рр. постійно зростали [3]. Після кризи 2009 року об'єм будівництва житла в Україні зростав від 4978 тис. м² в 2010 до 8232 тис. м² в 2013 році [4]. У 2014-15 рр. 5 підприємств галузі виробництва будівельних матеріалів прийняло участь у проекті (результати наведено в [5]), а в 2015-16 рр. долучилися ще 8 підприємств.

Аналіз стану питання

Галузь виробництва будівельних матеріалів включає підприємства, що виконують первинну обробку мінерально-будівельної сировини, виробництво в'язучих матеріалів, стінових матеріалів і конструкцій для зведення будівель тощо. Традиційно вона є досить енергоємною [6, 7], адже при виробництві будівельних матеріалів може застосовуватись теплова (наприклад, сушіння, відпал, розплавлення) та механічна обробка (наприклад, різання, пресування, формування, зварювання). Зазвичай розробки з підвищення ресурсоефективності підприємств зосереджується на розгляді конкретних ділянок (процесів), а не підприємства в цілому. Таким чином для розробки інноваційних ресурсозберігаючих технологій необхідно проаналізувати роботу підприємств і визначити ділянки з інтенсивним і неефективним використанням ресурсів.

Мета роботи – на основі аналізу стану підприємств галузі виробництва будівельних матеріалів встановити характерні ділянки, на який допускаються перевитрати ресурсів, для подальшої розробки заходів щодо підвищення ресурсоефективності підприємств.

Для досягнення поставленої мети поставлено такі **завдання**:

1. Проаналізувати споживання підприємствами галузі виробництва будівельних матеріалів основних ресурсів: енергії, матеріалів і води.
2. Обґрунтувати перспективні напрямки наступних досліджень для підвищення ресурсоефективності підприємств.

Матеріали досліджень

Впровадження РЕЧВ передбачає аналіз споживання основних ресурсів (енергії, матеріалів, води), встановлення місць їх нераціонального використання та розробку й впровадження заходів щодо підвищення ресурсоефективності підприємств із їх подальшим моніторингом.

Використання енергії. Галузь виробництва будівельних матеріалів є енергоємною. Так у структурі витрат підприємств енергетичні ресурси можуть займати від 20 до 60 % [6-8]. Значною мірою на це впливає вид продукції підприємства. У

виробничих процесах підприємств будівельної галузі використовується електрична, теплова та пневматична енергії. Системи електропостачання на вітчизняних підприємствах традиційно функціонують на відповідному рівні. Наявність необґрунтованих втрат можлива внаслідок скорочення обсягів виробництва. Останнє є досить розповсюдженим, так як збудовані ще в радянські часи підприємства часто не відповідають сучасним викликам і змушені згортати випуск продукції або виводити з роботи нерентабельні ділянки. При цьому знижується завантаженість пристроїв системи електропостачання, що призводить, наприклад, до збільшення частки втрат на холостому ходу трансформаторів. Просте виведення надлишкових трансформаторів і перекомутація ліній може призводити до економії до ста тисяч гривень щороку.

Облік є важливим чинником зберігання ресурсів [9]. У системах електропостачання він є досить простим у виконанні. Тому середні та великі підприємства України в переважній більшості впроваджують системи автоматизованого контролю й обліку електроспоживання. При чому використовуються розподілені системи часто з багаторівневим обліком. На малих підприємствах можливий облік лише по лічильнику на вводі, що утруднює аналіз структури енергоспоживання та розробку опцій щодо підвищення енергоефективності підприємства. У такому випадку потрібно використовувати додаткове вимірювальне обладнання, яке може реєструвати споживання електроенергії на основних ділянках у часі.

Обстеження систем електропостачання вказує, що підприємства можуть отримувати електроенергію з різними напругами по фазам. Така несиметрія негативно впливає на ефективність роботи електроспоживачів. Наприклад, при роботі електроприводу за невідповідної напруги його коефіцієнт знижується на 3-5 % [10].

На підприємствах будівельної галузі використовується потужний електропривод. Наприклад, привод бетонозмішувального вузла або екструдера. Використання таких приводів пов'язане зі споживанням реактивної енергії, що знижує коефіцієнт потужності. При налагодженому обліку електроенергії цей коефіцієнт просто контролюється. Його коригування не потребує значних витрат, тому на середніх та великих підприємствах встановлюються пристрої компенсації реактивної енергії. Здебільшого це конденсаторні батареї зі ступінчастим регулюванням.

При адаптації до сучасних вимог, крім скорочення обсягів продукції, також характерним є випуск продукції з частковим використанням старих технологічних ліній. При цьому лінії знову ж таки є недовантаженими, що впливає на їх енергоефективність. Так при зниженні коефіцієнта завантаження електродвигуна відбувається зменшення його коефіцієнту корисної дії, а також зменшення коефіцієнта потужності, що призводить до збільшення споживання реактивної енергії [9]. Варто зазначити, що у Європі 25 % електроенергії споживають системи електроприводу промислових підприємств [11].

Системи освітлення підприємств виконуються натрієвими та металогалогенними лампами. При великій сумарній потужності ламп коефіцієнт їх використання може бути низьким. Тому кількість спожитої електроенергії підприємством на освітлення часто незначна. Це не стимулює підприємства переходити на використання більш енергоефективних світлодіодних ламп. З іншого боку, за результатами вимірювань освітленість у виробничих приміщеннях підприємств не відповідає нормативним значенням, визначеним у [12]. У деяких випадках це наслідок неналежного обслуговування ламп, наприклад, не проводиться їх чищення.

Природний газ споживається на підприємствах на технологічні потреби та на опалення. З огляду на невелику величину опалювальних площ (опалення у виробничих цехах відсутнє, а адмінбудівлі іноді не функціонують у зимові місяці разом із підприємством), визначальними є саме технологічні потреби. Це можуть бути процеси, які потребують значних обсягів теплоти, наприклад, сушіння сирцю, відпал різних

видів цегли, пропарювання бетонних виробів. Практичні вимірювання вказують як на надлишкову теплову обробку виробів (коли необґрунтовано збільшується тривалість обробки або температура), так і на великий обсяг втрат у навколишнє середовище. Це особливо характерно підприємствам із технологічними лініями 60-х–80-х років, так як вартість газу та інших ресурсів була незначною. Щодо втрат теплоти у навколишнє середовище при обробці виробів, то вони становлять 20-30 % від підведеної теплоти. При цьому застосування додаткової теплоізоляції має термін окупності 1-2 роки. Водночас, втрати теплоти у навколишнє середовище можуть досягати 75 % при застосуванні «саморобних» засобів теплової обробки. Останні використовуються підприємствами в умовах зменшення завантаженості та адаптації до нових продуктів. При чому поруч із неефективним розподілом теплоти можливе використання електричних обігрівачів, при якому значно збільшується вартість теплової обробки. Ефективним рішенням є використання добавок до сировини для зменшення теплової обробки продукції [5].

З огляду на постійне зростання цін традиційних енергоносіїв ([13], [14], див. рис.1) використання твердого палива набуває все більшої актуальності. Це можуть бути деревина (пелети, тріски тощо) або вугілля. При заміні природного газу пелетами термін окупності становитиме не більше 2 років. З іншого боку, впровадження твердопаливної системи пов'язане із додатковими ризиками: доступність і логістика сировини, зростання її вартості, зміна якості продукції тощо.

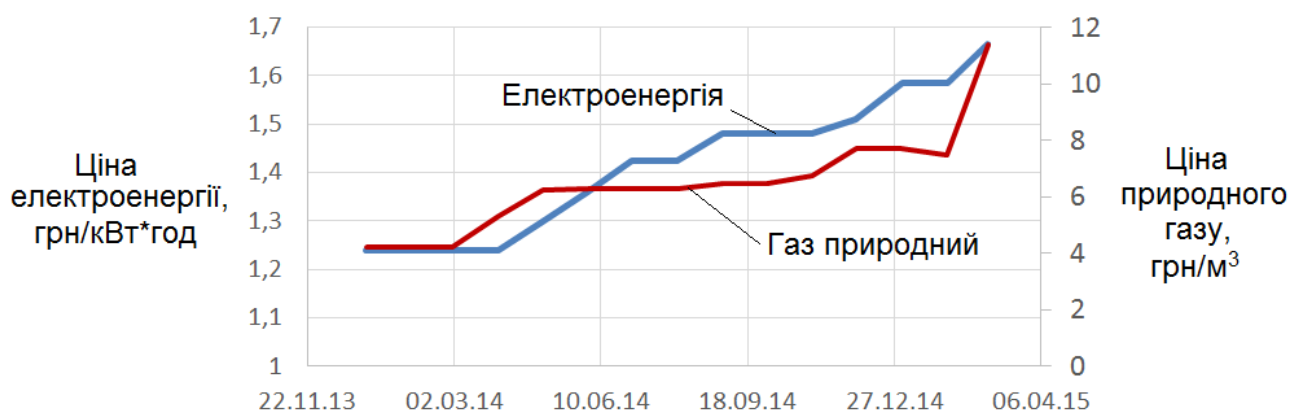


Рисунок 1 – Зростання цін на основні енергоносії в Україні

Тільки 5 % енергії, що споживається компресорами, корисно використовується кінцевими споживачами стисненого повітря [9]. З огляду на це, більшість українських підприємств використовують сучасні компресори. Однак, часто ці компресори працюють на протяжні та зношені пневмомережі, об'ємні втрати стисненого повітря в яких можуть сягати 60 %. Зношеність пневматичних пристроїв є важливим чинником збільшення споживання енергії. Сучасні тенденції передбачають заміну обладнання, що використовує пневматичну енергію, на аналогічне за призначенням електрообладнання.

Використання матеріалів. Частка вартості матеріалів на підприємствах у структурі витрат для підприємств галузі виробництва будівельних матеріалів різниться в залежності від продукції, технології та типу сировини і становить від 20 % до 70 % [8, 15]. Матеріали найчастіше є викопними і недорогими, але, наприклад, при виробництві бетону та бетонних виробів використовується дуже вартісний матеріал – цемент. В останньому випадку на підприємствах використовується рециклінг, який забезпечує економію не тільки дорогого ресурсу, а й щебню, води тощо. Втрати матеріалів найчастіше відбуваються при їх транспортуванні та при формуванні виробів. Відповідальні підприємства забезпечують повернення таких втрат у виробництво без зниження якісних показників кінцевого продукту. Щодо втрат матеріалів після теплової обробки (брак), то їх переробка не дуже поширена, особливо при недорогій вхідній

сировині. Хоча такі матеріали можуть бути сировиною для побічних продуктів для самого підприємства чи вхідною сировиною для інших підприємств. Наприклад, у Великобританії успішно функціонує ринок відходів [16].

Використання води. Загалом промисловість споживає більше 50 % води, використаної в Україні в різних галузях економіки, з них більше 80 % скидається у вигляді стічних вод [17]. Українським підприємствам характерний брак уваги до такого ресурсу, як вода. Це передусім зумовлено відносною дешевизною ресурсу. Так у випадку централізованого водопостачання у м. Київ ціна для підприємств складає 3,36 грн/м³ [17]. У той же час підприємства галузі виробництва будівельних матеріалів використовують для технологічних потреб воду з Дніпра чи власних свердловин. При цьому сплачується збір за водокористування, який становить декілька тисяч гривень за рік. Навіть при врахуванні витрати на електроенергію, яка витрачається на роботу насосів, ціна водних ресурсів для підприємств є несуттєвою і рідко займає більше 1 % у структурі його витрат. Це призводить до відсутності обліку водоспоживання, необґрунтованих перевитрат води, відсутності збору дощової води, рециркуляції тощо. Деякі підприємства допускають розімкнуті системи охолодження, коли вода просто випаровується в атмосферу. Через низьку вартість ресурсу при розробці заходів з підвищення ефективності використання води постає проблема надто малої економії (навіть при збереженні 2/3 води, що споживається підприємством) і, як наслідок, великих (8-15 років) термінів окупності.

Щодо стічних вод підприємств, то через технологічні складнощі їх облік не проводиться, а підприємства розраховуються за скидання за нормативними документами. Через низьку вартість у підприємств відсутня економічна мотивація щодо скорочення стоків. Так очисні споруди часто відсутні. Загалом в Україні повторне використання промислових стічних вод становить всього 4 % [17].

Висновки

1. Для підприємств-виробників будівельних матеріалів важливим є питання ефективного використання енергії, як вартісного ресурсу. При розробці заходів із енергозбереження особливу увагу треба приділяти процесам теплової обробки виробів, заміні джерел енергії, а також використанню стисненого повітря.

2. На сьогодні підприємства економічно не вмотивовані впроваджувати заходи щодо підвищення ефективності споживання води через низьку вартість цього ресурсу. Втім, інтеграція до Європейського Союзу поставить перед підприємствами необхідність займатися водним менеджментом, тому є актуальною розробка систем очищення стічних вод і повторного використання води.

Література

1. Підходи та практики ресурсоефективного виробництва. Посібник для успішного бізнесу / Демонстраційний проект організації об'єднаних націй з промислового розвитку (ЮНІДО) «Ресурсоефективне та чисте виробництво». – Київ: Центр ресурсоефективного та чистого виробництва, 2015. – 40 с.

2. Про програму EaP GREEN [Електронний ресурс] / Центр ресурсоефективного та чистого виробництва. – Електронні дані. – Режим доступу: <http://recpc.kpi.ua/ua/projects-ua/eap-green> (дата звернення 10.05.2016 р.). – Назва з екрана.

3. Анализ украинского рынка керамической плитки, сантехники и натурального строительного камня в январе-августе 2013 г. / Отчет о результатах исследования для «Украинской ассоциации керамики». – Киев: GfK, 2013. – 77 с.

4. Салій І.М. Розвиток галузі будівельних матеріалів України [Електронний ресурс] / І.М. Салій. – Електронні дані. – Режим доступу: <http://www.avbmv.com.ua/index.php/pro-asotiation/analitika> (дата звернення 10.05.2016 р.). – Назва з екрана.
5. Впровадження ресурсоефективного та чистого виробництва на підприємствах України – 2014 (галузь виробництва будівельних матеріалів) / Демонстраційний проект організації об'єднаних націй з промислового розвитку (ЮНІДО) «Ресурсоефективне та чисте виробництво» . – Київ: Центр ресурсоефективного та чистого виробництва, 2015. – 8 с.
6. Колесников О.В. Напрямки зниження енерговитрат у собівартості будівельної продукції / О.В. Колесников // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. – 2011. – №12 (94). – С. 25-27.
7. Бойко Л.Г. Теоретичні аспекти формування енерго-економічного механізму управління енергозбереженням у будівельній галузі та ЖКГ / Л.Г. Бойко // Управління проектами, системний аналіз і логістика. – 2010. – № 7 (2010). – С. 212-215.
8. Обзор цементной отрасли в государствах-членах Таможенного союза и Единого экономического пространства / Промышленность строительных материалов. – Москва, 2014. – 30 с.
9. PRE-SME – Promoting Resource Efficiency in Small & Medium Sized Enterprises Industrial training handbook. – United Nations Environment Programme, 2010. – 136 p.
10. Cleaner Production – Energy Efficiency Manual: Guidelines for the Integration of Cleaner Production and Energy Efficiency. – United Nations Environment Programme, 2004. – 296 p.
11. Energy Efficient Motor Driven Systems / [H. De Keulenaer, R. Belmans, E. Blaustein and others]. – European Copper Institute, 2004. – 24 p.
12. Інженерне обладнання будинків і споруд. Природне і штучне освітлення: ДБН В.2.5-28-2006. – Зміна №2. – [Чинний від 2010–10–01]. – Київ: Мінрегіон України, 2006. – 96 с. – (Національні стандарти України).
13. Тарифи на електричну енергію (крім населення) [Електронний ресурс] / Київенерго – Електронні дані. – Режим доступу: <http://kyivenergo.ua/ee-company/tarifi> (дата звернення 10.05.2016 р.). – Назва з екрана.
14. Вартість природного газу [Електронний ресурс] / Регіональна газова компанія «Київоблгаз». – Електронні дані. – Режим доступу: <https://kv.104.ua/ua/services/zaplatiti-za-gaz/gas-cost> (дата звернення 10.05.2016 р.). – Назва з екрана.
15. Козловская И.О. Промышленность строительных материалов: анализ состояния и факторов хозяйственного риска / О.И. Козловская // Устойчивое развитие экономики: состояние, проблемы, перспективы: материалы пятой международной научно-практической конференции. УО «Полесский государственный университет», г. Пинск, 28-29 апреля 2011 г.: в 2 ч. Ч.1. – Пинск: ПолесГУ, 2011. - С. 209-212
16. *The UK Residual Waste Market / A market report by the UK Green Investment Bank.* – Green Investment Bank, 2014. – 24 p.
17. Князькова Т.В. Вода як інструмент концепції більш чистого виробництва (Методичний посібник для оцінки водокористування на підприємствах) / Т.В. Князькова. – Київ: Центр ресурсоефективного та чистого виробництва, 2016. – 28 с.

УДК

В.О. Броницький, асистент, О.В. Левін, студ. (НТУУ «КПІ»)

ВДОСКОНАЛЕННЯ ОЧИСТКИ СТИЧНИХ ВОД ВІД НАФТОПРОДУКТІВ

Анотація. Досліджена установка для очищення стічних вод від нафтопродуктів. Описані переваги використання даної установки. Доведена доцільність застосування даного заходу на нафтових підприємствах.

Ключові слова: очистка; нафта; стічні води; вдосконалення; стоки; вода

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ОТ НЕФТЕПРОДУКТОВ

Аннотация. Исследована установка для очистки сточных вод от нефтепродуктов. Описанные преимущества использования данной установки. Доказана целесообразность применения данного мероприятия на нефтяных предприятиях.

Ключевые слова: очистка; нефть; сточные воды; совершенствования; стоки; вода.

IMPROVE SEWAGE CLEANING OF OIL PRODUCTS

Abstract. Studied plant for sewage treatment from petroleum products. Describe the benefits of using this system. The expediency of application of the activities of oil companies.

Keywords: cleaning; oil; wastewater; perfection; drains; water.

Вступ. Основними джерелами забруднень нафтою та нафтопродуктами є видобувні підприємства, системи перекачування і транспортування, нафтові термінали і нафтобази, сховища нафтопродуктів, нафтопереробні заводи, залізничний транспорт, автоцистерни перевезення нафтопродуктів, річкові та морські нафтоналивні танкери, автозаправні комплекси і станції. Обсяги відходів нафтопродуктів і нафтозабруднень, що зібралися на окремих об'єктах, складають десятки і сотні тисяч кубометрів. Дедалі більше використання у господарській діяльності нафти і її персистентних продуктів є одним з факторів глобального забруднення навколишнього середовища.

Мета роботи – очистка стічних вод від нафтопродуктів з застосуванням установки КЛЮЧ-5Н.

Результати дослідження. Високонадійні технологічні рішення установки дозволяють гарантовано забезпечити при подачі на очистку особливо забруднених стоків, а також можливість скиду вод у водоймі рибогосподарського призначення.

Для підвищення степені очистки стоку на установці передбачена можливість попереднього коагулювання стічних вод.

Переваги установки:

- технологічний процес очистки включає ступінь пінно-флотаційної сепарації, фільтр з плаваючим завантаженням і сорбційним фільтром доочистки;
- конструкція фільтра з плаваючим навантаженням така, що дозволяє застосовувати будь-які дозволені контролюючими органами види навантажень (керамзит, і т.д.);
- завантаження сорбційного фільтра активованим вугіллям;
- завантаження фільтрів має значний термін служби за рахунок можливості багатократної промивки;
- при експлуатації установки можливо використання води, очищеної на будь-якому із ступенів;

- установка КЛЮЧ 5Н - самовсмоктуюча, комплектує високонадійними насосами;
- установка обладнана накоплювачем уловлених забруднень, знімними кришками для запобігання викидів у навколишнє середовище, забір повітря здійснюється з корпусу установок;
- установка випускається у вибухонебезпечному виконанні. Високонадійні технологічні рішення установки дозволяють гарантовано забезпечити при подачі на очистку особливо забруднених стоків, а також можливість скиду вод у водоймі рибогосподарського призначення.

Для підвищення степені очистки стоку на установці передбачена можливість попереднього коагулювання стічних вод .

Установка складається з камери пінної флотаційної сепарації, фільтра з плаваючим навантаженням і сорбційного фільтра. Схема роботи установки представлена на рисунку 1.

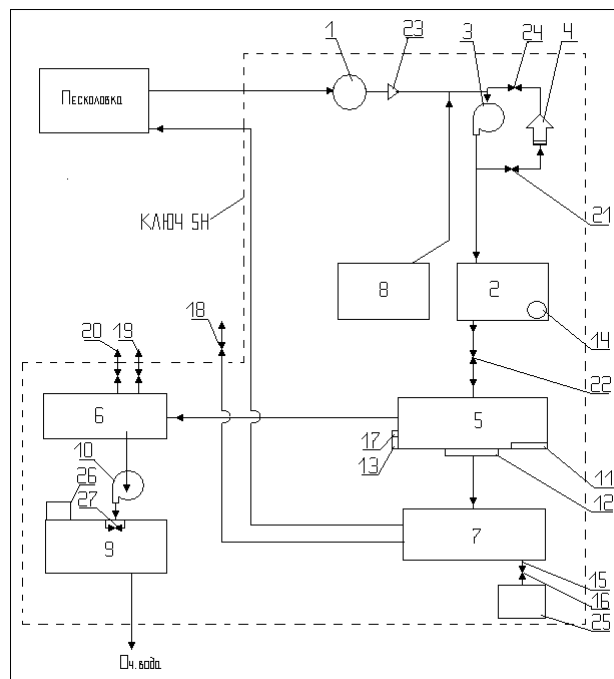


Рис. 1 Схема роботи установки КЛЮЧ 5Н: 1 – вакуум бак; 2 – сатуратор; 3 - насос WILO Multivert MWI 408/PN 25 3; 4 – ежектор; 5 – камера пінної сепарації; 6 – фільтр з плаваючим навантаженням; 7 – декантатор; 8 – бак реагента; 9 – сорбційний фільтр; 10 - насос WILO-Drain TMW 32/8 Twister; 11 – зйомний тонкошаровий елемент; 12 – пінний карман; 13 – розподіляючий карман; 14 – манометр; 15 – вузол зборної ємності; 16 – шламовий вентиль декантатора; 17 – муфта відбору води; 18 – вентиль для скиду шламу; 19,20 – вентиль скиду води; 21 – вентиль подачі повітря в ежектор; 22 – кран скиду повітря; 23 – клапан; 24 – кран подачі повітря; 25 – збірна ємність; 26 – карман сорбційного фільтра; 27 – вентиль сорбційного фільтра.

Концентрації забруднюючих речовин в стічній воді після кожного ступеня очищення на установці представлені в таблиці 1.

Таблиця 1. Концентрації забруднюючих речовин в стічній воді після кожного ступеня очищення

Показаник	Концентрація забруднень мг/л, не більше

	Вихід. вода для подачі в установку	Після флотатора	Після фільтра з плав. нав.	Після адсорбера
Зважені речовини	1100	300	40	не більше 3
Нафтопродукти	1500	700	30	не більше 0,05

Попередньо пройшовши пісковловлювач стічна вода зі збірної ємності забирається насосом (3) установки за допомогою вакуум бака (1) і зворотного клапана (23), що виключають сухий хід насоса.

На байпасній лінії насоса за допомогою ежектора (4) з краном подачі повітря (24) вода насичується повітрям і потрапляє в сатуратор (2). У сатураторі під тиском 0,5 МПа, контрольованому манометром (14) протягом 2-х хвилин йде процес розчинення повітря в воді. Для скидання повітря з сатуратора передбачений кран скидання повітря (22).

Через шайбу гасіння напору, розташовану на вході в камеру пінної сепарації (5) вода з сатуратора (2) потрапляє у флотаційну зону камери, де відбувається виділення бульбашок повітря і утворення глобул. З флотаційної зони вода потрапляє в зону пінної сепарації камери 5. Процес сепарації інтенсифікований знімним тонкошаровим елементом (11). При виході із зони сепарації стічна вода розділяється. Верхня частина в обсязі 10% від загальної витрати з забрудненим пінним шаром потрапляє через пінний кишень (12) в декантатор (7), а нижня, очищена частина, потрапляє через розподільчий карман (13) на двосекційний фільтр (6).

Забруднений пінний шар відстоюється в декантатор (7) протягом однієї години часу, достатньої для саморуйнування піни. Після відстоювання вода з декантатору відводиться в збірну ємність через збірний вузол (15). Шлам періодично видаляється через шламовий вентиль декантатор (16).

Очищена пінною сепарацією вода потрапляє через розподільчий карман (13) з регулюючої муфтою відбору води (17) в двосекційний фільтр (6), де відбувається остаточне доочищення води від зважених речовин. Промивання фільтрів здійснюється за допомогою вентилів скидання води (20). З фільтра з плаваючим завантаженням (6) вода надходить в карман сорбційного фільтра (26). З карману сорбційного фільтра насосом (10) вода подається через регулюючий вентиль сорбційного фільтра (27) на сорбційний фільтр (9), де відбувається доочищення стоку від розчинених домішок.

При використанні коагулянту, в якості якого беруть сірчаноокислий алюміній, його в кількості 5 кг засипають в бак реагенту (8). Вода в бак реагенту (8) подається з камери пінної сепарації (5) і розчиняє коагулянт. З бака реагенту розчин коагулянту подається в провід перед насосом (3) установки. Регулювання подачі коагулянту здійснюється краном подачі коагулянту.

Ефективність очищення стічних вод на наявних очисних спорудах можна розрахувати за наступною формулою:

$$E = 100\% - \left(\frac{C_2 \times 100\%}{C_1} \right),$$

де C_1 – концентрація забруднюючої речовини в стічній воді до очищення, мг/л;

C_2 – концентрація забруднюючої речовини після очищення, мг/л.

Наведено результат після впровадження даної установки на нафтопереробному заводі з такими показниками:

Показник	Концентрація забруднень мг/л, не більше			
	Вихід. вода для подачі в установку	Після флотатора	Після фільтра з плав. нав.	Після адсорбера
Нафтопродукти	1500	700	30	не більше 0,05

$$E = 100\% - \left(\frac{0.05 \times 100\%}{1500} \right) = 99,99\%$$

Висновок: Після проведеного аналізу роботи даної установки було показано, що концентрація забруднюючих речовин в стічній воді значно зменшується. Проведено аналіз ефективності очистки стічних вод від нафтопродуктів на нафтопереробному заводі і отриманий результат, який розрахований за формулою: $E = 100\% - (C_2/C_1 * 100\%) = 99\%$, що підтверджує її ефективність.

Література

1. Гігієнічні нормативи ГН 2.1.5.1315-03 «Гранично допустимі концентрації (ГДК) хімічних речовин у воді, водних об'єктах господарсько питного і культурно-побутового водокористування» (затв. Головним державним санітарним лікарем РФ 27 квітня 2003р.).
2. Мазур І.І., Молдованов І.А. «Курс інженерної екології» М.: «Вища школа», 2001 р. с.- 510.
3. Пономарьов В.Г., Іоакіміс Є.Г., Монгайт І.Л. «Очищення стічних вод нафтопереробних заводів», М.: «Хімія», 1985г.с.-256
4. Когановський В.М., Клименко Н.А., Левченко Т.М. та ін. «Очищення і використання стічних вод в промисловому водопостачанні», М.: «Хімія», 1983г.с.- 288.

УДК 614.8

Ільчук О.С., асистент,
Національний технічний університет України «КПІ»

ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДУ ГОЛОВНИХ КОМПОНЕНТ У ДОСЛІДЖЕННІ ВИРОБНИЧОГО ТРАВМАТИЗМУ УКРАЇНИ

Запропоновано підхід до виявлення структури показників, що впливають на рівень виробничого травматизму, та сформовано узагальнюючі фактори на основі відібраних інформативних показників, які забезпечують можливість аналізування ефективності стану травматизму на виробництві.

Ключові слова: виробничий травматизм, охорона праці, промислова безпека, нещасні випадки, метод головних компонент.

APPLICATION OF THE PRINCIPAL COMPONENTS METHOD FOR THE RESEARCH OF INDUSTRIAL INJURIES IN UKRAINE

The approach of revealing the structure of indexes that influence on the level of industrial injuries is offered. The generalizing factors are formed on the basis of close informative indexes, which provide the possibility of analysis of the efficacy of the state of injuries in industrial sector.

Keywords: industrial injuries, labor protection, industrial defense, accidents, principal component analysis.

Вступ. Виробничий травматизм давно став актуальною проблемою в усіх країнах світу, у тому числі й в Україні.

За даними Міжнародного бюро праці щорічно у світі реєструється приблизно 270 млн нещасних випадків, пов'язаних з трудовою діяльністю людини, і 160 млн професійних захворювань, гине більше 2,2 млн робітників, з них 25% від впливу шкідливих і небезпечних речовин, ці жертви перевищують кількість жертв дорожньо-транспортних пригод (1 млн), воєнних конфліктів (502 тис.), насильства (536 тис.).

За даними Державної служби України з питань праці, за дванадцять місяців 2015 року на підприємствах України смертельно травмовано 374 особи: 115 осіб.

Важливо також звернути увагу на приховування фактів про виробничий травматизм. Багато роботодавців сьогодні зацікавлені в цьому, не тільки через адміністративну, але й більшою мірою кримінальну відповідальність. Тому посадові особи свідомо йдуть на порушення закону, тим самим спотворюючи статистику.

Мета роботи. Запропонувати підхід до виявлення структури відібраних інформативних показників, що впливають на рівень виробничого травматизму України, та формування на їх основі узагальнюючих факторів.

Результати досліджень.

Для визначення факторів, які найбільш впливають на рівень виробничого травматизму, необхідно відкинути малоінформативні показники, що доцільно здійснити за допомогою багатомірного статистичного аналізу.

Для аналізу рівня травматизму на виробництві було проведено ранжування 32 попередньо відібраних показників [1] із метою виявлення рівня впливу кожного з них на рівень виробничого травматизму.

Кількість відібраних показників є значною, що забезпечує достатньо точне моделювання виробничого травматизму, але ускладнює процес аналізування рівня травматизму на виробництві.

Отже, для вирішення задач аналізування рівня ефективності виробничого травматизму необхідно не лише відібрати показники, що мають вагомий вплив на

рівень виробничого травматизму, але й виявити їх структуру, тобто, сформуванати деякі узагальнювальні фактори.

Існують два підходи до виділення впливових параметрів.

До першого відносяться методи, які дозволяють скоротити розмірність простору без видозміни параметрів. Ці методи засновані на побудові лінійної регресійної моделі, а пошук змінних здійснюється послідовним виключенням із моделі змінних [2]. Віднесення змінних до множини впливових визначається згідно зі змінами множинного коефіцієнта кореляції. Другий шлях об'єднує методи, у яких зниження розмірності простору виконується одночасно з його перетворенням. До цих методів відносяться факторний аналіз, метод головних компонент та канонічний аналіз [3]. Характерною особливістю цього підходу є те, що виконується вибір і оцінка значимості не окремих змінних, а інформативних за сукупністю груп змінних.

Метод головних компонент відрізняється від інших методів простою логічною побудовою. Він використовується для розв'язування наступних типів задач:

- аналізування причинно-наслідкових зв'язків показників та визначення їх стохастичного зв'язку з головними компонентами;
- побудова узагальнених техніко-економічних показників;
- стиснення вихідної інформації;
- класифікація об'єктів спостережень;
- ранжування об'єктів або спостережень за головними компонентами;
- побудова рівнянь регресії за узагальненими техніко- економічними показниками [4].

Для визначення достатньо інформативних факторів, що впливають рівень виробничого травматизму в Україні, виконаємо ранжування попередньо відібраних факторів за головними компонентами.

Дослідження проводилося з використанням статистичних даних за звітами Державної служби статистики України про стан безпеки праці на виробництві України.

Можна виділити 12 причин, які найбільш впливають на стан виробничого травматизму: X_1 - конструктивні недоліки, недосконалість, недостатня надійність засобів виробництва; X_2 - недосконалість технологічного процесу, його невідповідність вимогам безпеки; X_3 - незадовільний технічний стан виробничих об'єктів, будівель, споруд, інженерних комунікацій, території; засобів виробництва; транспортних засобів; X_4 - інші технічні причини; X_5 - невикористання засобів індивідуального захисту через незабезпеченість ним; X_6 - порушення технологічного процесу; X_7 - порушення вимог безпеки під час експлуатації обладнання, устаткування, машин, механізмів тощо; X_8 - порушення правил безпеки руху; X_9 - порушення трудової і виробничої дисципліни; X_{10} - інші організаційні причини; X_{11} - інші психофізіологічні причини; X_{12} - інші причини (без урахування технічних, організаційних і психофізіологічних причин).

Формування матриці початкових даних, яка інтерпретується як реалізація n -мірного випадкового вектора при N спостережень [3]:

$$\bar{Y}_{(n)} = \langle \bar{y}_1, \dots, \bar{y}_n \rangle,$$

Властивості даного випадкового вектора з достатньою точністю описуються вектором математичних сподівань $\bar{y}_i$:

$$\bar{Y} = (\bar{y}_1, \dots, \bar{y}_n)$$

та кореляційною матрицею:

$$K_{[n]} = \|k_{ij}\|_n^n \quad (1)$$

або матрицею коефіцієнтів кореляцій:

$$R_{[n]} = \|r_{ij}\|_n^n$$

де k_{ij} - коефіцієнт рангової кореляції між i – м та j – м фактором:

$$r_{ij} = \frac{k_{ij}}{\sigma_i \sigma_j}$$

Перший крок процедури аналізу множини статистичних даних передбачає проведення розрахунку на основі початкових даних кореляційної матриці, яка відображає тісноту зв'язку між показниками, які істотно впливають на виробничий травматизм (табл. 1). Обчислення проводилися за допомогою стандартного модуля *Factor Analysis* пакета прикладних програм (ППП) *STATISTICA* [5].

Таблиця 1

Кореляційна матриця

Показники	Коефіцієнти кореляції											
	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12
X1	1,00	0,98	0,81	0,79	0,89	0,70	0,98	0,58	0,88	0,82	0,80	0,45
X2	0,98	1,00	0,85	0,83	0,93	0,75	0,96	0,48	0,90	0,85	0,79	0,40
X3	0,81	0,85	1,00	0,98	0,96	0,98	0,71	0,23	0,99	1,00	0,93	0,39
X4	0,79	0,83	0,98	1,00	0,94	0,97	0,68	0,28	0,96	0,99	0,95	0,48
X5	0,89	0,93	0,96	0,94	1,00	0,92	0,83	0,32	0,97	0,96	0,87	0,35
X6	0,70	0,75	0,98	0,97	0,92	1,00	0,58	0,11	0,95	0,98	0,88	0,31
X7	0,98	0,96	0,71	0,68	0,83	0,58	1,00	0,59	0,80	0,73	0,69	0,41
X8	0,58	0,48	0,23	0,28	0,32	0,11	0,59	1,00	0,33	0,25	0,44	0,57
X9	0,88	0,90	0,99	0,96	0,97	0,95	0,80	0,33	1,00	0,99	0,92	0,39
X10	0,82	0,85	1,00	0,99	0,96	0,98	0,73	0,25	0,99	1,00	0,93	0,42
X11	0,80	0,79	0,93	0,95	0,87	0,88	0,69	0,44	0,92	0,93	1,00	0,64
X12	0,45	0,40	0,39	0,48	0,35	0,31	0,41	0,57	0,39	0,42	0,64	1,00

Коректний розв'язок задачі за допомогою методу головних компонент передбачає підтвердження значимості вихідної матриці парних кореляцій та достатньої кількості узагальнених факторних ознак для аналізу.

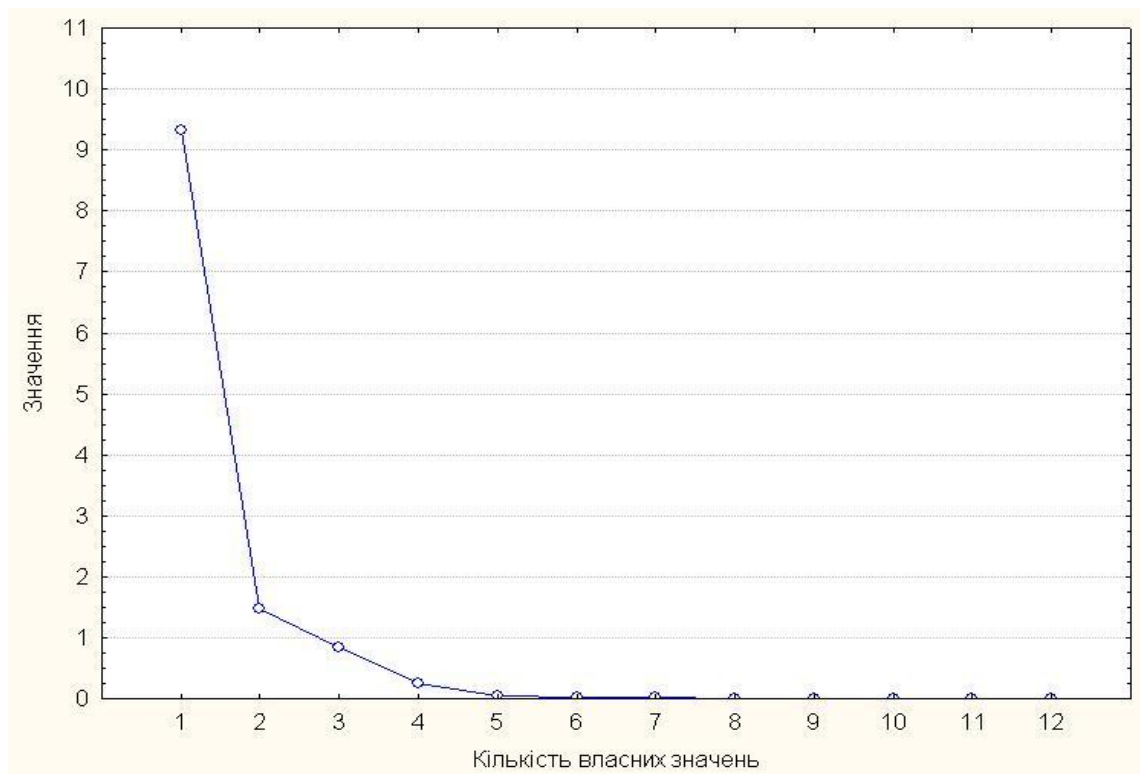


Рис. 1. Графік «кам'янистого осипу»

Подальший розрахунок ґрунтується на відомій процедурі обчислення головних компонент, яка в подальшому деяким чином модифікується для отримання інваріантного тривимірного зображення.

Рациональну кількість головних компонент дозволяє вибрати критерій відсіювання (*scree-test*), який був розроблений Каттеллом [6]. Послідовність виділення головних компонент доцільно представити у вигляді графіка «кам'янистого осипу» (рис. 1), який вказує на доцільність формування трьох головних причин.

Формування головних компонент із сукупності результатів спостережень зводиться до аналізування матриці кореляційних моментів та обчислення власних чисел та власних векторів цієї матриці.

Результати застосування методу головних компонент представлено даними матриці факторних навантажень (табл. 2). Аналіз коефіцієнтів цієї матриці a_{ij} дозволяє провести чисельно-формальне пояснення коефіцієнтів кореляції, а це дає можливість припустити, що за кореляціями стоїть фактор, який би міг обумовлювати ці кореляції.

Таблиця 2

Матриця факторних навантажень (без обертання факторного простору)

Показники	Факторні навантаження		
	Фактор 1	Фактор 2	Фактор 3
X1	-0,92348	-0,24116	-0,27406
X2	-0,93562	-0,12461	-0,28259
X3	-0,96523	0,24436	0,06712
X4	-0,95928	0,18880	0,17255
X5	-0,97114	0,13910	-0,12157
X6	-0,90555	0,39007	0,12846
X7	-0,85284	-0,31887	-0,37737
X8	-0,43977	-0,82597	-0,02763
X9	-0,98341	0,14514	-0,03307
X10	-0,97060	0,22345	0,07202
X11	-0,94248	-0,01520	0,28535
X12	-0,51186	-0,53939	0,61847
Власні числа	9,32347	1,48665	0,83393
Вага факторів, %	0,77695	0,12388	0,06949

Як видно з матриці факторних навантажень (табл. 2), сформовані три головні компоненти описують 97 % загальної дисперсії. Але для покращення інтерпретації узагальнених факторів F_1 та F_3 необхідно здійснити обертання факторного простору методом «варимакс» [7, 8].

Ортогональне перетворення випадкового вектора зберігає інваріантність узагальненої дисперсії та суми дисперсій компонент. Тобто, узагальнена дисперсія вектора головних компонент дорівнює узагальненій дисперсії вихідного вектора, а сума дисперсій головних компонент дорівнює сумі дисперсій вихідних величин.

Метод «варимакс» передбачає обертання факторних вісів так, щоб при збереженні ортогональності факторів мінімізується число змінних з високим факторним навантаженням.

Після проведення процедури обертання «варимакс» матриця факторних навантажень набуває вигляду (табл. 3).

До першої, головної компоненти F_1 (57 % від загальної дисперсії) увійшли такі показники, як:

- незадовільний технічний стан виробничих об'єктів, будівель, споруд, інженерних комунікацій, території; засобів виробництва; транспортних засобів
- інші технічні причини;
- невикористання засобів індивідуального захисту через незабезпеченість ним;
- порушення технологічного процесу.

Таблиця 3

Матриця факторних навантажень (обертання методом «варимакс»)

Показники	Факторні навантаження		
	Фактор 1	Фактор 2	Фактор 3
X1	0,583712	0,779284	0,195162
X2	0,653045	0,728771	0,114878
X3	0,940773	0,308722	0,124661
X4	0,927905	0,263905	0,234507
X5	0,852755	0,496131	0,062608
X6	0,979884	0,159074	0,056610
X7	0,463828	0,855509	0,156189
X8	-0,073532	0,682020	0,637058
X9	0,883815	0,438990	0,124168
X10	0,935262	0,319289	0,143321
X11	0,829850	0,288133	0,445275
X12	0,265666	0,126247	0,921384
Власні числа	6,836229	3,165470	1,642359
Вага факторів, %	0,569686	0,263789	0,136863

До другої, головної компоненти F_2 (26,37% від загальної дисперсії) з високими факторними навантаженнями ввійшли такі фактори:

- конструктивні недоліки , недосконалість , недостатня надійність засобів виробництва
- недосконалість технологічного процесу , його невідповідність вимогам безпеки
- порушення вимог безпеки під час експлуатації обладнання , устаткування , машин , механізмів тощо

У третій головній компоненті F_3 (13,7% від загальної дисперсії) найбільш вагомими є:

- інші причини (без урахування технічних , організаційних і психофізіологічних причин)

Графічну візуалізацію приналежності вихідних факторів до певної головної компоненти забезпечує побудова тривимірної діаграми факторних навантажень головних компонент (рис. 2).

Модель компонентного аналізу передбачає, що будь-яка ознака z_j представлена комбінацією головних компонент F_i у вигляді [2]:

$$Z_1 = a_{11}F_1 + a_{12}F_2 + \dots + a_{1n}F_n, \quad (2)$$

де $F_1, \dots, F_n$ - головні компоненти; a_{ij} - вага i -ої головної компоненти в j -ій змінній.

Отже, система лінійних рівнянь залежних факторів z_j та головних компонент F_n (узагальнених факторів) матиме вигляд:

$$\begin{cases} Z_1 = 0,5837F_1 + 0,7793F_2 + 0,1952F_3; & Z_2 = 0,6530F_1 + 0,7288F_2 + 0,1149F_3; \\ Z_3 = 0,9408F_1 + 0,3087F_2 + 0,1247F_3; & Z_4 = 0,9280F_1 + 0,2639F_2 + 0,2345F_3; \\ Z_5 = 0,8528F_1 + 0,4961F_2 + 0,0626F_3; & Z_6 = 0,9789F_1 + 0,1591F_2 + 0,0566F_3; \\ Z_7 = 0,4638F_1 + 0,8555F_2 + 0,1562F_3; & Z_8 = -0,0735F_1 + 0,6820F_2 + 0,6371F_3; \\ Z_9 = 0,8838F_1 + 0,4390F_2 + 0,1242F_3; & Z_{10} = 0,9353F_1 + 0,3193F_2 + 0,1433F_3; \\ Z_{11} = 0,8299F_1 + 0,2881F_2 + 0,4453F_3; & Z_{12} = 0,2657F_1 + 0,1262F_2 + 0,9214F_3; \end{cases} \quad (3)$$

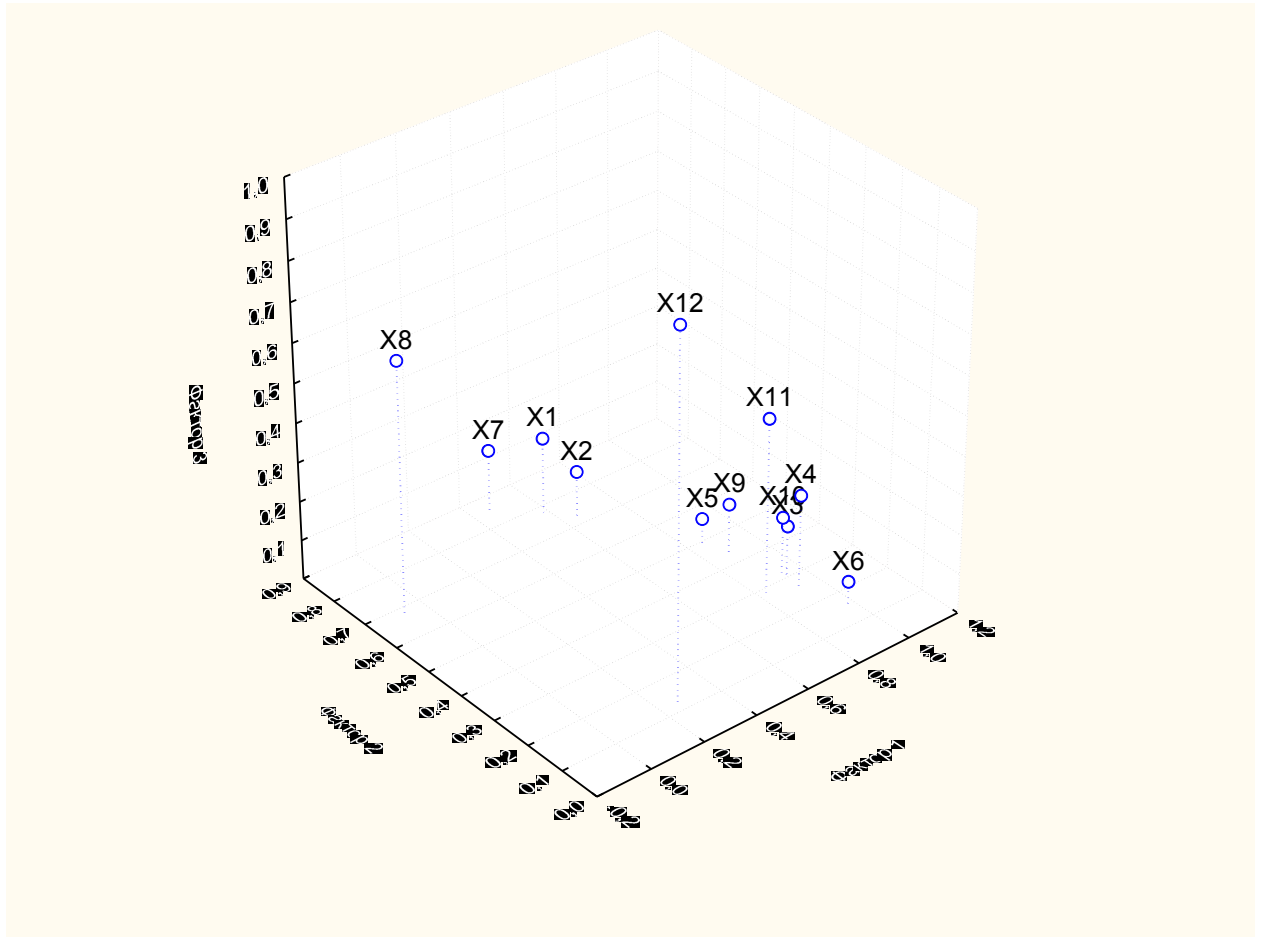


Рис. 2. Діаграма факторних навантажень головних компонент

Головні компоненти F_n є некорельованими між собою безрозмірними змінними, які представляють лінійну комбінацію n змінних [6]:

$$F_i = \frac{1}{\lambda_j} (a_{i1}Z_1 + a_{i2}Z_2 + \dots + a_{in}Z_j), \quad (4)$$

Отже, виходячи з результатів факторного аналізу, можна записати повний вираз залежності значень головних компонент від значень залежних показників:

$$F_1 = \frac{1}{6,8362} \cdot (0,5837Z_1 + 0,6530Z_2 + 0,9408Z_3 + 0,9280Z_4 + 0,8528Z_5 + 0,9789Z_6 + 0,4638Z_7 + 0,0735Z_8 + 0,8838Z_9 + 0,9353Z_{10} + 0,8299Z_{11} + 0,2657Z_{12});$$

$$F_2 = \frac{1}{3,1655} \cdot (0,7793Z_1 + 0,7288Z_2 + 0,3087Z_3 + 0,2639Z_4 + 0,4961Z_5 + 0,1591Z_6 + 0,8555Z_7 + 0,6820Z_8 + 0,4390Z_9 + 0,3193Z_{10} + 0,2881Z_{11} + 0,1262Z_{12});$$

$$F_3 = \frac{1}{1,6424} \cdot (0,1952Z_1 + 0,1149Z_2 + 0,1247Z_3 + 0,2345Z_4 + 0,0626Z_5 + 0,0566Z_6 + 0,1562Z_7 + 0,6371Z_8 + 0,1242Z_9 + 0,1433Z_{10} + 0,4453Z_{11} + 0,9214Z_{12}). \quad (5)$$

Відкинувши найменш значимі показники, записано остаточні вирази для головних компонент:

$$F_1 = \frac{1}{6,8362} \cdot (0,9408Z_3 + 0,9280Z_4 + 0,8528Z_5 + 0,9789Z_6 + 0,8838Z_9 + 0,9353Z_{10} +$$

$$F_2 = \frac{1}{3,1655} \cdot (0,7793Z_1 + 0,7288Z_2 + 0,8555Z_7);$$

$$F_3 = \frac{1}{1,6424} \cdot 0,9214Z_{12}. \quad (6)$$

Зрозуміло, що зміна переліку вихідного інформативного поля за рахунок внесення інших показників, які можуть визначати рівень виробничого травматизму, призведе до зміни виду рівнянь системи (5), але при цьому залишиться незмінною кількість та структура узагальнювальних факторів (що можна стверджувати, спираючись на результати аналізування рис. 2 та табл. 3). Сформовані узагальнюючі фактори дозволяють здійснити побудову простої математичної моделі рівня травматизму на виробництві. Подальше аналізування кожного з факторів окремо дозволить виявити вплив того або іншого показника (залежного фактора) на зміну узагальнювального фактора та рівня виробничого травматизму.

Висновок. Методом головних компонент сформовано узагальнюючі фактори, що дало змогу знизити розмірність інформативного поля та дозволило спростити характеристичні рівняння математичної моделі прогнозування травматизму на виробництві.

Література

1. Мітюк Л. О. Основні причини виникнення нещасних випадків на виробництві за 2014 рік / Л. О. Мітюк, О. С. Ільчук, Т. М. Таїрова. // К.: НТУУ «КПІ», 2015. – 461 с.
2. Дубров, А.М. Многомерные статистические методы и основы эконометрики: учебное пособие / А.М. Дубров, В.С. Мхитарян, Л.И. Трошин. М.: МЭСИ, 2002. - 79 с.
3. Айвазян С. А. Прикладная статистика: Классификации и снижение размерности [Текст] / С. А. Айвазян, В. М. Бухштабер, И. С. Енюков, Л. Д. Мешалкин. — М.: Финансы и статистика, 1989. — 607 с.
4. Розен В. П. Визначення структури факторів, що впливають на електроспоживання підприємств вугільної галузі / В. П. Розен, Л. В. Давиденко, В. І. Волинець // Вісн. Нац. ун-ту "Львів. політехніка". - 2010. - № 666. - С. 61-68
5. Халафян, А. А. Statistica 6. Статистический анализ данных [Текст] : учеб. / А. А. Халафян. – М.: ООО «Бином-Пресс», 2007. – 512 с.
6. Иберла К. Факторный анализ [Текст] / К. Иберла. - М.: Статистика. – 1980. – 398 с.
7. Харман, Г. Современный факторный анализ [Текст] / Г. Харман. - М.: Статистика, 1972. - 486 с.
8. Калинина, В. Н. Введение в многомерный статистический анализ [Текст] / В. Н. Калинина, В. И. Соловьев. –М. :ГУУ, 2003. – 92 с.

Магеровський Іван Тарасович

5 курс, інститут енергозбереження та енергоменеджменту, НТУУ «КПІ»

Науковий керівник:

Козлов С.С., доц., к.т.н. ОПЦБ НТУУ КПІ «КПІ»

ЗАХИСНІ ЗАХОДИ ТА ДОТРИМАННЯ НОРМ ОХОРОНИ ПРАЦІ НА ПІДПРИЄМСТВІ ПРИ БУРІННІ СВЕРДЛОВИН ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ АБО ЗНИЖЕННЯ ПОЖЕЖОНЕБЕЗПЕКИ І ВИБУХОНЕБЕЗПЕЧНОСТІ

Підприємство, яке має намір здійснювати діяльність за зазначеними в розділі І цих Правил напрямками, повинно отримати відповідно до Порядку видачі дозволів

Державним комітетом з нагляду за охороною праці та його територіальними органами, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 15.10.2003 N 1631 (далі - НПАОП 0.00-4.05-03), дозвіл Держгірпромнагляду на виконання відповідних робіт підвищеної небезпеки та на експлуатацію об'єктів, механізмів, машин, обладнання підвищеної небезпеки. На підприємствах об'єкти підвищеної небезпеки підлягають ідентифікації та обліку згідно з Порядком ідентифікації та обліку об'єктів підвищеної небезпеки, затвердженим постановою Кабінету Міністрів України від 11.07.2002 N 956 (НПАОП 0.00-6.21-02), та декларуванню безпеки згідно з Порядком декларування безпеки об'єктів підвищеної небезпеки, затвердженим постановою Кабінету Міністрів України від 11.07.2002 N 956 (НПАОП 0.00-6.22-02).

Робочі проекти на розвідку, розробку і облаштування нафтових, газових, газоконденсатних родовищ і підземних сховищ газу підлягають експертизі відповідно до вимог чинного законодавства. До початку облаштування родовищ проектна документація повинна бути погоджена з територіальним органом Держгірпромнагляду. Проведення робіт з підвищеною небезпекою здійснюється за нарядом-допуском на виконання робіт підвищеної небезпеки, форма якого наведена в додатку. Перелік таких робіт, порядок оформлення наряду-допуску, а також переліки посад осіб, які мають право керувати цими роботами, затверджуються керівником підприємства. Ліквідація аварій при бурінні, експлуатації та капітальному ремонті нафтових і газових свердловин здійснюється згідно з вимогами нормативно-технічних документів. На підприємствах повинні бути розроблені ПЛАС відповідно до Положення щодо розробки планів локалізації та ліквідації аварійних ситуацій і аварій, затвердженого наказом Держнаглядохоронпраці від 17.06.99 N 112, зареєстрованого в Міністерстві юстиції України 30.06.99 за N 424/3717 (далі - НПАОП 0.00-4.33-99).

Інструкції з охорони праці розробляються відповідно до Положення про розробку інструкцій з охорони праці, затвердженого наказом Державний нагляд охорони праці від 29.01.98 N 9, зареєстрованого в Міністерстві юстиції України 07.04.98 за N 226/2666 (НПАОП 0.00-4.15-98). Розслідування аварій та нещасних випадків на об'єктах нафтогазодобувної промисловості проводиться відповідно до Порядку розслідування та ведення обліку нещасних випадків, професійних захворювань і аварій на виробництві, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 25.08.2004 N 1112 (НПАОП 0.00-6.02-04). Ліквідація і консервація свердловин здійснюється в порядку, установленому Положенням про порядок ліквідації нафтових, газових та інших свердловин і списанню витрат на їх спорудження, затвердженим постановою Держгіртехнагляду СРСР від 27.12.89 N 19 (НПАОН 11.2-4.01-89), Положенням про порядок консервації свердловин на нафтових, газових родовищах, підземних сховищах газу (ПСГ) та родовищах термальних вод, затвердженим постановою Держгіртехнагляду СРСР від 27.12.89 N 19 (НПАОН 11.2-4.02-89). Переведення свердловин на інші горизонти здійснюється відповідно до Положення про переведення нафтових, газових, нагнітальних і контрольних свердловин на інші горизонти, затвердженого постановою Держгіртехнагляду СРСР від 17.10.86 N 33 (НПАОН 11.2-4.03-86). Повернення ліквідованих нафтових і газових свердловин в експлуатаційний фонд здійснюється у разі виконання таких заходів:

а)отримання погодження у розробника проекту розробки або дослідно-промислової розробки даного родовища про доцільність повернення свердловин з ліквідаційного фонду в експлуатацію;

б)погодження з територіальним органом Держгірпромнагляду. Нафтові і газові свердловини, системи збору та підготовки нафти і газу до

транспортування експлуатуються згідно з вимогами цих Правил та технічної документації. Експлуатувати свердловини з міжколонними тисками понад 2 МПа допускається за погодженням з територіальним органом Держгірпромнагляду. Не дозволяється буріння нафтових та газових свердловин та облаштування нафтових та газових родовищ без попередньої експертизи проектної документації на відповідність проектних рішень вимогам безпеки та охорони праці. Радіаційний контроль під час будівництва та експлуатації нафтових та газових свердловин здійснюється згідно з вимогами Державних санітарних правил "Основні санітарні правила забезпечення радіаційної безпеки України", затверджених наказом Міністерства охорони здоров'я України від 02.02.2005 N 54, зареєстрованих у Міністерстві юстиції України 20.05.2005 за N 552/10832 (ДСП 6.177-2005-09-02). Експлуатація об'єктів нафтогазодобувної промисловості стосовно питань охорони навколишнього природного середовища здійснюється згідно з вимогами Закону України "Про охорону навколишнього природного середовища, стандарту "Охорона довкілля. Спорудження розвідувальних і експлуатаційних свердловин на нафту та газ на суші. Правила проведення робіт" (ГСТУ 41-00032626-00-007-97), стандарту "Охорона довкілля. Рекультивация земель під час спорудження свердловин" (ГСТУ 41-00032626-00-023-2000), державних будівельних норм "Проектування. Склад і зміст матеріалів оцінки впливів на навколишнє середовище при проектуванні і будівництві підприємств, будинків і споруд". До робіт на об'єктах нафтогазодобувної промисловості допускаються особи, що пройшли медичний огляд згідно з Порядком проведення медичних оглядів працівників певних категорій, затвердженим наказом Міністерства охорони здоров'я України від 21.05.2007 N 246, зареєстрованим у Міністерстві юстиції України 23.07.2007 за N 846/14113, і не мають протипоказань за станом здоров'я для роботи за спеціальністю згідно з вимогами Переліку робіт, де є потреба в професійному доборі, затвердженого наказом Міністерства охорони здоров'я України та Держнаглядохоронпраці від 23.09.94 N 263/121, зареєстрованого в Міністерстві юстиції України 25.01.95 за N 18/554; Переліку важких робіт і робіт із шкідливими і небезпечними умовами праці, на яких забороняється застосування праці неповнолітніх, затвердженого наказом Міністерства охорони здоров'я України від 31.03.94 N 46, зареєстрованого в Міністерстві юстиції України 28.07.94 за N 176/385; Переліку важких робіт та робіт із шкідливими і небезпечними умовами праці, на яких забороняється застосування праці жінок, затвердженого наказом Міністерства охорони здоров'я України від 29.12.93 N 256, зареєстрованого в Міністерстві юстиції України 30.03.94 за N 51/260.

Крім того, ці особи проходять наркологічний огляд згідно з постановою Кабінету Міністрів України від 06.11.97 N 1238, "Про обов'язковий профілактичний наркологічний огляд і порядок його проведення" (зі змінами). Організація і порядок навчання, проведення інструктажів, перевірки знань з питань охорони праці та пожежної безпеки й допуску персоналу до самостійної роботи здійснюється відповідно до вимог Типового положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці, затвердженого наказом Держнаглядохоронпраці України від 26.01.2005 N 15, зареєстрованого в Міністерстві юстиції України 15.02.2005 за N 231/10511 (НПАОП 0.00-4.12-05); Переліку робіт з підвищеною небезпекою, затвердженого наказом Держнаглядохоронпраці України від 26.01.2005 N 15, зареєстрованого в Міністерстві юстиції України 15.02.2005 за N 232/10512 (НПАОП 0.00-8.24-05); Типового положення про інструктажі, спеціальне навчання та перевірку знань з питань пожежної безпеки на підприємствах, в установах та організаціях України, затвердженого наказом Міністерства України з питань надзвичайних ситуацій та у справах захисту населення від наслідків Чорнобильської катастрофи від 29.09.2003 N

368, зареєстрованого в Міністерстві юстиції України 11.12.2003 за N 1148/8469 (НАПБ Б.02.005-2003); Переліку посад, при призначенні на які особи зобов'язані проходити навчання і перевірку знань з питань пожежної безпеки, та порядку їх організації, затвердженого наказом Міністерства України з питань надзвичайних ситуацій та у справах захисту населення від наслідків Чорнобильської катастрофи від 29.09.2003 N 368, зареєстрованого в Міністерстві юстиції України 11.12.2003 за N 1147/8468 (НАПБ Б.06.001-2003). Не дозволяється допуск до роботи осіб, які не пройшли навчання, інструктаж і перевірку знань з охорони праці і пожежної безпеки. До керівництва роботами з буріння, освоєння і ремонту свердловин, ведення геофізичних робіт у свердловинах, а також з видобування та підготовки нафти і газу допускаються особи, що мають освіту за фахом, пройшли навчання та перевірку знань з охорони праці відповідно до НПАОП 0.00-4.12-05 та пожежної безпеки відповідно до НАПБ Б.02.005-2003.

Список літератури

1. <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/z0497-08/page9>
2. <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/z0497-08/page9>
3. <http://www.work.ua/resumes/1491786/>