

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



Міжнародна науково-технічна конференція

ЕНЕРГЕТИЧНИЙ МЕНЕДЖМЕНТ:
стан та перспективи розвитку – REMS'2024

ЗБІРНИК МАТЕРІАЛІВ КОНФЕРЕНЦІЇ

ЛИСТОПАД 26-27, 2024

<http://pems.kpi.ua/>

Енергетичний менеджмент: стан та перспективи розвитку. Збірник наукових праць X Міжнародної науково-технічної конференції у місті Києві 26-27 листопада 2024 р. – Київ, КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2024. – 216 с.

ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ КОМІТЕТ

Голова

ДЕРЕВ'ЯНКО Денис к.т.н. доцент кафедри електропостачання, КПІ ім. Ігоря Сікорського.

Члени організаційного комітету

БЄЛОХА Галина к.т.н. доцент кафедри електропостачання КПІ ім. Ігоря Сікорського

ЗАКЛАДНИЙ Олег к.т.н. доцент кафедри електропостачання КПІ ім. Ігоря Сікорського.

ЯЦЕНКО Дмитро к.т.н. асистент кафедри електропостачання КПІ ім. Ігоря Сікорського.

Члени наукового комітету

Борис БАСОК	<i>член-кор. НАН України</i>	Інститут технічної теплофізики НАН України, Україна
Олександр БЕСАРАБ	<i>професор</i>	Національний університет «Одеська політехніка», Україна
Сергій БОЙЧЕНКО	<i>професор</i>	КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна
Юрій БОНДАРЕНКО	<i>професор</i>	Науково-технічна спілка енергетиків та електротехніків України
Олена БОРИЧЕНКО	<i>доцент</i>	КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна
Михайло БУРБЕЛО	<i>професор</i>	Вінницький національний технічний університет, Україна
Олексій БЯЛОБРЖЕСЬКИЙ	<i>доцент</i>	Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, Україна
Оксана ВОВК	<i>професор</i>	КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна
Франсіско ГОНСАЛЕС-ЛОНГАТТ	<i>професор</i>	Університет південно-східної Норвегії, Норвегія
Сергій ГУБІН	<i>професор</i>	Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського «ХАІ», Україна
Сергій ДЕНИСЮК	<i>професор</i>	КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна
Денис ДЕРЕВ'ЯНКО	<i>доцент</i>	КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна
Валерій ДЕШКО	<i>професор</i>	КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна
Андрій ЖАРКІН	<i>академік</i>	Інститут електродинаміки НАН України, Україна
Артур ЗАПОРОЖЕЦЬ	<i>старший дослідник</i>	Інститут загальної енергетики НАН України, Україна
Віктор ЗАХАРЧЕНКО	<i>професор</i>	Національний авіаційний університет, Україна
Віктор КАПЛУН	<i>професор</i>	Національний університет біоресурсів і природокористування України, Україна
Михайло КІОРСАК	<i>професор</i>	Інститут енергетики АН Молдови, Молдова
Вячеслав КОМАР	<i>професор</i>	Вінницький національний технічний університет, Україна
Степан КУДРЯ	<i>професор</i>	Інститут відновлюваної енергетики НАН України, Україна
Олександр ЛАЗУРЕНКО	<i>професор</i>	НТУ «Харківський політехнічний інститут», Україна
Петро ЛЕЖНЮК	<i>професор</i>	Вінницький національний технічний університет, Україна
Бернт ЛІ	<i>професор</i>	Університет південно-східної Норвегії, Норвегія
Володимир НАХОДОВ	<i>професор</i>	КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна
Юрій ПАПАЙКА	<i>професор</i>	Національний ТУ «Дніпровська політехніка», Україна
Петро ПЛЄШКОВ	<i>професор</i>	Центрально український національний технічний університет, Україна
Володимир ПОПОВ	<i>професор</i>	КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна
Михайло СЕГЕДА	<i>професор</i>	Національний університет «Львівська політехніка», Україна
Олег СІНЧУК	<i>професор</i>	Криворізький національний університет, Україна
Ришард СТЖЕЛЕЦЬКІ	<i>професор</i>	Гданський університет технологій, Польща

Анатолій ЧЕРНЯВСЬКИЙ
Олександр ПРАМ
Вадим ЩОКІН

доцент
доцент
професор

КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна
Національний університет «Запорізька політехніка» Україна
Криворізький національний університет, Україна

Адреса організаційного комітету конференції:

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Інститут енергозбереження енергоменеджменту. 03056, Україна, м. Київ, вул. Борщагівська, 115, корпус 22,

к. 315, тел./факс (38-044) 204-85-14; сайт: pems.kpi.ua, e-mail: pems@kpi.ua

ЗМІСТ

РОЗДІЛ 1: ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ ЕНЕРГЕТИЧНІ SMART GRID СИСТЕМИ ТА ЕНЕРГЕТИЧНИЙ МЕНЕДЖМЕНТ	7
РОЗРАХУНОК ЧАСТКИ НИЗЬКОВУГЛЕЦЕВИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ В СПОЖИВАННІ: ШЛЯХ ДО ДЕКАРБОНІЗАЦІЇ	7
РОЗОСЕРЕДЖЕНА ЕНЕРГЕТИКА – ТРЕНД СТІЙКОСТІ, ВІДНОВЛЕННЯ ТА РОЗВИТКУ У ВІЙСЬКОВИЙ ТА ПІСЛЯВОЄННИЙ ПЕРІОДИ	9
МЕТОД ОЦІНЮВАННЯ ЧАСТКИ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ ЗАДАНОГО СПОЖИВАЧА МІКРОМЕРЕЖІ, ЯКА ЗАБЕЗПЕЧУЄТЬСЯ З РОЗОСЕРЕДЖЕНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ	11
IMPROVING THE COMPETITIVE STRUCTURE OF THE DISTRICT HEATING MARKET THROUGH ENERGY STORAGE DEVICES	14
ВИЗНАЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ ЖИТЛОВОГО МАСИВУ НА ОСНОВІ СИСТЕМНОГО МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ТЕПЛОВОЇ МЕРЕЖІ	19
ЦИФРОВА МОДЕЛЬ ОЦІНКИ ІНВЕСТИЦІЙНОГО РИЗИКУ В ГАЛУЗІ ЕНЕРГЕТИКИ	22
ОСОБЛИВОСТІ РЕАЛІЗАЦІЇ SMART- МОНІТОРИНГУ ПРИ ГЕНЕРАЦІЇ , ПЕРЕДАЧІ ТА РОЗПОДІЛУ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ.	25
ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ БЕНЗИНОВИХ ЕЛЕКТРОГЕНЕРАТОРІВ НА ПІДПРИЄМСТВАХ В УМОВАХ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ НЕСТАБІЛЬНОСТІ	28
ТЕПЛОВІ РЕЖИМИ ВЕНТИЛЬОВАНИХ СКЛОПАКЕТІВ	30
SMART ТЕХНОЛОГІЇ В ОСВІТЛЕННІ ВИРОБНИЧИХ ПРИМІЩЕНЬ	33
ОСОБЛИВОСТІ ПРОВЕДЕННЯ ЕНЕРГОАУДИТУ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ В КОНТЕКСТІ МІЖНАРОДНИХ СТАНДАРТІВ ЕНЕРГОАУДИТУ	36
ПРОФЕСІЙНА ПІДГОТОВКА ЕНЕРГОАУДИТОРІВ АТОМНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ В КОНТЕКСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ СИСТЕМИ ЕНЕРГЕТИЧНОГО МЕНЕДЖМЕНТУ	38
ОЦІНЮВАННЯ РІВНЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ КОГЕНЕРАЦІЇ В СИСТЕМАХ З РОЗПОДІЛЕНОЮ ГЕНЕРАЦІЄЮ В УМОВАХ МОДЕРНІЗАЦІЇ ТА РЕЗЕРВУВАННЯ СИСТЕМИ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ	42
НАБУТТЯ ПРОФЕСІЙНИХ ЯКОСТЕЙ БАКАЛАВРАМИ-ЕНЕРГЕТИКАМИ В ПРОЦЕСІ НАВЧАННЯ	45
МОЖЛИВОСТІ NASA POWER ТА OPEN МЕТЕО ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ ГЕНЕРАЦІЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ СОНЯЧНИМИ ТА ВІТРОВИМИ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЯМИ В УКРАЇНІ	47
МОДЕЛЬ ОПТИМАЛЬНОЇ РОБОТИ ЕНЕРГОСЕРВІСНОЇ КОМПАНІЇ	49
ПРОГНОЗУВАННЯ ОБСЯГІВ СПОЖИВАННЯ ПАЛИВНО – ЕНЕРГЕТИЧНИХ РЕСУРСІВ У СИСТЕМІ ЕНЕРГОМОНІТОРИНГУ	52
МОДЕЛЮВАННЯ СТРУКТУРНОЇ ТРАНСФОРМАЦІЇ ОБ'ЄДНАНОЇ ЕНЕРГОСИСТЕМИ УКРАЇНИ У ПЕРІОД ПОВОЄННОГО ВІДНОВЛЕННЯ	55
ОПТИМІЗАЦІЯ БАГАТОРІВНЕВИХ СИСТЕМ АКУМУЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В РОЗПОДІЛЕНІЙ ГЕНЕРАЦІЇ	58
ЦИФРОВІЗАЦІЯ В ЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМАХ	60
ПІДВИЩЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ СИСТЕМ ЕНЕРГЕТИЧНОГО МЕНЕДЖМЕНТУ МСП ЧЕРЕЗ УПРАВЛІННЯ ДАНИМИ ЕНЕРГОМОНІТОРИНГУ	62
МОДЕЛІ ПРОГНОЗУВАННЯ ЗАЛИШКОВОГО РЕСУРСУ ВТОРИННИХ ЛІТІЙ-ІОННИХ БАТАРЕЙ ЕЛЕКТРОТРАНСПОРТУ ЯК ІНСТРУМЕНТ ЕНЕРГЕТИЧНОГО МЕНЕДЖМЕНТУ	66
ЦИРКУЛЯРНА ЕКОНОМІКА ТА ЕНЕРГЕТИЧНИЙ МЕНЕДЖМЕНТ: ВТОРИННІ БАТАРЕЇ ЕЛЕКТРОТРАНСПОРТУ ЯК ЕЛЕМЕНТ СТІЙКОЇ ЕНЕРГОСИСТЕМИ	69
ДИНАМІКА ТЕПЛОПРОВІДНОСТІ ПІНОПОЛІУРЕТАНОВОЇ ІЗОЛЯЦІЇ ОГОРОДЖУВАЛЬНОЇ КОНСТРУКЦІЇ БУДІВЛІ	73
СВІТОВИЙ ДОСВІД ОРГАНІЗАЦІЇ КЕРУВАННЯ КЛАСТЕРАМИ МІКРОМЕРЕЖ	76
ВИБІР АРХІТЕКТУРИ ІНФОРМАЦІЙНОГО КОМПЛЕКСУ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ РЕЖИМІВ ФУНКЦІОНУВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ СПІЛЬНОТ	78
РОЗДІЛ 2: СУЧАСНІ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА СИСТЕМИ	81
ЕКОНОМІЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЕНЕРГООЩАДНИХ ЗАХОДІВ В РОЗПОДІЛЬЧИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ	81
SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF RENEWABLE ENERGY SOURCES AS A KEY TO STRENGTHENING UKRAINE'S ENERGY INDEPENDENCE	84
ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ УСТАНОВОК СУХОГО ГАСІННЯ КОКСУ ШЛЯХОМ ВИКОРИСТАННЯ НАДЛИШКОВОГО ЦИРКУЛЮЮЧОГО ГАЗУ	86
АНАЛІЗ ЗАСТОСУВАННЯ СУШАРКИ НА БАЗІ ТЕРМОСИФОНІВ В ЛІНІЇ СУШІННЯ ЗЕРНА	89
СУЧАСНІ ПІДХОДИ ДО ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ЕЛЕКТРИФІКАЦІЇ МІСЬКОГО	

РЕЙКОВОГО ТРАНСПОРТУ	92
АНАЛІЗ СПОСОБІВ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ	94
ОГЛЯД СИСТЕМ ПОКРАЩЕННЯ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ	96
GENERAL OVERVIEW OF CHALLENGES IN THE OPERATION OF DC CONVERTERS IN INVERTERS OF PHOTOVOLTAIC POWER PLANTS UNDER VARIABLE LOAD CONDITIONS.....	98
ІНТЕГРАЦІЯ ПРОЦЕСУ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ТЯГОВИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ В КОМПЛЕКСИ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО КЕРУВАННЯ ЕНЕРГОПОТОКАМИ ПІДЗЕМНИХ РУДНИКІВ	100
ОРГАНІЧНИЙ ЦИКЛ РЕНКІНА ЯК АЛЬТЕРНАТИВА ДЛЯ РЕЗЕРВНОГО ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ	102
МЕТОДИЧНІ ПІДХОДИ ДО ВИЗНАЧЕННЯ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ СПОЖИВАНОЇ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ НАСОСНИХ АГРЕГАТІВ МЕРЕЖІ ЦЕНТРАЛІЗОВАНОГО ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ В КОНТЕКСТІ ПРОВЕДЕННЯ ЕНЕРГОАУДИТУ.....	103
ВИПРОБУВАЛЬНИЙ СТЕНД СПРОЩЕНОЇ КОНСТРУКЦІЇ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ КРИТЕРІАЛЬНИХ РІВНЕЙ УРАЖЕННЯ РАДІОЕЛЕКТРОННИХ КОМПОНЕНТІВ ПРИ ВПЛИВІ ПОТУЖНИХ ІМПУЛЬСІВ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ ЕНЕРГІЇ	106
ФОРМУВАННЯ ОДНОРАНГОВИХ СТРУКТУР МІКРОЕНЕГОСИСТЕМ З ПОЛІГЕНЕРАЦІЄЮ.....	110
МОНІТОРИНГ ТРИФАЗНИХ ЧОТИРИПРОВІДНИХ МЕРЕЖ У СИСТЕМІ ДИНАМІЧНОГО ЕНЕРГЕТИЧНОГО МЕНЕДЖМЕНТУ	113
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ ЕНЕРГЕТИЧНІ СИСТЕМИ SMART GRID	116
СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ І РЕМОНТУ ПОВІТРЯНИХ ЛІНІЙ	118
РОЗДІЛ 3: ХІММОТОЛОГІЧНА НАДІЙНІСТЬ ТА ТЕХНОЛОГІЇ ЕНЕРГООЩАДНОСТІ В ЕНЕРГЕТИЦІ ТА ТРАНСПОРТІ	120
МОЖЛИВОСТІ ГЕОІНЖЕРІЇ ДЛЯ ЗМІНИ КЛІМАТУ ЗЕМЛІ.....	120
ВІДНОВЛЮВАЛЬНІ ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ В ВИДОБУВНИЧІЙ ПРОМИСЛОВOSTІ	124
ДОСЛІДЖЕННЯ НЕЙРОМЕРЕЖЕВИХ РЕГУЛЯТОРІВ В СИСТЕМІ УПРАВЛІННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДА ЛІФТА.....	127
ОПТИМІЗАЦІЯ ТА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ СИСТЕМ ВИКОРИСТАННЯ ВОДНЮ ТА ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ З ВИДАЛЕННЯМ CO ₂	130
ВОДНЕВА СИСТЕМА АВАРІЙНОГО АВТОНОМНОГО ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МАЛОЇ ПОТУЖНОСТІ	133
КІНЕТИЧНІ НАКОПИЧУВАЧІ ЕНЕРГІЇ ЯК МЕТОД РЕГУЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОГО НАВАНТАЖЕННЯ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ	135
АЛГОРИТМ РОБОТИ КОМБІНОВАНОЇ СИСТЕМИ ОПАЛЕННЯ ЖИТЛОВОГО БУДИНКУ	137
КЕРУВАННЯ РЕАКТИВНОЮ ПОТУЖНІСТЮ НА ОСНОВІ КІБЕРФІЗИЧНОЇ МОДЕЛІ ПІДСТАНЦІЇ ГІРНИЧОЗБАГАЧУВАЛЬНОГО ПІДПРИЄМСТВА	139
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА СИСТЕМА РЕГУЛЮВАННЯ РЕЖИМІВ РОБОТИ СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ.....	141
ELECTROMECHANICAL EQUIPMENT AUTOMATED PLASTIC WASTE SORTING SYSTEM AND TECHNOLOGY FOR THEIR DISPOSAL.....	143
РЕКУПЕРАЦІЯ ЕНЕРГІЇ ВІБРАЦІЙНИХ НАВАНТАЖЕНЬ В ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМАХ	145
ОГЛЯД СУЧАСНИХ ВОДНЕВИХ ТЕХНОЛОГІЙ В ЕНЕРГЕТИЦІ ТА ТРАНСПОРТІ	148
CAPACITY PRICING PROMOTES THE COORDINATED DEVELOPMENT OF WIND, SOLAR, FIRE, AND ENERGY STORAGE.....	152
ПОТЕНЦІАЛ ВИКОРИСТАННЯ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ.....	154
ПЛАНУВАННЯ ТА МОНІТОРИНГ РЕЖИМУ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ ВУГІЛЬНИХ ШАХТ ЛЬВІВСЬКО-ВОЛИНСЬКОГО БАСЕЙНУ	157
ЕЛЕКТРОГІДРАВЛІЧНИЙ ГЕНЕРАТОР ІМПУЛЬСІВ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ВИДОБУТКУ ВУГЛЕВОДНІВ	159
ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ВИДАЛЕННЯ ДІОКСИДУ ВУГЛЕЦЮ З БІОГАЗУ ТВЕРДИМИ СОРБЕНТАМИ	161
РОЗРОБЛЕННЯ СИСТЕМИ АДАПТАЦІЇ ВІБРОКОВША ДЛЯ РУЙНУВАННЯ ПОРІД В УМОВАХ КЛЕСІВСЬКОГО КАР'ЄРУ НЕРУДНИХ КОПАЛИН	164
ПІДГОТОВКА ФАХОВИХ ІНЖЕНЕРІВ	166
ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНЕ ОБЛАДНАННЯ ТА АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ ПРОЛІЗУ ГУМОВИХ І ПОЛІЕТИЛЕНОВИХ ВІДХОДІВ	168
APPLICATION OF HYDROGEN FUEL IN AUTOMOTIVE ENERGY MANAGEMENT: MATERIAL IMPACT, ENVIRONMENTAL BENEFITS, AND SAFETY CONSIDERATIONS	171
ТЕХНОЛОГІЇ НА ОСНОВІ ЗЕЛЕНОГО ВОДНЮ	174
ІНЖИНІРИНГ ТА АВТОМАТИЗАЦІЯ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНОГО КОМПЛЕКСУ СТРІЧКОВОГО КОНВЕЄРУ	177
ОЦІНКА ЕНЕРГЕТИЧНОГО ПОТЕНЦІАЛУ ВТОРИННОЇ СИРОВИНИ (ПЛАСТИКОВИХ ВІДХОДІВ, ЗНОШЕНИХ ШИН ТА ВІДХОДІВ ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВOSTІ) ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА КОМПОЗИЦІЙНИХ МОТОРНИХ ПАЛИВ.....	180
ОСНОВНІ ПАРАМЕТРИ ЕЛЕКТРОГІДРАВЛІЧНОЇ ІМПУЛЬСНОЇ СИСТЕМИ ВПЛИВУ НА ПРИВИБІЙНУ	

ЗОНУ НАФТОВОЇ СВЕРДЛОВИНИ	183
РОБОТИЗОВАНА СИСТЕМА ГЕНЕРАЦІЇ ВОДНЮ ТА ПРОЄКТИ ЗАПРАВКИ НИМ АВТОТРАНСПОРТУ	186
ЕФЕКТИВНІСТЬ УЛОВЛЕННЯ ВУГЛЕКИСЛОГО ГАЗУ У ВІДЦЕНТРОВОМУ АПАРАТІ	189
СУЧАСНІ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ПЕРЕРОБКИ ВТОРИННОЇ СИРОВИНИ ДЛЯ ОДЕРЖАННЯ МОТОРНИХ ПАЛИВ	191
РОЗДІЛ 4: НАУКОВІ ДОСЛІДЖЕННЯ МОЛОДИХ ВЧЕНИХ	194
НЕЛІНІЙНІ ПРОЦЕСИ В СИСТЕМАХ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ	194
СИГНАТУРА ДВОФАЗНИХ НЕБАЛАНСНИХ ПРОВАЛІВ НАПРУГИ В ТРИФАЗНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ	196
РОЛЬОВІ МОДЕЛІ УПРАВЛІННЯ МІКРОМЕРЕЖАМИ ЕНЕРГЕТИЧНИХ КООПЕРАТИВІВ	198
ОПТИМІЗАЦІЯ ВЗАЄМОДІЇ УЧАСНИКІВ БАЛАНСУЮЧОЇ ГРУПИ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ УПРАВЛІННЯ БАЛАНСОМ	201
СУЧАСНІ МОНІТОРИНГОВІ ЗАХОДИ ДЕРЖЕНЕРГОНАГЛЯДУ ЩОДО БЕЗПЕКИ ПОСТАЧАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ	204
МОДЕЛЮВАННЯ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ СУЧАСНОЇ БУДІВЛІ ГУРТОЖИТКУ УНІВЕРСИТЕТУ ЗА РІЗНИМИ СЦЕНАРІЯМИ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ З ВИКОРИСТАННЯМ ПРОГРАМНИХ ЗАСОБІВ	206
МОДЕЛЮВАННЯ ПОКАЗНИКІВ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ БАГАТОКВАРТИРНОЇ БУДІВЛІ З ВИКОРИСТАННЯМ СПЕЦІАЛІЗОВАНИХ ПРОГРАМНИХ ПРОДУКТІВ	209
ОГЛЯД ПРОГРАМ ПІДТРИМКИ КОМПЛЕКСНИХ ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ З ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ В ЖИТЛОВОМУ СЕКТОРІ	212
NET METERING: ШЛЯХ ДО ЕФЕКТИВНОГО УПРАВЛІННЯ ЕНЕРГОРЕСУРСАМИ	215
СУЧАСНІ АСПЕКТИ РОЗВИТКУ І ВПРОВАДЖЕННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ SMART GRID	218
ОСОБЛИВОСТІ ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНОГО ОБҐРУНТУВАННЯ МЕРЕЖЕВОЇ КОМБІНОВАНОЇ ВІТРОСОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ	220
ВПРОВАДЖЕННЯ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ІННОВАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ В ЕНЕРГЕТИЧНІЙ ГАЛУЗІ	222
ГІБРИДНЕ ЕЛЕКТРОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРОМИСЛОВИХ ОБ’ЄКТІВ ВІД ДАХОВИХ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ СИСТЕМ	224
НАВЧАЛЬНИЙ ЗАСТОСУНОК ЕЛЕКТРИКА ДЛЯ ЗАЛУЧЕННЯ ПОБУТОВИХ СПОЖИВАЧІВ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ ДО УПРАВЛІННЯ ПОПИТОМ	226
УЛАШТУВАННЯ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ЗА РІЗНИХ КЛАСІВ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ БУДІВЛІ	228
ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПРОМИСЛОВОГО ПІДПРИЄМСТВА ВІД НАЗЕМНОЇ СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ	230
ГАЛУЗЕВІ ОСОБЛИВОСТІ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ: ПРАКТИЧНІ ПІДХОДИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ	232
ВИКОРИСТАННЯ МАШИННОГО НАВЧАННЯ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ ОБСЯГІВ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ НА ПІДПРИЄМСТВАХ З ПЕРЕРОБЛЕННЯ МОЛОКА	234
ФОРМУВАННЯ ОПТИМАЛЬНОЇ СТРАТЕГІЇ ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТОРГОВЕЛЬНОГО ЦЕНТРУ	236
ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ПІДПРИЄМСТВ АГРАРНОЇ ГАЛУЗІ В УМОВАХ ЄВРОІНТЕГРАЦІЙНИХ ПРОЦЕСІВ В УКРАЇНІ	240
АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ВЛАСНОЇ ГЕНЕРАЦІЇ ДЛЯ ПІДПРИЄМСТВ МОЛОЧНОЇ ГАЛУЗІ В УМОВАХ ВІЯЛОВИХ ВІДКЛЮЧЕНЬ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ	242
ОГЛЯД СУЧАСНИХ СИСТЕМ ЗБЕРІГАННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ	245
ОСОБЛИВОСТІ РОЗТАШУВАННЯ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ МОДУЛІВ НА ОБМЕЖЕНІЙ ЗЕМЕЛЬНІЙ ДІЛЯНЦІ НАСОСНОЇ СТАНЦІЇ	247
ОПТИМІЗАЦІЯ НАДІЙНОСТІ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ КОМУНАЛЬНО-ПОБУТОВИХ ОБ’ЄКТІВ, ЯК ЕЛЕМЕНТ ПОЛІТИКИ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ТА ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ В УКРАЇНІ	249
ПЕРСПЕКТИВА ВИКОРИСТАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ СОНЯЧНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ	250
ОНОВЛЕННЯ КЛАСИФІКАЦІЇ СПОЖИВАЧІВ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ	252

РОЗДІЛ 1: ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ ЕНЕРГЕТИЧНІ SMART GRID СИСТЕМИ ТА ЕНЕРГЕТИЧНИЙ МЕНЕДЖМЕНТ

UDC 621.311.29

П. Д. Лежнюк^{1,2}, д-р техн. наук, проф., ORCID 0000 0002 9366 3553
І. О. Гунько², к-н техн. наук, доц., докторантка, ORCID 0000-0003-2868-4056

В. М. Лисий², аспірант, ORCID 0009-0007-0211-9100

¹Вінницький національний технічний університет

²Інститут відновлюваної енергетики НАНУ

РОЗРАХУНОК ЧАСТКИ НИЗЬКОВУГЛЕЦЕВИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ В СПОЖИВАННІ: ШЛЯХ ДО ДЕКАРБОНІЗАЦІЇ

Політика декарбонізації є ключовим елементом глобальних зусиль у боротьбі зі зміною клімату та зменшенням викидів парникових газів. Декарбонізація передбачає зниження використання таких вуглецевих джерел енергії, як вугілля, нафта та газ, та перехід на відновлювальні джерела енергії у всіх секторах виробництва. Для стимулювання інвестицій у відновлювальну енергетику застосовуються різні інструменти, такі як гарантії походження (Guarantees of Origin), контракти на купівлю електроенергії (Power Purchase Agreements), деякі країни запроваджують власні системи маркування та звітування (Labelling and Reporting System) та ін. Це дозволяє виробникам зменшити свій вуглецевий слід і продемонструвати споживачам, що їхня продукція виготовлена з використанням низьковуглецевих джерел енергії (НВДЕ). Визначення походження електроенергії, а саме відстеження перетоків активної та реактивної потужності необхідні з точки зору виробника та споживача (в тому числі активного) для досягнення справедливого ринку електроенергії, оскільки витрати на експлуатацію, використання та обслуговування системи повинні бути розподілені належним чином. Аналіз літературних джерел свідчить про те, що для визначення походження електроенергії можуть застосовуватися метод дольового розподілу, який, наприклад, використаний для створення Electricity Map. Так зокрема, трасування потоків було представлено Біалеком, як схема розподілу втрат, що базується на розв'язанні лінійних рівнянь [1], і паралельно Кіршеном як аналітичний інструмент, який використовує ітераційний підхід з урахуванням графів [2]. Наявність кільцевих схем, значно ускладнює алгоритми розрахунку перетоків потужності, особливо в мережах з високою щільністю приєднань різнотипних розосереджених джерел енергії, зокрема вітрових та сонячних

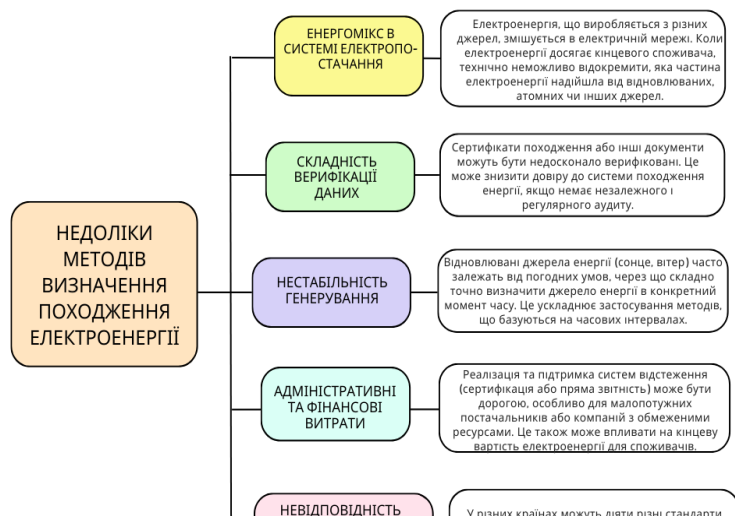


Рисунок 1– Недоліки методів визначення походження електроенергії

станцій, режим роботи яких залежить від погодних умов. Основні недоліки існуючих методів визначення походження електроенергії можна узагальнити, як показано на рис. 1. Це зумовлює необхідність удосконалення існуючих методів, особливо з огляду на те, що відповідальні виробники хочуть знати, яку частку електроенергії вони отримують від НВДЕ. Метою дослідження є визначення обсягу електроенергії отриманої споживачем від низьковуглецевих джерел енергії для підтвердження її походження, що дозволить виробникам випускати продукцію

з зеленим маркуванням.

Математична модель та алгоритм оцінювання частки електроспоживання заданого споживача, яка забезпечується з низьковуглецевих джерел енергії джерел енергії описана у [3]. З метою дослідження можливості застосування методу визначення походження електроенергії споживача від низьковуглецевих джерел енергії та демонстрації його ефективності для кільцевих мереж різних напруг, розглянуто 14 вузлову мережу IEEE, в 6 та 8 вузлах якої встановлено фотоелектричні станції потужністю 15 МВт та 20 МВт відповідно. Контрольний розрахунок усталеного режиму був виконаний за допомогою програми PowerFactory 15.1. Результати розрахунку походження електроенергії від НВДЕ для 5 та 9 вузлів приведені в табл.1. Так, зокрема, втрати активної потужності розрахунковим шляхом співпадають з втратами отриманими з PowerFactory. що підтверджує точність запропонованого методу.

Таблиця 1 – Порівняльний аналіз результатів розрахунку

№ п/п	Вузол 6	Вузол 8	Вузол 5	Вузол 9	Втрати активної потужності ΔP_{PF} , МВт	Втрати активної потужності $\Delta P_{розр}$, МВт
	Рген ФЕС1, МВт	Рген ФЕС2, МВт				
1 (7 год)	4	5	Від ТЕС – 3 МВт (40%) Від НВДЕ – 4,6 МВт (60 %)	Від ТЕС – 0,1 МВт (0,34%) Від ФЕС2 – 2,6 МВт (8,8%) Від НВДЕ – 99,66%	15,11	15,1
2 (11 год)	13	18	Від ТЕС – 3,14 МВт 78,5% Від НВДЕ – 0,86 МВт (21,5 %)	Від ТЕС – 0,07 МВт (0,35%) Від ФЕС2 – 7,26 МВт (36,3%) ФЕС1 – 1,98 МВт (10%) Від НВДЕ – 99,65%	7,28	7,3
3 (13 год)	15	20	Від ТЕС – 3,1 МВт (77,5%) Від НВДЕ – 0,9 МВт (22,5 %)	Від ТЕС – 0,07 МВт (0,46%) Від ФЕС1 – 2,67 МВт (17,8%) ФЕС2 – 8,15 МВт (54,3%) Від НВДЕ – 99,54%	12,37	12,3
4 (19 год)	2	2,5	Від ТЕС – 3,01 МВт (40%) Від НВДЕ – 4,59 МВт (60%)	Від ТЕС – 0,09 МВт (0,3%) Від ФЕС2 – 1,68 МВт (5,6%) Від НВДЕ – 99,7%	15,64	15,57

Список використаних джерел

1. Bialek J. Tracing the Flow of Electricity. [*IEEE Proc.-Gener. Transm. Distrib.*](#), Vol. 143, No 4, July pp. 313-320.
2. Kirschen D., Allan R., Strbac G. Contributions of individual generators to loads and flows. *IEEE Transactions on Power Systems*, Volume. 12, pp. 52-60, Feb. 1997. doi:10.1109/59.574923.
3. І. Гунько, “Математична модель визначення виробництва електроенергії споживача від ВДЕ в електроенергетичній системі” Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки, вип. 339, вип. 4, стор. 230–234, серпень 2024 р.

РОЗОСЕРЕДЖЕНА ЕНЕРГЕТИКА – ТРЕНД СТІЙКОСТІ, ВІДНОВЛЕННЯ ТА РОЗВИТКУ У ВІЙСЬКОВИЙ ТА ПІСЛЯВОЄННИЙ ПЕРІОДИ

В доповіді наведено ретроспективний аналіз ходу реалізації прийнятих в Україні енергетичних стратегій, наведено огляд концептуальних підходів, пов'язаних із прогнозуванням розвитку енергетики. Представлені проблеми становлення та можливості розподіленої (розсередженої) теплоелектрогенерації в Україні. Наведено інноваційні пропозиції щодо підвищення енергоефективності енергоспоживання будівель та споруд, що відповідають науковому напрямку «фундаментальна теплофізична інженерія», цілям та завданням проекту «Національний план з енергетики та клімату на період до-2030 рр.»

Україна до 90-х років XX століття мала розвинений ПЕК з високим науково-технічним і виробничо-технологічним потенціалом, який можна порівняти із зарубіжними. Зі здобуттям незалежності перед Україною постало завдання розробити вітчизняну стратегію розвитку енергетики. Головною цільовою установкою на сучасному етапі розроблюваної стратегії розвитку енергетики повинен був бути перехід від імпорто-сировинного до енергоефективно-орієнтованого розвитку ПЕК з використанням результатів фундаментальних та прикладних досліджень у галузі природничих та соціально-економічних наук, вітчизняного інноваційного потенціалу з його науково-технічними та науково-технологічними розробками. Все це в умовах ключових внутрішніх та зовнішніх ризиків та викликів розвитку ТЕК, у тісній ув'язці тріади: енергетика-економіка-екологія та високих темпів зростання наукових знань. Було прийнято низку регуляторних документів, що визначають політику реконструкції та розвитку енергетики України з реалізацією низки науково-технологічних проривів у галузі паливно-енергетичного комплексу з активною участю у цих роботах науковців та фахівців-енергетиків України:

- Енергетична програма на період 1996-2010 рр.
- Енергетична стратегія на період 2006-2030 рр.
- Оновлено енергетичну стратегію на період 2013-2030 рр.
- Ногва Енергетична стратегія на період 2017-2035 рр.
- Енергетична стратегія на період 2023-2050 рр. (має гриф «для службового використання»).
- Національний план з енергетики та клімату на період до 2030 р.» (прийнято у 2024 р.)

Перша програма та три наступні енергетичні стратегії не були реалізовані в передбачені часові періоди – кожна не досягала прогнозованих цілей та індикативних показників. Вже на проміжних часових інтервалах була очевидною їх нездійсненність і наступні стратегії після 1996 року ухвалювалися до закінчення терміну попередньої.

Реалізація цілей та завдань передостанньої Енергетичної стратегії на період 2017-2035 рр. (НЕС-35) була торпедована російською агресією у 2022 році. Тому постає запитання -, де шукати причини «такої реалізації» попередніх енергетичних стратегій? У методах та інструментаріях прогнозування, управління шляхами та механізмами реалізації, у соціально-економічній та геополітичній турбулентності, у глобальній фінансово-економічній кризі? Або у принциповій неможливості пізнання майбутнього (на досить віддаленому часовому інтервалі)?

Зазначена непередбачуваність змінності енергетичних стратегій у країні викликала певну недовіру до розробок енергетичних стратегій на віддалений період (десятки років) та викликала у енергетичної, економічної та науково-технічної громадськості пропозицію про доцільність довгостроковий прогноз розвитку енергетики, залежно від змінних умов, коригувати, супроводжувати та відстежувати оперативними (поточними), “ковзаючими планами-прогнозами” на порівняно коротких часових інтервалах (три-п'ять років).

Матеріали «Національний план з енергетики та клімату на період до 2030 року» можна розглядати як основу «дороговказу» на відносно короткий рядок. Він є стратегічним документом, який спрямований на узгодження енергетичної та кліматичної політики для забезпечення сталого розвитку та відновлення економіки України». У ньому визначені ключові цілі до 2030 р., наявні та заплановані політики та заходи у сфері енергетики та клімату, які пов'язані з п'ятьма вимірами Енергетичного Союзу ЄС:

1. Декарбонізація (розвиток відновлюваних джерел енергії)
2. Енергоефективність
3. Енергетична безпека
4. Енергетичний ринок (електроенергія)
5. Енергетичний ринок (газ)

У «Національному плані з енергетики та клімату на період до 2030 року» відсутній органічний для структури такого документа розділ – муніципальна (комунальна) енергетика, як складова «великої енергетики» зі своїми потребами в енергоресурсах, ремонтній базі, інвестиціях, та основу якої у сучасних реаліях має становити розподілена теплоелектрогенерація. Однак саме ця галузь енергетики є зараз найбільш соціально значущою.

МЕТОД ОЦІНЮВАННЯ ЧАСТКИ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ ЗАДАНОГО СПОЖИВАЧА МІКРОМЕРЕЖІ, ЯКА ЗАБЕЗПЕЧУЄТЬСЯ З РОЗОСЕРЕДЖЕНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ

Вступ. Останнім часом в Україні гостро постало питання впровадження мікромереж для забезпечення надійного електропостачання критичних споживачів під час вимушених відключень електроенергії. Мікромережі фактично є компактною електромережею, призначеною для управління розподіленими енергоресурсами. Вона може поєднувати відновлювані джерела енергії, такі як сонячну, вітрову або гідроенергію, з невідновлюваними, такими як дизельні генератори або газові турбіни. Мікромережі можуть працювати як у зв'язку з основною енергосистемою, так і автономно під час надзвичайних ситуацій або відповідно до певних потреб.

Автономний режим роботи мікромережі забезпечується розосередженими джерелами енергії (РДЕ), що потребує планування енергетичного балансу мікромережі. Крім того, постійні зміни навантаження споживачів та генерування відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) які частково забезпечують їх живлення, часто залежать від метеорологічних умов та призводять до змін у витратах на електроенергію споживачів мікромережі. Тому, оптимізація витрат на електроенергію шляхом використання даних про частку розосередженого електропостачання у споживанні конкретного споживача мікромережі є актуальною задачею. Її розв'язання може бути використано для аналізу ефективності поточних розосереджених джерел і пошуку шляхів підвищення енергоефективності режимів роботи мікромережі.

Мета роботи. Метою даного дослідження є розроблення методу розрахунку складових перетікань електроенергії до певного споживача, що зумовлені генеруванням та споживанням у вузлах мікромережі.

Матеріал і результати дослідження.

Залежності перетікань потужності у окремих вітках від генерування РДЕ є нелінійними, що ускладнює задачу виокремлення їх із сукупного перетікання. Для структурування втрат потужності в ЕМ за окремими транзакціями електроенергії з врахуванням нелінійності, у [1] запропоновано використовувати матрицю коефіцієнтів розподілу перетікань потужності у вітках схеми ЕМ, які зумовлені генеруванням у вузлах приєднання РДЕ у вигляді (1):

$$\dot{A}_i = (\dot{U}_t \mathbf{M}_{\Sigma i}^{\kappa}) \hat{\mathbf{C}}_{\text{pdei}} \dot{U}_{\text{pde}}^{-1}, \quad (1)$$

де $\dot{U}_t$ – транспонований вектор напруг у вузлах включаючи і базисний; $\mathbf{M}_{\Sigma}^{\kappa}$ – матриця, що містить фрагмент матриці з'єднань, елементами якої є нулі та одиниці зі знаком “–” (для визначення складових перетікань потужності лініях за параметрами кінця); $\dot{U}_{\text{pde}}^{-1}$ – обернена діагональна матриця напруг у вузлах приєднання ВДЕ; $\hat{\mathbf{C}}_{\text{pdei}}$ – i -й вектор-рядок фрагменту матриці коефіцієнтів розподілу струмів по вітках схеми ЕМ, який відповідає i -му вузлу приєднання РДЕ:

$$\dot{\mathbf{C}}_{\text{pde}} = \dot{\mathbf{z}}_v^{-1} \mathbf{M}_{\text{pdet}} (\dot{\mathbf{Y}}_{\text{pde}})^{-1}, \quad (2)$$

$\mathbf{M}_{\text{pdet}}$, $\dot{\mathbf{Y}}_{\text{pde}}$ – фрагменти транспонованої матриці з'єднань та матриці вузлових

провідностей схеми ЕМ, які відповідають вузлам приєднання РДЕ; $\dot{\mathbf{z}}_b$ – діагональна матриця комплексних опорів віток схеми електричної мережі.

Для визначення перетікань від РДЕ у вітках схеми можна записати:

$$\dot{\mathbf{S}}_{\text{рде}}^b = \dot{\mathbf{A}}_t \text{diag}(\dot{\mathbf{S}}_{\text{рде}}^b) \quad (3)$$

де $\dot{\mathbf{S}}_{\text{рде}}^b$ – вектор перетікань потужності у вітках схеми викликаних генеруванням у вузлах приєднання РДЕ; $\dot{\mathbf{S}}_{\text{рде}}$ – фрагмент вектору потужностей вузлів мікромережі, що відповідає вузлам приєднання РДЕ.

З урахуванням (1) і (3) можна записати вирази для визначення обсягів гарантованого покриття навантаження споживача потужністю з РДЕ:

$$\dot{\mathbf{S}}_{\text{рде}}^{\text{част}} = \mathbf{M}_{\Sigma} \dot{\mathbf{S}}_{\text{рде}}^b, \quad (4)$$

Матриця $\dot{\mathbf{S}}_{\text{рде}}^{\text{част}}$ має розмірність за кількістю вузлів приєднання РДЕ та загальною кількістю вузлів схеми. Вона вміщує обсяги гарантованого покриття навантаження окремих споживачів енергією з визначених РДЕ у режимі централізованого електропостачання. У [1] також запропоновано вирази для визначення перетікань від інших центрів живлення, зокрема шин підстанції до якої підключено мікромережу.

Для визначення частки споживання електроенергії заданого споживача мікромережі, яка забезпечується з розосереджених джерел енергії здійснюється постійний моніторинг перетікань за даними Microgrid Management System (MGMS) - системи управління мікромережами [2]. При зміні режиму електричних мереж необхідно перераховувати матрицю коефіцієнтів розподілу перетікань потужності, тому що значення її елементів залежать від напруги у вузлах. При цьому, визначення матриці коефіцієнтів розподілу перетікань потужності виконується шляхом прямого розрахунку за розрахунковий період із використанням фактичних даних про надходження енергії від різних джерел. Розрахунок ведеться з використанням інформації про потоки активної і реактивної енергії (потужності), отриманої з допомогою MGMS. Частота перераховування матриці $\dot{\mathbf{A}}_t$ залежить від характеру та швидкості зміни навантаження та генерування.

Висновки. Запропоновано метод визначення частки перетікань потужності до певного вузла навантаження від сукупності розосереджених джерел енергії у мікромережі. Для врахування нелінійності співвідношення між напругами у вузлах мікромережі та потужностями їх генерування чи навантаження використовуються результати розрахунку усталених режимів. Для оцінювання обсягів покриття навантаження заданого споживача з розосереджених джерел енергії використовуються результати структурування перетікань потужності до вузла його приєднання за джерелами походження. Вказаний метод може бути інструментом розрахунку залежності споживача від розосереджених джерел та дозволяє коригувати витрати на енергію, переходячи на економічно вигідніші джерела у межах мікромережі.

Список використаних джерел:

1. P. Legniuk, V. Kulyk, Y. Malogulko, O. Burykin, and A. Sytnyk, "Method of estimating the share of electricity consumption of a given consumer, which is provided from renewable energy sources," in 2022 IEEE 8th International Conference on Energy Smart Systems (ESS 2022) - Proceedings, 2022, pp. 85–88.
2. S. E. Eyimaya and N. Altin, "Review of Energy Management Systems in Microgrids," Applied Sciences, vol. 14, no. 3, p. 1249, 2024. Available: <https://doi.org/10.3390/app14031249>.

References:

1. P. Legniuk, V. Kulyk, Y. Malogulko, O. Burykin, and A. Sytnyk, "Method of estimating the share of electricity consumption of a given consumer, which is provided from

renewable energy sources," in 2022 IEEE 8th International Conference on Energy Smart Systems (ESS 2022) - Proceedings, 2022, pp. 85–88.

2. S. E. Eyimaya and N. Altin, "Review of Energy Management Systems in Microgrids," *Applied Sciences*, vol. 14, no. 3, p. 1249, 2024. Available: <https://doi.org/10.3390/app14031249>.

D.S. Karpenko, Cand. of Tech. Sciences, Research Officer

T.O. Yevtukhova, Cand. of Tech. Sciences, Associate Professor, Senior Research Officer

O.V. Novoseltsev, Dr. of Tech. Sciences, Corresponding Member of the National Academy of Sciences of Ukraine, Department Head

V.O. Khodakivskyi, Ph.D. student

General Energy Institute of the National Academy of Sciences of Ukraine

IMPROVING THE COMPETITIVE STRUCTURE OF THE DISTRICT HEATING MARKET THROUGH ENERGY STORAGE DEVICES

The ongoing evolution of energy systems worldwide is driven by the imperative to enhance efficiency, minimize environmental impacts, and integrate a greater proportion of renewable energy sources into existing infrastructures. This transformation is particularly relevant to district heating systems (DHSs), which are crucial components of urban energy distribution networks. DHSs stand poised for significant modernization reforms, especially under competitive market conditions where the integration of energy storage devices (ESD) emerges as a critical enabler [1]. The drive for such modernization stems from an urgent need to address the challenges posed by the growing share of intermittent renewable energy sources (RES) like wind and solar power [2, 3]. Fig. 1 illustrates the trend in the increasing share of renewable energy sources in the European Union [4].

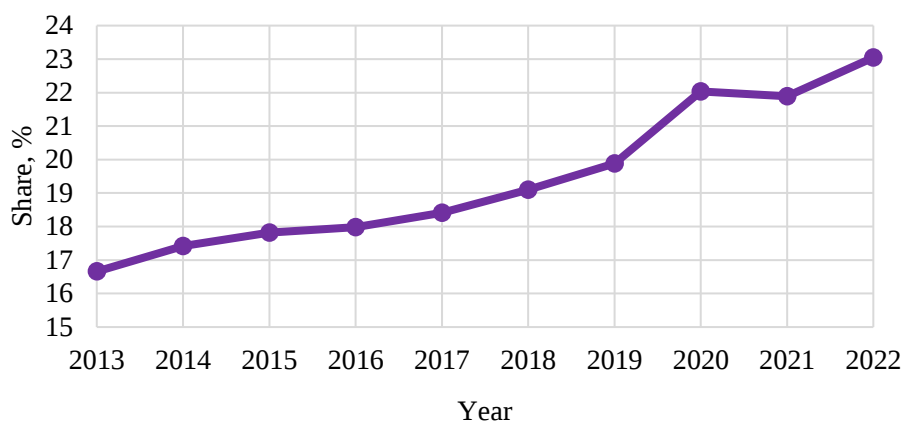


Figure 1 - Share of energy from renewable sources (European Union - 27 countries)

The modernization of structural schemes in DHSs through the incorporation of ESD is a pivotal aspect of current research focused on transforming urban energy systems to meet the demands of a sustainable future. This integration promises not only to enhance operational efficiency and reduce emissions but also to redefine service delivery frameworks in competitive environments, aligning local urban systems with broader global efforts towards renewable and resilient energy infrastructures. This research aims to significantly contribute to the development of modern DHS structures, leveraging storage technologies to foster innovative solutions for sustainable urban energy management [8, 13].

The purpose of this research is to improve the competitive structure of the district heating market through energy storage devices. To achieve this goal, the following tasks must be completed:

1. Conduct a literature review on the application of ESDs to identify the most effective technologies for integration into DHSs.
2. Propose upgraded structural scheme of interaction among entities in the competitive DHS using energy storage.

1. Modernization of structural scheme of interaction among entities in a competitive DH market based on ESDs. The need for modernization of the structural scheme of competitive DHS presented in [31, 32] arises from several factors. The integration of renewable energy is increasingly essential in today's DHS, as sustainability goals call for cleaner energy sources. Advanced demand response capabilities and energy storage are increasingly necessary to efficiently handle fluctuating demand, especially with the rise of intermittent RES. Enhancing these features in the previous scheme would improve energy efficiency and system stability, supporting a more dynamic balance between supply and demand. Decentralized management aligns well with the growing complexity of modern energy networks.

Such a structure allows the system to distribute responsibilities across multiple operators, making it easier to respond to changes in demand and balance loads efficiently. This approach also supports a consumer-centric model by giving end-users more influence over their energy consumption and costs. Modernizing the DHS to focus on consumer engagement and adaptable pricing could encourage energy-saving behavior and boost satisfaction.

The proposed basic scheme in Fig. 2 illustrates a competitive DHS in which multiple actors are involved in producing, transporting, consuming, and managing energy. The system is divided into four main groups: the energy production group, the energy transportation group, the energy consumption group, and the DHS operations group.

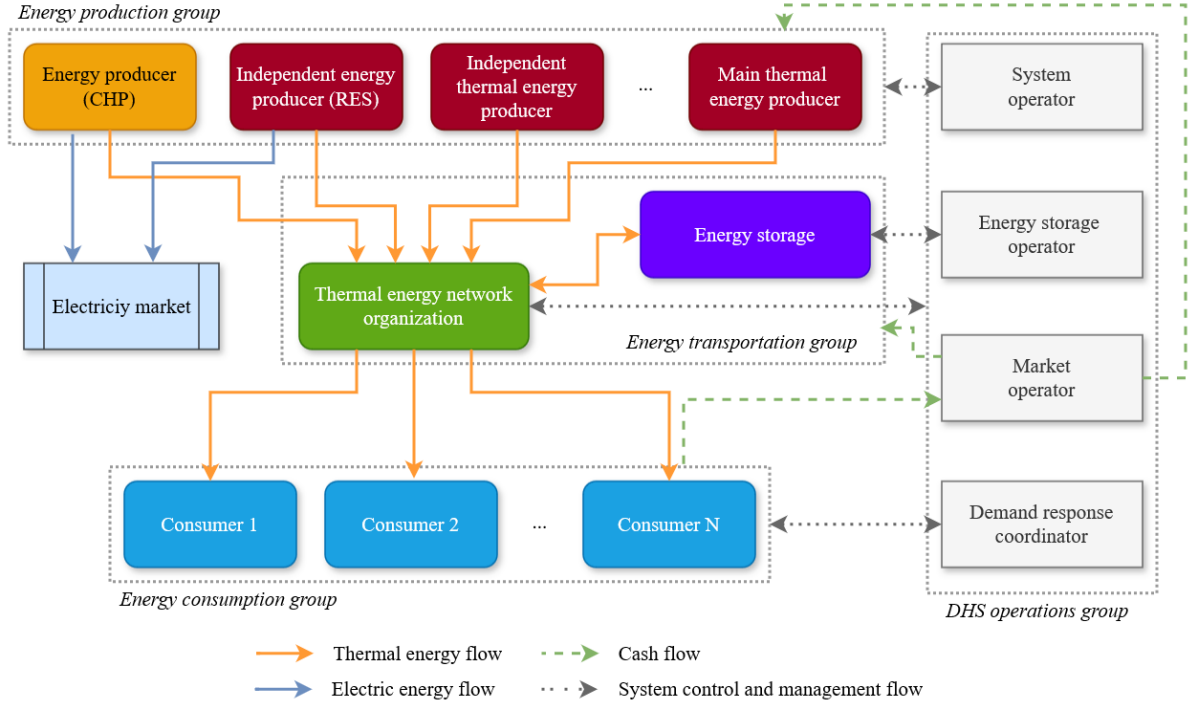


Figure 2 – Basic modernization of the structural scheme of the competitive DHS with ESD

The energy production group consists of several entities that generate thermal and electric energy. The CHP producer plays a dual role by supplying both electric and thermal energy. Electricity produced by the CHP is directed to the electricity market, facilitating the balancing of electric supply and demand. Independent energy producers, including RES and other independent thermal energy producers, contribute thermal energy to the system, which is essential in a competitive environment. A major player in this group is the main thermal energy producer, who supplies significant amounts of thermal energy to the network.

The energy transportation group is primarily managed by the thermal energy network organization, which serves as the central entity for distributing thermal energy across the network. This organization receives thermal energy from various producers, including both independent and main thermal energy producers. It ensures efficient distribution to meet consumer demand and works in close collaboration with energy storage to balance supply and demand fluctuations. Energy storage plays a critical role by absorbing excess energy during low-demand periods and releasing it when demand peaks, thereby stabilizing the network and optimizing resource utilization.

Consumers are represented in the energy consumption group, where buildings or other end-users receive thermal energy through the thermal network. Consumers rely on this energy for heating and other applications, making them the final link in the energy flow chain. Cash flows from consumers to the DHS operations group, highlighting the financial transactions necessary to sustain the energy supply chain.

The DHS operations group encompasses several crucial roles that ensure the stability and efficiency of the system. The system operator is responsible for maintaining overall network stability, overseeing the smooth operation of the energy flows and balancing them as needed. The energy storage operator manages the energy storage facilities, collaborating closely with the thermal energy network to help balance demand and supply. This group also includes the market operator, who oversees the trading of thermal energy, creating a competitive environment that benefits both producers and consumers. Finally, the demand response coordinator is tasked with managing demand response mechanisms, encouraging consumers to adjust their energy consumption patterns based on system conditions. This helps alleviate demand peaks and prevents potential strain on the system.

Thermal energy flows from various producers to the thermal network organization, which distributes it to consumers, representing the core functionality of the DHS. In parallel, the CHP supplies electric energy to the electricity market, adding value and efficiency to the system. Cash flows indicate the financial interactions between consumers and the DHS operations, while system control and management flows reflect the communication and

coordination among different operators and the network organization. These management flows are essential for ensuring that the system operates in a synchronized manner.

In competitive conditions, multiple energy producers vie to supply thermal energy to the network, incentivizing efficiency and potentially lowering energy costs for consumers. The integration of energy storage adds flexibility, allowing excess thermal energy to be stored and used during periods of high demand. The market operator plays a key role in maintaining a fair and efficient trading environment, while the demand response coordinator's involvement helps manage peak loads and prevent system overload. The system operator oversees these interactions, ensuring that the DHS remains stable and reliable despite the complexities of competition and varying energy demands.

Discussion

The integration of ESD into competitive DHSs presents significant potential to enhance operational efficiency, increase system flexibility, and reduce environmental impact, aligning with broader sustainability goals. One of the primary technological advancements outlined is the strategic integration of TES systems, such as BTES, PTES, and ATES. These technologies offer substantial promise in addressing the inherent variability of RES, such as solar and wind, by providing reliable energy storage solutions that bridge supply-demand gaps. However, challenges such as high initial costs and site-specific geological dependencies present barriers that necessitate further innovation and refinement. The incorporation of PCM also highlights an innovative avenue for enhancing energy density and reducing required storage volumes, albeit with associated technical complexities. Moreover, BESS and CES add a new dimension by enabling electrical energy storage, although they are often costly and require advancements in technology maturity to be viable on a larger scale. These systems, in conjunction with TES, broaden the scope of energy storage options available to DHSs, potentially enabling more nuanced and efficient energy management strategies.

From an economic standpoint, utilizing ESD in competitive DHSs promises to reduce operational costs and enhance grid stability. The proposed structural scheme fosters a multi-actor competitive environment where various energy producers contribute to a dynamic energy marketplace. By facilitating demand response and allowing for a more decentralized system management approach, DHSs can better optimize pricing structures and encourage energy-saving behaviors among consumers. Strategically, the integration of ESD supports a shift towards a consumer-centric model, enhancing end-user engagement and satisfaction. Additionally, by capitalizing on technologies like CHP, DHSs can extend their roles within energy networks, providing valuable balancing services that maintain grid reliability amidst increased RES penetration. This, in turn, enhances energy security and bolsters the economic viability of DHSs in competitive settings, where efficient energy management is crucial.

Despite the clear benefits, several challenges must be addressed. The complex interplay between different technological components requires careful coordination and management, demanding robust control systems and strategic planning. The financial implications, particularly concerning initial investment costs and economic feasibility in diverse geographical contexts, need in-depth analysis.

Looking towards future research directions, the scheme laid out can be explored through various alternative structural configurations. Given the diverse potential interactions between energy storage, producers, and consumers, further studies could focus on optimizing these relationships to maximize efficiency, economic, and environmental outcomes. Additionally, advanced modeling and simulation techniques could be applied to analyze the impact of various ESD integration strategies under different market and regulatory scenarios, providing critical insights for policymakers and industry stakeholders.

Additionally, ongoing advancements in smart grid technologies and real-time data analytics will play pivotal roles in refining these systems. As DHS operations become more data-driven, integrating advanced analytics and machine learning could lead to more accurate forecasts and better demand-supply matching, thereby enhancing overall system performance.

Conclusions

The modernization of competitive DHSs through the integration of ESD represents a critical advancement towards achieving a sustainable, efficient, and flexible urban energy infrastructure. This research confirms that the incorporation of promising energy storage technologies, such as TES and other advanced storage solutions, significantly enhances the operational capacity and adaptability of modern DHSs. By enabling more effective management of the variability and intermittency associated with RES, ESDs are essential for ensuring a stable and reliable energy supply.

Through a comprehensive literature review, this study identified key technologies that stand out for their potential to improve DHS performance. TES solutions like BTES, PTES, and ATES emerge as particularly effective, though initial costs and geological dependencies pose challenges that need strategic consideration.

The proposed structural scheme illustrates a dynamic interaction model among various entities within a competitive DHS, encompassing energy producers, transportation networks, and consumption sectors, alongside robust operations management facilitated by a market operator and a demand response coordinator.

The shift towards a decentralized and consumer-centric model promotes energy-saving behaviors and enhances user engagement, aligning with global sustainability efforts and reducing greenhouse gas emissions. Energy storage, particularly in conjunction with CHP technologies, offers the dual benefit of maintaining energy security and providing valuable balancing services to the electrical grid, thereby reinforcing the critical role DHSs play in modern energy networks.

In summary, this research underscores the transformative capacity of ESD in DHSs, positioning these systems at the forefront of sustainable urban energy solutions. Continued innovation and strategic integration of these technologies will be vital in catering to evolving energy demands and meeting stringent environmental targets globally.

References

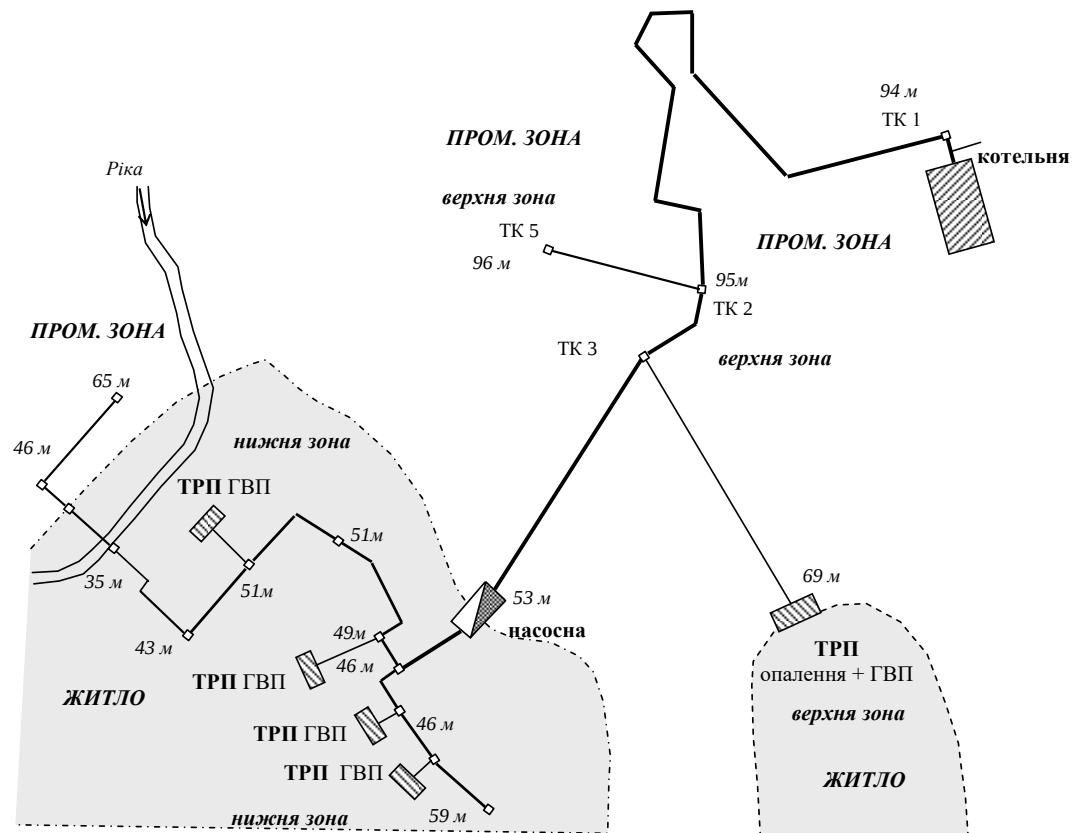
- [1] I. Buratynskiy, T. Nechaieva, and I. Leshchenko, 'Assessment of the economic efficiency of battery energy storage systems in the electricity market segments', in *Studies in Systems, Decision and Control*, Cham: Springer Nature Switzerland, 2024, pp. 37–50.
- [2] V. Derii, T. Nechaieva, and I. Leshchenko, 'Assessment of the effect of structural changes in Ukraine's district heating on the greenhouse gas emissions', *Sci. Innov.*, vol. 19, no. 4, pp. 57–65, Aug. 2023.
- [3] V. Babak and M. Kulyk, 'Increasing the efficiency and security of Integrated Power System operation through heat supply electrification in Ukraine', *Sci. Innov.*, vol. 19, no. 5, pp. 100–116, Oct. 2023.
- [4] Eurostat. doi:10.2908/NRG_IND_REN.
- [5] V. Denysov, V. Babak, A. Zaporozhets, T. Nechaieva, G. Kostenko, 'Energy System Optimization Potential with Consideration of Technological Limitations (August 23, 2024). Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=4936175>.
- [6] Hotra O, Kulyk M, Babak V, Kovtun S, Zgurovets O, Mrocza J, Kisała P, 'Organisation of the structure and functioning of self-sufficient distributed power generation', *Energies*, vol. 17, no. 1, p. 27, Dec. 2023.
- [7] J. Z. Thellufsen *et al.*, 'Smart energy cities in a 100% renewable energy context', *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 129, no. 109922, p. 109922, Sep. 2020.
- [8] T. T. Sebestyén, M. Pavičević, H. Dorotić, and G. Krajačić, 'The establishment of a micro-scale heat market using a biomass-fired district heating system', *Energy Sustain. Soc.*, vol. 10, no. 1, Dec. 2020.
- [9] H. Bielokha, L. Chupryna, S. Denisyuk, T. Eutukhova, and O. Novoseltsev, 'Hybrid Energy Systems and the Logic of Their Service-Dominant Implementation: Screening the Pathway to Improve Results', *Energy Eng.*, vol. 120, no. 6, 2023, pp. 1307–1323. <https://doi.org/10.32604/ee.2023.025863>
- [10] A. Boldrini, J. P. Jiménez Navarro, W. H. J. Crijns-Graus, and M. A. van den Broek, 'The role of district heating systems to provide balancing services in the European Union', *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 154, no. 111853, p. 111853, Feb. 2022.
- [11] V. O. Derii, V. D. Bilodid, 'Limiting possibilities of the accumulation of thermal energy in centralized heat supply systems', *Probl. Gen. Energy*, vol. 2019, no. 2, pp. 41–45, Jun. 2019.
- [12] V. V. Horskyi, O. Y. Maliarenko, N. Y. Maistrenko, O. I. Teslenko, and H. O. Kuts, 'Modified three-stage model for forecasting the demand for energy resources at various hierarchy levels of the economy', *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 1049, no. 1, p. 012054, Jun. 2022.
- [13] E. Guelpa, A. Bischi, V. Verda, M. Chertkov, and H. Lund, 'Towards future infrastructures for sustainable multi-energy systems: A review', *Energy (Oxf.)*, vol. 184, pp. 2–21, Oct. 2019.
- [14] H. Sadeghi, R. Jalali, and R. M. Singh, 'A review of borehole thermal energy storage and its integration into district heating systems', *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 192, no. 114236, p. 114236, Mar. 2024.
- [15] N. Fry, P. Adebayo, R. Tian, R. Shor, and A. Mwesigye, 'A review of district energy technology with subsurface thermal storage integration', *Geotherm. Energy*, vol. 12, no. 1, Aug. 2024.
- [16] I. Sifnaios, D. M. Sneum, A. R. Jensen, J. Fan, and R. Bramstoft, 'The impact of large-scale thermal energy storage in the energy system', *Appl. Energy*, vol. 349, no. 121663, p. 121663, Nov. 2023.
- [17] M. Rezaei, M. Sameti, and F. Nasiri, 'Biomass-fuelled combined heat and power: integration in district heating and thermal-energy storage', *Clean Energy*, vol. 5, no. 1, pp. 44–56, Mar. 2021.
- [18] K. Lepiksaar, V. Mašatin, E. Latõšov, A. Siirde, and A. Volkova, 'Improving CHP flexibility by integrating thermal energy storage and power-to-heat technologies into the energy system', *Smart Energy*, vol. 2, no. 100022, p. 100022, May 2021.
- [19] N. Javanshir, S. Syri, S. Tervo, and A. Rosin, 'Operation of district heat network in electricity and balancing markets with the power-to-heat sector coupling', *Energy (Oxf.)*, vol. 266, no. 126423, p. 126423, Mar. 2023.
- [20] A. Kang, I. Korolija, and D. Rovas, 'Photovoltaic Thermal District Heating: A review of the current status, opportunities and prospects', *Appl. Therm. Eng.*, vol. 217, no. 119051, p. 119051, Nov. 2022.
- [21] D. Wang, J. Carmeliet, and K. Orehounig, 'Design and assessment of district heating systems with solar thermal prosumers and thermal storage', *Energies*, vol. 14, no. 4, p. 1184, Feb. 2021.
- [22] E. Bellos *et al.*, 'Dynamic investigation of centralized and decentralized storage systems for a district heating network', *J. Energy Storage*, vol. 56, no. 106072, p. 106072, Dec. 2022.
- [23] J. Hennessy, H. Li, F. Wallin, and E. Thorin, 'Flexibility in thermal grids: a review of short-term storage in district heating distribution networks', *Energy Procedia*, vol. 158, pp. 2430–2434, Feb. 2019.

- [24] D. Romanchenko, E. Nyholm, M. Odenberger, and F. Johnsson, 'Impacts of demand response from buildings and centralized thermal energy storage on district heating systems', *Sustain. Cities Soc.*, vol. 64, no. 102510, p. 102510, Jan. 2021.
- [25] A. Dahash, F. Ochs, and A. Tosatto, 'Techno-economic and exergy analysis of tank and pit thermal energy storage for renewables district heating systems', *Renew. Energy*, vol. 180, pp. 1358–1379, Dec. 2021.
- [26] R. Savolainen and R. Lahdelma, 'Optimization of renewable energy for buildings with energy storages and 15-minute power balance', *Energy (Oxf.)*, vol. 243, no. 123046, p. 123046, Mar. 2022.
- [27] R. Egging-Bratseth, H. Kauko, B. R. Knudsen, S. A. Bakke, A. Ettayebi, and I. R. Haufe, 'Seasonal storage and demand side management in district heating systems with demand uncertainty', *Appl. Energy*, vol. 285, no. 116392, p. 116392, Mar. 2021.
- [28] E. Borri, G. Zsembinszki, and L. F. Cabeza, 'Recent developments of thermal energy storage applications in the built environment: A bibliometric analysis and systematic review', *Appl. Therm. Eng.*, vol. 189, no. 116666, p. 116666, May 2021.
- [29] E. Guelpa and V. Verda, 'Thermal energy storage in district heating and cooling systems: A review', *Appl. Energy*, vol. 252, no. 113474, p. 113474, Oct. 2019.
- [30] H. Li, J. Hou, Z. Tian, T. Hong, N. Nord, and D. Rohde, 'Optimize heat prosumers' economic performance under current heating price models by using water tank thermal energy storage', *Energy (Oxf.)*, vol. 239, no. 122103, p. 122103, Jan. 2022.
- [31] V. I. Deshko, National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», D. S. Karpenko, and National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», 'Analysis of conditions for the creation of the local thermal energy market in Ukraine', *Komunalne gospodarstvo mist*, vol. 7, no. 146, pp. 68–76, 2018.
- [32] D. Valeriy and K. Dmytro, 'Functional structure of the local thermal energy market in district heating', in *2019 IEEE 6th International Conference on Energy Smart Systems (ESS)*, Kyiv, Ukraine, 2019.

ВИЗНАЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ ЖИТЛОВОГО МАСИВУ НА ОСНОВІ СИСТЕМНОГО МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ТЕПЛОВОЇ МЕРЕЖІ

Теплопостачання житлових масивів багатьох міст здійснюється від великих джерел теплової енергії, що обладнані водогрійними та паровими котлами. Джерела, як правило, розташовані на значній відстані від споживачів. Транспортування теплоносія від джерел до житлових масивів здійснюється по магістральним трубопроводам великих діаметрів, що призводить до значних теплових втрат. Великі відстані, на які транспортується теплоносій, обумовлюють також значні витрати електроенергії на транспортування теплоносія. Місцеві теплові мережі опалення підключені в основному по залежній схемі через теплорозподільчі пункти. Стан їх обладнання часто буває незадовільними, що погіршує якість опалення будинків та у останній час деякі споживачі відмовляються від централізованого теплопостачання, що зменшує потребу в постачанні теплової енергії. Крім того, самі схеми теплопостачання мають невисоку надійність.

У цій роботі розглянута система теплопостачання житлового масиву великого міста (див. рис. 1). Котельня розташована за рівнем землі більш ніж на 70 м вище житлового мікрорайону.



ГВП – гаряче водопостачання, ТК – тепла камера; ТРП – теплорозподільчий пункт

Рисунок 1 - Схема теплопостачання житлового масиву

Між котельнею та мікрорайоном передбачена понижуюча насосна станція. Котельня і насосна станція знаходяться в експлуатації з 1960-х років. Проектом був передбачений технологічний захист трубопроводів теплових мереж споживачів нижньої зони від неприпустимого підвищення тиску в них при гідроударі в результаті знеживлення (зупинки) мережних насосів насосної станції, а саме установка скидних клапанів. Як показала практика експлуатації цієї системи, вона не є надійною. При аварійних перервах в електропостачанні насосної в опалювальному сезоні періодично мають місце гідроудари та ушкодження теплових мереж, а також змушені перерви в теплопостачанні споживачів

Тому розробка і наукове обґрунтування методів і засобів визначення надійності теплопостачання житлового масиву на основі системного математичного моделювання теплової мережі є актуальною задачею в енергозбереженні.

Моделювання теплогідравлічного режиму теплової мережі проводилось з використанням розробленої на кафедрі теплотехніки та енергоефективних технологій НТУ «ХПІ» програми теплогідравлічного розрахунку складної теплової мережі з використанням методів теорії графів [1-5] та методики визначення теплових втрат при транспортуванні теплоносія.

Вихідними даними для розрахунку є характеристики:

- 1) кожної ділянки (дуги графу) для теплотрас: насосів; арматури (клапани, засувки, елементи обладнання); теплової мережі споживачів; підігрівачів гарячої води,
- 2) кожного вузла (вершини графу): висота; якщо вузол джерело – витрата та температура, теплоносія що додається, тепловий потік у вузол; якщо вузол скид – витрата теплоносія та тепловий потік, що стікає з вузла ззовні; для граничних вузлів – статичний тиск та температура теплоносія,
- 3) графу схеми теплової мережі: матриця з'єднань (інцидентів, номер ребра (ділянки); ідентифікатор типу; початковий та кінцевий вузол; перелік та тип граничних вузлів (джерело чи скид),
- 4) роботи теплової мережі (температурні графіки, температури оточуючого середовища).

При аналізі даних розрахунку нормального режиму встановлено, що розбіжність розрахункових даних з вихідними даними (по тискам і витратам) складає не більше 0,5 %, що говорить про адекватність моделі і можливість її застосування для інших режимів. Відпуск теплоти до споживачів нижньої зони і ТРП верхньої зони знаходиться в межах норми. Відпуск теплоти до споживачів, що підключені до теплотраси від ТК 2 до ТК 5, значно нижче норми (температури внутрішнього повітря $13\div 14^{\circ}\text{C}$) у зв'язку з великими тепловими втратами, що пов'язані зі значною протяжністю теплотрас великого діаметру і малим тепловим навантаженням. Слід зазначити, що в розрахунку не були враховані теплові втрати в квартальній тепловій мережі.

Проведені експериментальні та чисельні дослідження також для нештатних режимів: при відключенні підкачувального насоса на ТРП верхньої зони; при відключенні підкачувального насоса на насосній; при відключенні підкачувального насоса на насосній та підкачувального насоса на ТРП верхньої зони; при відключенні мережних насосів на котельні; при відключенні мережних насосів на котельні та підкачувального насоса на ТРП верхньої зони. Визначена зміна витрати теплоносія по ділянках мережі, недотопи та перетопи в окремих зонах та режими «перекидання циркуляції».

Таким чином, побудовані методи і засоби визначення надійності теплопостачання житлового масиву на основі системного математичного моделювання теплогідравлічних процесів з урахуванням взаємного впливу елементів системи і впливу зовнішніх факторів. Моделювання теплогідравлічного режиму теплової мережі показало, що він дуже складний та має низьку надійність. Надійність окремих елементів складної системи відчутно впливає на роботу всієї системи та її ділянок. Тому існуюча схема теплопостачання підлягає

реконструкції з метою підвищення її ефективності та надійності. Розроблені методи і засоби можуть бути застосовані для обґрунтування реконструкції інших систем теплопостачання.

Список використаної літератури

1. Комп'ютерна дискретна математика / А. М. Сергієнко, А. А. Молчанова, В. О. Романкевич. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 189 с.
2. Колос К. Р. Комп'ютерна дискретна математика. – Житомир: Державний університет "Житомирська політехніка", 2020. - 200 с.
3. Дискретна математика / В. В. Слесарєв, І. В. Новицький, С. А. Ус. – М-во освіти і науки України, Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка». – Дніпро : НТУ «ДП», 2023. – 183 с.
4. Кузьменко І. М. Теорія графів. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 71 с.
5. Трохимчук Р. М., Нікітченко М. С. Дискретна математика у прикладах і задачах: навч. посіб. Київ. нац. ун-т ім. Тараса Шевченка. - Київ: Київський університет, 2017. – 248 с.

С.М. Гапєєв¹, д-р техн. наук, професор, ORCID 0000-0003-0203-7424
 Г.А. Старушенко¹, д-р техн. наук, професор, ORCID 0000-0003-4331-4723
 Г.П. Іванова¹, канд. техн. наук, доцент, ORCID 0000-0003-4219-7916
 М.О. Вигодін¹, канд. техн. наук, доцент, ORCID 0000-0001-9069-543X
¹Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»

ЦИФРОВА МОДЕЛЬ ОЦІНКИ ІНВЕСТИЦІЙНОГО РИЗИКУ В ГАЛУЗІ ЕНЕРГЕТИКИ

Збройна агресія Російської Федерації проти України, багаторазові широкомасштабні атаки на об'єкти енергетичної інфраструктури спричинили великі збитки економіці нашої держави. За оцінками спеціалістів KSE Institute станом на травень 2024 р. енергетичний сектор України зазнав прямих збитків і непрямих фінансових втрат на суму \$56,2 млрд. Для повної реконструкції зруйнованих об'єктів, як визначено аналітичною командою KSE Institute, буде потрібно \$50,5 млрд [1]. Для відновлення пошкоджених або енергетичних потужностей необхідним є залучення інвестицій в український енергосектор і розвиток вітчизняної енергетики. Проте інвестиційна діяльність пов'язана зі сукупністю ризиків, вплив яких загострюється в умовах воєнного стану.

Тенденції інвестування у сферу енергетики і пов'язані з цим проблеми ризиків інвестиційної діяльності широко висвітлюються в науковій літературі [2, 3]. Але попри велику кількість наукових публікацій стосовно аналізу інвестиційного ризику в енергетичній сфері, актуальним є питання щодо застосування для його якісної й кількісної оцінки засобів сучасних цифрових технологій.

В роботі побудовано цифрову модель і розроблено комплексний алгоритм оцінки інвестиційного ризику в галузі енергетики. Знайдено оцінки ефективності інвестицій та визначено критичні значення параметрів для уникнення ризику банкрутства при інвестуванні за рахунок узятого під процент r_s кредиту.

З математичної точки зору цифрова модель оцінки інвестиційного ризику заснована на використанні нерівності Чебишева, узагальненої з урахуванням закону розподілу випадкової величини ефективності інвестицій. Якщо відомий закон розподілу випадкової величини ефективності інвестицій, то нерівність Чебишева перетворюється на строгу рівність [4].

Цифрова модель оцінки інвестиційного ризику побудована у припущенні, що випадкова величина ефективності інвестицій R має логарифмічно нормальний (логнормальний) розподіл зі щільністю розподілу ймовірностей

$$f(r) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma r} e^{-\frac{(\ln r - a)^2}{2\sigma^2}}, \quad r > 0,$$

де $-\infty < a < \infty$, $\sigma > 0$ – параметри.

Банкрутство інвестора з математичної точки зору означає ймовірність того, що випадкова величина ефективності інвестицій R набуде значення, яке визначається умовою: $R < r_s$.

У випадку логнормального закону розподілу ефективності інвестицій вираз для ймовірності банкрутства P_b має вигляд:

$$P_b = \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \operatorname{erf} \left(\frac{\frac{\ln \frac{m_R^2 (m_R - r_s)}{r_s \sqrt{m_R^2 + s_R^2}}}{\sqrt{\ln \frac{\sqrt{m_R^2 + s_R^2}}{m_R}}}}{2} \right), \quad (1)$$

де $\operatorname{erf}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-t^2} dt$ – функція помилок, m_R – математичне сподівання ефективності інвестицій,

s_R – середнє квадратичне відхилення.

В граничних випадках значень відсотка за кредит r_s зі співвідношення (1) відповідно отримуємо:

$$P_b \rightarrow 0 \text{ при } r_s \rightarrow 0; \quad P_b \rightarrow 1 \text{ при } r_s \rightarrow m_R.$$

Кількісний аналіз ризикової моделі (1) проведено в математичному редакторі Maple 18.

Алгоритм оцінки інвестиційного ризику за побудованою моделлю складається з таких етапів:

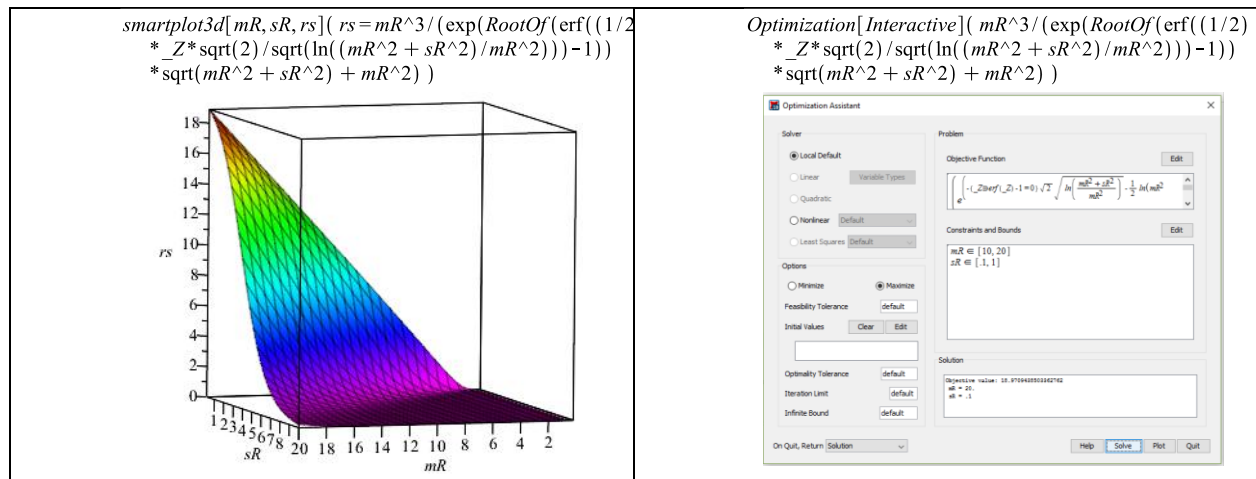
1) Кількісна оцінка мінімального ризику $P_b \rightarrow 0$ (при розрахунках умовно прийнято $r_s = 10\%$).

За розрахунковими даними, при $m_R = 15,8220$, $s_R = 4,1883$ ймовірність банкрутства практично дорівнює нулю.

2) При мінімальній ймовірності ризику $P_b \rightarrow 0$ залежність $r_s = f(m_R, s_R)$ представлена на рис. 1. За розрахунковими даними (рис. 2) маємо: $r_s = 18,9709$ при $m_R = 20 \gg s_R = 0,1$.

У граничному випадку $s_R \rightarrow 0$ отримуємо асимптотичне співвідношення:

$$r_s = \frac{m_R^2}{m_R + 1} + O(s_R) \text{ при } s_R \rightarrow 0.$$



[18.9709438503362762, [mR = 20., sR = 0.100000000000000]]

Рисунок 1 – Функція $r_s = f(m_R, s_R)$, яка відповідає мінімальній ймовірності ризику

Рисунок 2 – Кількісна оцінка максимального відсотку за кредитом при $m_R = 20 \gg s_R = 0,1$

3) Оцінка залежності $s_R = f(m_R, r_{si})$ при мінімальній ймовірності ризику $P_b \rightarrow 0$ і фіксованому значенні відсотку за кредитом r_{si} . Знайдено область зміни параметрів m_R і s_R , в якій при фіксованому відсотку за кредитом мінімізується ймовірність банкрутства.

4) Оцінка залежності $rs = f(m_{Ri}, s_R)$ при мінімальній ймовірності ризику $P_b \rightarrow 0$ і фіксованому значенні математичного сподівання ефективності інвестицій m_{Ri} .

5) Кількісна оцінка максимального ризику $P_b \rightarrow 1$ при значенні відсотку за кредитом $r_s = 10\%$.

Як показав проведений аналіз, закон розподілу випадкової величини ефективності інвестицій суттєво впливає на ймовірність банкрутства при інвестуванні за рахунок узятого під процент кредиту.

Отже, щоб мінімізувати ризик банкрутства під час інвестування за рахунок кредитних коштів, при оцінці ефективності інвестицій необхідно враховувати їх закон розподілу.

Список використаної літератури

1. Damages and losses of the energy sector of Ukraine due to the war exceeded \$56 billion – KSE Institute. Journal Forbes Ukraine, June 10, 2024. URL: <https://forbes.ua/news/zbitki-ta-vtrati-energosektoru-ukraini-cherez-viynu-perevishchili-56-mlrd-kse-institute-10062024-21678>.
2. Denysiuk S., Bielokha H., Cherneshchuk I., Lysi V. Global trends of implementation energy sources and features of their implementation during the recovery of economy. Energy: economics, technology, ecology. 2022. No 4. P. 7-23.
3. Iaresko R. Synergetic impact of risks of investment projects in power generation by the types. *Economic Bulletin of National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnical Institute"*. 2015. No 12. P. 253-258.
4. Starushenko G.A., Furgalo D.Yu. A digital model of risk management for evaluating the effectiveness of investments // Digital transformation and technologies for sustainable development all branches of modern education, science and practice : International Scientific and Practical Conference Proceeding, January 26, 2023 / Edited by I.

Zuchowski, Z. Sharlovyh, O. Mandych / International Academy Applied Sciences in Lomza (Poland) – State Biotechnological University (Ukraine). Publishing house: MANS w Łomży, Lomza, Poland, 2023. Part 3. P. 236-243.

ОСОБЛИВОСТІ РЕАЛІЗАЦІЇ SMART- МОНІТОРИНГУ ПРИ ГЕНЕРАЦІЇ, ПЕРЕДАЧІ ТА РОЗПОДІЛУ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ.

Вступ. Декарбонізація енергетичного сектору вимагає цілісного підходу до організації взаємодії всіх складових системи: генеруючі активи, мережу та навантаження – все це ефективно інтегровано для оптимізації виробництва електроенергії та мінімізації викидів вуглецю. Локальна електроенергетична система є децентралізованою мережею, одним із завдань якої є оптимізоване керування розподіленими енергетичними ресурсами з використанням сучасних систем моніторингу [1-4].

На сьогодні система глобального моніторингу (Wide-area monitoring/measurement system, WAMS) є комплексом систем, який відстежує стан централізованої енергосистеми та здатний реалізувати програми моніторингу та оцінки WAMS здатна працювати на значних територіях, охоплюючи електроенергетичну систему в цілому. Сучасні WAMS фактично є технологією не тільки моніторингу, але й керування та контролю динаміки електричних мереж високої напруги, які здійснюються в реальному часі [2].

Smart-моніторинг розглядається як нова якість у прийнятті управлінських рішень, як комплексний та системний моніторинг, що на сучасному інноваційному рівні забезпечує спостереження поточної технологічної та економічної ефективності функціонування елементів системи та системи в цілому [3].

При організації систем моніторингу ефективності роботи необхідно приділити увагу вирішенню наступних задач:

- балансування попиту та пропозиції;
- впровадження сучасних програм (механізмів) керування попитом (Demand Side Management);
- оцінка нерівномірності графіків енергоспоживання при електроживленні елементів ЛЕС як на змінному, так і постійному струмі.

Мета роботи: Метою роботи є розвиток теорії моніторингу сучасних локальних електроенергетичних систем та виділення особливостей реалізації Smart-моніторингу при генерації, передачі та розподілу електроенергії.

Матеріали досліджень. У загальному випадку Smart-моніторинг вирішує завдання як аналізу (оптимізації), так синтезу (проектування, планування, керування).

З точки зору «керуючих функцій» системи Smart-моніторингу мають враховувати, що сьогодні електроенергетична система є ієрархічною багаторівневою структурою, яка повинна діяти за принципом: підвищення інтелектуальності та зниження вимог до точності з підвищенням рангу ієрархії. Здійснюється двосторонній зв'язок з об'єктами, прогнозування управлінської технічної та фінансово-економічної діяльності, інтегрована інформаційно-аналітична підтримка, ідентифікація інформації.

Для організації роботи системи Smart-моніторингу необхідно провести:

- комплексний моніторинг електроенергії, енергетичного балансу та моніторинг потреб різних користувачів локальних системи.
- моніторинг роботи джерел розподіленої енергії та якості електроенергії, наприклад напруги, струму, потужності, частоти тощо (дані моніторингу можуть бути вибіркові, відповідно до умов роботи кожного джерела енергії).
- моніторинг навантаження: включаючи розподіл навантаження по окремим

категоріям, наприклад, навантаження важливих користувачів, чутливих користувачів, великих користувачів тощо.

При генерації енергії на рівні середніх напруг та при передачі енергії на рівні високих напруг використовуються технології WAMS, а на низьких напругах при генерації, передачі та розподілу Smart – моніторинг.

На рівні низької напруги для споживачів використовуються елементи інтрузивного та неінтрузивного моніторингу.

Для оптимізації режимів роботи за даними систем моніторингу можливе застосування балансування попиту та пропозиції та механізмів реагування на попит

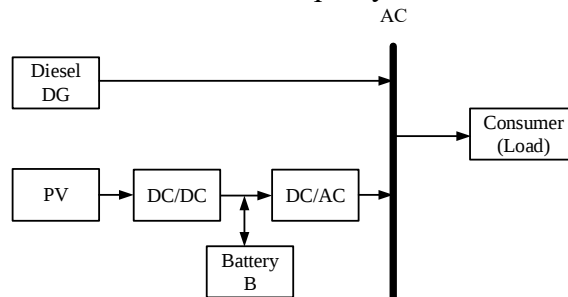


Рисунок 1 – Локальна енергетична система

Розглянемо застосування механізмів керування попитом DSM за результатами Smart-моніторингу, використовуючи стратегії DSM: перенесення навантаження та гнучке змінення навантаження. Основною ідеєю, на якій заснована стратегія гнучкого змінення навантаження, полягає в тому, щоб споживач сформував необхідні графіки електричного навантаження в обмін на фінансові стимули.

Таким чином, відповідно до зазначеного Smart-моніторингу, ЛЕС після проведеного аналізу прогнозованих графіків споживання пропонує споживачу оптимізувати графік навантаження, сниживши вартість виробленою електроенергії що сприятиме зниженню тарифу споживачу (або надання якихось бонусів), шляхом перенесенням потужності на інші інтервали часу, при цьому виконується умова, що середнє значення потужності споживання навантаженням залишається незмінним. Відсоток змінення відносно базового графіку навантаження загальної вартості (у відсотках) для механізму «перенесення навантаження» складає близько 4%, для гнучкого змінення навантаження – 6%. Необхідно зазначити, що за отриманою інформацією, споживачі у подальшому самі обирають прийнятний варіант, виходячи із наданих їм пропозиції та їхніх пріоритетів.

Висновки.

Впровадження систем Smart-моніторингу сприяє оптимізації енергетичних процесів в ЛЕС, побудові децентралізованих систем енергозабезпечення, підвищенню їхньої енергоефективності, зокрема, розширенню стратегії технічного обслуговування на основі оцінки поточного стану об'єктів системи.

Виділено особливості Smart-моніторингу при генерації, передачі та розподілу електроенергії, на прикладі показано застосування механізмів керування попитом для локальної енергетичної системи низької напруги.

Список використаних джерел:

1. Kyrylenko O.V., Denysiuk S.P., Blinov I.V. Digital transformation: modern trends and tasks. Proceedings of the Institute of Electrodynamics of the National Academy of Sciences of Ukraine. 2023. No. 65. P. 5–14.
<https://doi.org/10.15407/publishing2023.65.005>

2. Stognii B., Sopel M. Fundamentals of monitoring process in electroenergy. About the concept of monitoring process. Tekhnichna elektrodynamika. 2013. No. 1. Pp. 62–69.
3. Kyrylenko, O.V. & Stognii, B.S. & Denysiuk, S.P. & Sopel, M.F.. (2024). SMART-MONITORING OF ELECTRICAL POWER SYSTEMS. Tekhnichna Elektrodynamika. 2024. 48-62. 10.15407/techned2024.05.048.
4. Денисюк, С., Бєлоха, Г. (2024). Децентралізовані електроенергетичні системи як складові реалізації концепції «розумні мережі». Системні дослідження в енергетиці, (4 (80), 26-40.

ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ БЕНЗИНОВИХ ЕЛЕКТРОГЕНЕРАТОРІВ НА ПІДПРИЄМСТВАХ В УМОВАХ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ НЕСТАБІЛЬНОСТІ

Вступ. У зв'язку з нестабільною ситуацією в енергетичному секторі України, спричиненою військовими діями, плановими та аварійними вимкненнями електроенергії, все більше підприємств змушене шукати альтернативи для забезпечення безперервного енергопостачання. Часті відключення електроенергії значно знижують ефективність виробничих процесів, підвищують витрати на підприємствах і, як наслідок, впливають на загальний рівень економічної діяльності. У таких умовах використання електрогенераторів, зокрема бензинових, стає необхідним кроком для забезпечення надійного енергопостачання на час вимкнень.

Проте, на практиці виникає низка питань щодо економічної доцільності та ефективності використання бензинових генераторів. Витрати на експлуатацію таких установок включають не лише вартість пального та оливи, але й амортизацію обладнання та додаткові витрати, пов'язані з його обслуговуванням. Крім того, значна різниця в вартості виробленої енергії та енергопостачання від офіційних постачальників ставить питання про фінансову доцільність такого виду енергозабезпечення.

Тому аналіз витрат на використання бензинових генераторів, порівняння економічної ефективності різних моделей та оцінка впливу частих вимкнень електроенергії на фінансові показники підприємств є надзвичайно актуальними для забезпечення ефективного управління енергетичними ресурсами в умовах кризових ситуацій та для розробки рекомендацій щодо мінімізації фінансових втрат від відсутності стабільного електропостачання.

Метою дослідження є визначення економічної ефективності використання бензинових електрогенераторів на підприємствах, що знаходяться в умовах нестабільного енергопостачання, шляхом порівняння витрат на їх експлуатацію з витратами на електричну енергію, закуплену у постачальників.

Виклад матеріалу. У дослідженні розглядаються витрати підприємства, яке використовувало бензинові генератори для забезпечення безперервного енергопостачання в період вимкнень.

Часті і тривалі вимкнення електроенергії змусили керівництво підприємства в доволі стислий термін впровадити певні рішення щодо резервного живлення споживачів електроенергії, без яких неможлива діяльність підприємства. Такими споживачами є мережеве та серверне обладнання, персональні комп'ютери (ПК) окремих робочих місць та система опалення (газовий котел з вбудованим циркуляційним насосом).

Лазерні принтери доводилося використовувати лише при увімкненні електроенергії ззовні. Для нагального друку невеликої кількості аркушів використовувався принтер струменевого типу, який споживає суттєво менше електроенергії, ніж лазерний. Так як електромережа підприємства не передбачає під'єднання резервних джерел електроенергії, тому перехід серверів, комп'ютерної мережі та ПК на резервне живлення здійснювався «вручну» і з деякими незручностями. Тому довелося зробити імпровізовану мережу живлення в актовому залі, де було організовано робочі місця більшості працівників. За допомогою розгалужувачів вдавалося подати живлення на ПК працівників. Обмін даними з серверами здійснювався з використанням безпроводної мережі (WiFi). Серверне обладнання доводилось також перемикаати вручну до подовжувача, який приєднаний до генератора.

Найвідоміший з усіх і, на перший погляд, найбільш доступний варіант забезпечити резервне живлення – це паливний генератор. На прикладі двох моделей генераторів Fogo F3001R та Fogo FH6001, проведено аналіз витрат на паливо, обслуговування та заміну оливи.

Витрати на генератор Fogo F3001R.

Бензиновий генератор 3,0 кВа модель Fogo F3001R має номінальну потужність у 2,5 кВт. Середня витрата палива становить 1,4 л/год, за умови, що навантаження становить 75% від загальної потужності. Рекомендований тип бензину: А95. Рекомендований тип оливи: 10W30. Об'єм оливи: 0,6 л.

Цей генератор був придбаний в кінці 2022 року за 28 770 грн і використовувався згідно з даними журналу обліку роботи електрогенераторної установки протягом 181,83 мотогодин. За цей час він спожив 254,2 л бензину і 3 л моторної оливи. Вартість бензину, за середньою ціною на той час, склала 12 590,53 грн. Вартість моторної оливи – 537 грн. Таким чином, витрати на експлуатацію цього генератора за 181,83 мотогодин становлять 13 127,53 грн. З урахуванням вартості самого генератора, загальні витрати на його використання складають 41 897,53 грн.

Витрати на генератор Fogo FH6001.

Бензиновий генератор 6,2 кВт модель Fogo FH6001 має номінальну потужність у 5,6 кВт. Середня витрата палива становить 2,7 л/год, за умови, що навантаження становить 75% від загальної потужності. Рекомендований тип бензину: А92/А95. Рекомендований тип оливи: 10W30. Об'єм оливи: 1,1 л.

Цей генератор має більшу потужність і був придбаний в 2023 році за 57 510 грн. При тих самих 181,83 мотогодинах використання, при навантаженні 75%, він спожив 490,94 л бензину. Вартість пального склала 24 316,31 грн. Кількість заміненої моторної оливи становить 5,5 л, що дорівнює 984,5 грн. Витрати на експлуатацію генератора Fogo FH6001 складають 25 300,81 грн. Загальні витрати з урахуванням вартості самого генератора – 82 810,81 грн.

Для аналізу вартості енергії, яку не отримало підприємство через відключення, було взято тарифи на електроенергію, що встановлені компанією-постачальником. Для генератора Fogo F3001R вартість виробленої енергії склала 2 731,6 грн. Враховуючи споживання електричної енергії в обсязі 181,83 кВт·год, вартість енергії, яку генерує цей генератор, становить 40,11 грн за кВт·год, що в 4,8 рази більше, ніж ціна електроенергії, яку постачає компанія.

Для генератора Fogo FH6001, якщо використовувати його на номінальній потужності, вартість виробленої енергії за 181,83 мотогодини склала 8 498,3 грн, що в 3 рази більше, ніж вартість енергії, закупленої у постачальника.

Висновки. Використання бензинових електрогенераторів на підприємствах у разі частих вимкнень електроенергії спричиняє значні додаткові витрати, які включають не тільки витрати на паливо і обслуговування, але й амортизацію генератора.

Вартість електроенергії, виробленої генераторами, значно перевищує вартість електричної енергії, яку постачають комерційні енергетичні компанії. Це вказує на економічну неефективність використання генераторів в якості основного джерела енергії.

Як бачимо, для підприємств, які працюють в умовах частих відключень електроенергії, важливо проводити порівняльний аналіз витрат на генератори і закупівлю електроенергії, щоб визначити оптимальне співвідношення вартості та енергетичної ефективності.

ТЕПЛОВІ РЕЖИМИ ВЕНТИЛЬОВАНИХ СКЛОПАКЕТІВ

Один зі шляхів підвищення енергетичної ефективності віконних конструкцій полягає у використанні вікон в системі повітрообміну приміщення. Через вікна можна пропускати вентиляційне повітря з довкілля перед його надходженням в приміщення. В зимовий період року це сприяє підвищенню температури цього повітря. Можна також видаляти повітря з приміщення через віконні конструкції. При цьому частина теплової енергії, яка видаляється з приміщення разом з повітрям, частково повертається в приміщення. Але в обох випадках при використанні вікон в системі повітрообміну збільшуються дисипативні втрати теплоти через віконне скло. Тому варто визначити, наскільки застосування вентильованих вікон сприятиме збільшенню енергетичної ефективності будівлі у цілому з врахуванням зменшення втрат енергії в системі повітрообміну і збільшення дисипативних втрат теплоти через віконне скло. Для цього виконується чисельне моделювання перенесення теплоти через вентильовані двокамерні склопакети шляхом скінчено-різницевого розв'язання системи рівнянь гідродинаміки і теплообміну, до якої входять рівняння нерозривності, перенесення імпульсу та енергії для повітряного потоку, що рухається через камери склопакету, та рівняння теплопровідності для скла. На поверхнях скла задаються граничні умови четвертого роду, що враховують перенесення теплоти теплопровідністю між повітрям і склом і перенесення теплоти випромінюванням між сусідніми скляними поверхнями.

Геометричні розміри досліджуваного склопакета складають: товщина скла - 4 мм; відстань між зовнішнім і середнім склом - 10 мм, відстань між середнім і внутрішнім склом - також 10 мм. Висота склопакета 1,0 м; ширина 0,75 м. Скло не має низькоемісійних покриттів. В верхній частині зовнішнього скла знаходиться щілина висотою 66,7 мм для подачі вентиляційного повітря; у верхній частині внутрішнього скла також знаходиться щілина висотою 66,7 мм для випуску вентиляційного повітря. В нижній частині середнього скла є щілина висотою 53 мм, через яку повітря перетікає з зовнішньої камери двокамерного склопакета у внутрішню камеру. Повітря у зовнішню камеру подається зі швидкістю 0,02 м/с. Його температура дорівнює $-10,0^{\circ}\text{C}$.

Зовнішнє повітря подається через щілинний канал, що розташовується у верхній частині зовнішнього скла. Далі це повітря рухається донизу через зовнішню камеру склопакета. Потім воно потрапляє у внутрішню камеру і тече угору. Видаляється вентиляційне повітря через щілинний канал, що знаходиться у верхній частині внутрішнього скла. Оскільки в цих умовах температура газового середовища всередині склопакета виявляється нижчою, ніж у випадку звичайного двокамерного склопакета, обсяг дисипативної теплоти, що видаляється з приміщення через таке вентильоване вікно, буде більшим, ніж це мало б місце у випадку звичайного двокамерного склопакета. Розрахунок теплового режиму звичайного двокамерного склопакета з тими ж геометричними характеристиками і при тих же температурних умовах показує, що на поверхнях звичайного склопакета розподіли густин теплового потоку по зовнішній і внутрішній поверхнях практично рівномірні і складають $\sim 60 \text{ Вт/м}^2$. Розподіли теплових потоків по поверхнях склопакета, через який подається зовнішнє повітря, має більш складний характер (Рисунок

1 а). На зовнішній поверхні такого склопакета розподіл теплових потоків нерівномірний і має максимум в середній частині поверхні $q=53,76 \text{ Вт/м}^2$ (крива 1 на Рисунок 1а). У верхній і нижній частинах зовнішньої поверхні густини теплових потоків суттєво нижчі. Таким чином, в порівнянні зі звичайним склопакетом обсяг теплоти, що видаляється через зовнішнє скло, виявляється меншим, ніж через зовнішнє скло звичайного склопакета. Максимальне значення густини теплових потоків на внутрішній поверхні склопакета складає 110 Вт/м^2 , а мінімальні - $63,3 \text{ Вт/м}^2$. Отже через внутрішнє скло такого вентилязованого склопакета видаляється з приміщення значно більше теплоти, ніж у випадку звичайного склопакета. Водночас, якщо вентиляційне повітря подається в приміщення через вентиляований склопакет, то його температура на виході зі склопакета складає $\sim 5,86^\circ\text{C}$ і кількість теплоти, що вноситься в приміщення з повітрям, що пройшло через склопакет, на $21,46 \text{ Вт}$ більше, ніж у випадку, коли вентиляційне повітря подається безпосередньо з довкілля. Отже у випадку вентилязованого склопакета через внутрішнє скло втрачається на $7,24 \text{ Вт}$ більше теплоти, ніж у випадку звичайного склопакета, а вентиляційне повітря вносить в приміщення на $21,46 \text{ Вт}$ теплоти більше, ніж у випадку подача повітря безпосередньо з довкілля. Таким чином, при наявності вентиляційної системи в приміщенні більш ефективним виявляється вентиляований склопакет.

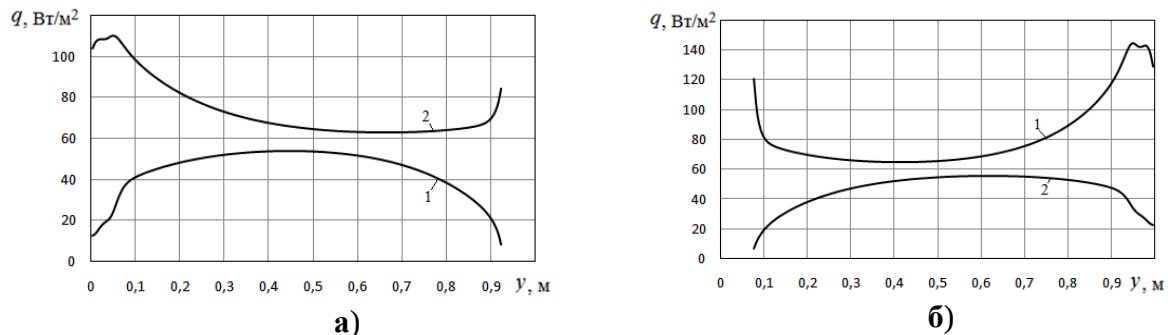


Рисунок 1 – Розподіли теплових потоків по зовнішній (1) і внутрішній (2) поверхнях склопакету, через який подається зовнішнє повітря (а), і склопакету, через який повітря видаляється з приміщення.

У випадку склопакета, через який повітря видаляється з приміщення, густина теплового потоку на внутрішньому склі буде меншою, ніж на поверхні звичайного склопакета, а на зовнішньому склі - більшою. На поверхні внутрішнього скла максимальне значення густини теплового потоку виявляється в її середній частині і складає $55,5 \text{ Вт/м}^2$ (крива 2, Рисунок 1 б). На поверхні зовнішнього скла мінімальні значення густини теплового потоку виявляються в її середній частині і складають $65,13 \text{ Вт/м}^2$. У верхній і нижній частинах поверхні зовнішнього скла густини теплового потоку збільшуються. Таким чином, дисипативні втрати теплоти з приміщення через внутрішнє скло склопакета будуть меншими, ніж у випадку звичайного склопакета, а втрати теплоти через зовнішнє скло - більшими. Частина теплоти видалятиметься також з нагрітим в приміщенні повітрям. Але якщо повітря видаляється з приміщення через вентиляований склопакет, втрати теплоти будуть меншими, ніж у випадку безпосереднього видалення повітря з приміщення в довкілля. Цей обсяг теплоти ($22,705 \text{ Вт}$), що заощаджується при видаленні повітря через склопакет, компенсує збільшення втрат теплоти (на $10,635 \text{ Вт}$) через зовнішнє скло у вентиляваному склопакеті.

Висновки. Застосування вентиляваних склопакетів доцільно з енергетичної точки зору при роботі системи повітрообміну приміщення. При подачі вентиляційного повітря з довкілля через вентиляований склопакет в приміщення додаткові дисипативні втрати теплоти через внутрішнє скло компенсуються збільшенням енергії вентиляційного повітря, яка отримується цим повітрям з самого склопакета. При видаленні повітря з приміщення

через вентиляований склопакет додаткові дисипативні втрати теплоти через зовнішнє скло компенсуються за рахунок зменшенням втрат теплоти з повітрям, що видається з приміщення в довкілля.

Ця робота виконана за підтримки Національного фонду досліджень України в рамках виконання проекту № 92/0172 «Аеродинаміка, теплообмін та інновації для підвищення енергоефективності віконних конструкцій і їх використання для відбудови пошкоджених війною будівель України».

Л. Д. Третьякова, д-р. техн. наук, професор, **ORCID 0000-0001-5244-746X**
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського»

С.В. Костриця, аспірант, **ORCID 0000-0002-7729-2844**
Київський національний університет імені Тараса Шевченка

SMART ТЕХНОЛОГІЇ В ОСВІТЛЕННІ ВИРОБНИЧИХ ПРИМІЩЕНЬ

Стрімкий розвиток «smart» технологій передбачає використання новітніх джерел освітлення, які мають можливості регулювання за інтенсивності та кольору світла впродовж дня, забезпечуючи зниження рівня електроспоживання та підвищення рівня працездатності через сприймання кольорів та синхронізацію робочого графіку з природних освітленням. Події осені 2022, зими 2023 та літа 2024 років під час обмеженого постачання електроенергії показали, що освітлення є важливим елементом сучасного життя, суттєво впливає на основні потреби людей: візуальний комфорт, який підвищує відчуття благополуччя та спокою; візуальну працездатність, що дає можливість забезпечити функціонування підприємств та організацій усіх галузей цілодобово; безпеку, зменшуючи ризики травматизму та виникнення аварій у житлових, адміністративних і виробничих будівлях.

Поряд з розумінням, що штучне освітлення – велике джерело електроспоживання та матеріальних витрат, потрібно звернути увагу на вплив систем освітлення на екологію. Міжурядовий експертний комітет зі змін клімату дійшов висновку, що обмеження у споживанні електроенергії системами освітлення є одним із заходів, який забезпечує найдешевші варіанти зменшення викидів діоксиду вуглецю. Найефективнішим способом зниження споживання електроенергії в системах освітлення є заміна ламп розжарювання і малоефективних ртутних ламп високого тиску на енергозберігаючі лампи, до яких нині відносять компактні люмінесцентні та світлодіодні LED-лампи [1].

Реалізація положень Smart home передбачає першочергово автоматичне керування енергозберігаючими інженерними системами всередині виробничих приміщень та назовні в межах робочої площадки. Керування освітленням – одна з найважливіших функцій Smart home, яка сприяє створенню комфортних умов споживачу та суттєвій економії спожитої електроенергії. Електронна пускорегулююча апаратура є новітнім напрямом під час проєктування та реалізації положень Smart home. Завдяки сучасним моделям регуляторів створюються гнучкі системи управління освітленням у різних приміщеннях чи окремих зонах будівлі та території [3]. Наприклад, можливо освітити приміщення повністю чи тільки окремі чергові зони з відеоспостереженням; плавно відрегулювати потік та яскравість освітлення; вимкнути світло в приміщеннях у неробочий час. Встановлення датчиків присутності чи руху в окремих зонах дає можливість регулювати інтенсивності освітлення залежно від переміщення в будівлі людей. Найдоцільніший варіант – це підключення до єдиної системи керування («multiroom», «multiway») усіх інженерних систем будівлі: освітлення, опалення, водо-, газопостачання, кондиціонування та вентиляцію. Підключення чергового (у неробочий час), охоронного та евакуаційного освітлення, які потрібно встановити на підприємствах і в організаціях відповідно до державних стандартів, можна достатньо просто здійснити в системах з автоматичним регулюванням. Під час відключення зовнішньої системи електропостачання спрацьовує система евакуаційного освітлення, яка під'єднана до автономного джерела живлення. Охоронна система освітлення, яку розміщують всередині та назовні, включається у темний період доби, що дає можливість ефективно працювати системам відеоспостереження.

Нині сформувався новий напрям у проєктуванні освітлення – світлодизайн [4]. Завдяки комбінованому розміщенню різноманітних світильників утворюються художньо-образні ефекти. Поряд з традиційними вимогами щодо систем освітлення (функціональність, енергозбереження, економічність) сучасні технології дають можливість

застосувати різноманітні ергономічні світильники, які мають: невеликі розміри, припасування кольорової гами світильників до кольорів інтер'єру; екологічні матеріали; легке очищення від пилу і виробничого бруду; різностильове дизайнерське виконання. Правильний вибір світлорозподілення основних і допоміжних освітлювальних приладів і конструктивного виконання світильників створює максимально можливий рівень комфорту та зручності. Прийомами світлодизайну створюються художньо-образні, культурні та функціональні відображення естетичних уподобань, використовуючи наявні технічні та економічні можливості. Наприклад, підходи світлодизайну реалізовано в приміщенні компанії «ЕРАМ». Встановлено комбіноване освітлення, в якому поєднано загальне верхнє світло, зональне освітлення робочих місць та чергове освітлення. Загальне освітлення (основне) запроєктовано у вигляді круглих світильників на вісім ламп; місцеве освітлення – вмонтовані світильники з двома лампами; чергове освітлення – точкові світильниками, які розташовано біля виходів з підсвіткою окремих архітектурних елементів інтер'єру вздовж проходів і спіральним охопленням усіх сходів. Розміщення світильників на різних ярусах створює просторове освітлення — найбільш комфортне для людини.

Проект з модернізації системи освітлення зазвичай передбачає заміну джерел світла, регулюючих пристроїв, світильників (у разі потреби) без заміни наявної електричної мережі. Модернізація систем освітлення, яка охоплює робоче і допоміжні види освітлення, дає можливість одночасно враховувати також і неелектричні ефекти (покращення умов праці, підвищення комфортності, відокремленості, зручності, безпеки тощо).

Рішення щодо здійснення модернізації приймають на підставі моніторингу енергетичних показників (рівень енергоспоживання) і світлотехнічних показників (відповідність рівня освітленості робочих місць нормативам). На промислових підприємствах та організаціях під час моніторингу показників системи освітлення, яка містить велику кількість функціональних груп світильників і схем їх вмикання та засобів регулювання, процес контролю та аналізу великих обсягів інформації суттєво ускладнюється. Вочевидь за таких умов застосування сучасних комп'ютерних програм є доречним. Досвід авторів у застосуванні комп'ютерної програми Microsoft Dynamics 365 Customer Engagement під час моніторингу засвідчив можливість отримання початкової інформації та її аналітичної обробки до створення проєкту модернізації освітлювальної системи підприємства, беручи до уваги всі можливі вимоги і чинники. Результати розрахунків засвідчили, що модернізацію системи освітлення потрібно виконувати за таких умов: вартість щорічної спожитої електроенергії перевищує вартість заміни ламп; світловий потік ламп у ході використання стає менш як 75 % від первісного значення.

Загальна ефективність освітлення визначається вимогами щодо енергозбереження та нормативними показниками освітленості. Натомість потрібно заохочувати споживачів до впровадження «smart» технологій, маючи на увазі, що споживча ефективність залежить від співвідношення між вартістю електротехнічного обладнання та вартістю щорічної споживаної електроенергії. Автори запропонували новий критерій вибору проєкту – коефіцієнт витрат, який поєднує фінансові та світлотехнічні показники, і розраховується за формулою:

$$K_v = \frac{I + W \cdot C}{\Phi \cdot T}, \quad (1)$$

де K_v – коефіцієнт, який визначає доцільність модернізації, грн/ (лм·год); I – початкові інвестиції в систему освітлення, грн; W – річні витрати електроенергії, квт·год; C – щорічна вартість електроенергії, грн/ (квт·год); Φ – світловий потік лампи, лм; T – термін служби лампи, год.

Критерій прийняття проєкту серед кількох варіантів вибирається з міркувань: якщо обчислений коефіцієнт виявляється меншим серед усіх розглянутих варіантів, такий проєкт вважається прийнятним і кращим варіантом для вкладання інвестицій.

Висновок. Проаналізовано наявні «smart» технології в системах виробничого

освітлення, впровадження яких дає можливість вирішити поставлені завдання – забезпечення сумісності нормативних вимог, світлотехнічних характеристик, електротехнічних параметрів, фінансових та ергономічних показників. Доведено, що основним способом реалізації поставлених завдань є використання «smart» технологій у проєктуванні з інтелектуалізацією електричних мереж. Запропоновано під час вибору проєкту з розробки чи модернізації системи освітлення орієнтуватися на коефіцієнт витрат, який об'єднує основні світлотехнічні і фінансові показники.

Література

1. Танкевич С.С., Блінов І.В., Кириленко В.В. Україна та світ: нормативне забезпечення інтелектуальних електроенергетичних систем за концепцією Smart Grid. Стандартизація, сертифікація, якість. 2014. № 4 (89). С. 38–44.
2. Мітяєв Д.М., Друбецька Т.І. Дослідження методів освітленості та розробка рекомендацій по їх покращенню. *Енергетика: економіка, технології, екологія*. 2023. № 1. С. 109–116.
3. Пускорегулююча апаратура. URL: <https://mirsveta.com.ua/ua/g17533880-puskoreguliruyuschaya-apparatura-pra>
4. Чирчик С. В. Світлодизайн у контексті сучасної наукової думки. *Деміург: ідеї, технології, перспективи дизайну*. 2018. 2, 18–29. URL: <https://doi.org/10.31866/2617-7951.2.2018.15466>

ОСОБЛИВОСТІ ПРОВЕДЕННЯ ЕНЕРГОАУДИТУ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ В КОНТЕКСТІ МІЖНАРОДНИХ СТАНДАРТІВ ЕНЕРГОАУДИТУ

Вступ. Енергетична ефективність електростанцій є одним із ключових аспектів сталого розвитку енергетичного сектору. Удосконалення процесів генерації електроенергії та мінімізація втрат енергії вимагають систематичного підходу до оцінки енергетичних процесів. Згідно з вимогами п.8 статті 10 закону України «Про енергетичну ефективність» [1] суб'єкти господарювання, що мають середній рівень річного енергоспоживання в обсязі 100 тисяч МВт·год на рік та вище, повинні провести перший енергетичний аудит (ЕА) протягом чотирьох років з дня набрання чинності цього закону, тобто до жовтня 2025 року. До числа таких суб'єктів господарювання відносяться в тому числі й електричні станції (ТЕС, ТЕЦ та АЕС) України. Наразі в Україні діє Порядок проведення та вимоги до енергетичного аудиту процесів та транспорту [2], який визначає процедури підготовки, проведення та оформлення результатів щодо ЕА процесів та транспорту, а також мінімальні вимоги до форми та змісту звіту та витягу із звіту з ЕА. Однак, даний Порядок формулює узагальнені вимоги до ЕА виробничих процесів, і не враховує специфіки ЕА електричних станцій.

Враховуючи сказане вище, в даній роботі пропонується розглянути деякі питання специфіки проведення ЕА саме електричних станцій з урахуванням міжнародних стандартів у сфері енергоаудиту.

Мета. Сформулювати комплексний підхід до проведення енергоаудиту електростанцій, що враховує міжнародний досвід та стандарти у сфері енергоаудиту, і може бути корисною для енергетичних підприємств та енергоаудиторів, що мають на меті проведення енергоаудиту електростанцій.

Основний матеріал. Енергетичний аудит електростанцій є дуже важливим інструментом з точки зору підвищення їх енергоефективності, економії ресурсів та зменшення шкоди навколишньому середовищу. Яка ж методична основа має бути покладена в основу процедури проведення ЕА електростанцій?

Фактично загальні вимоги щодо ЕА електростанцій визначені в цьому Порядку [2]. Проте, ні структура звіту з енергоаудиту, ні форма витягу із звіту з енергетичного аудиту не враховують специфіки енергоаудиту електростанцій. Тому, на наш погляд для електростанцій доцільно розробити свою методологічну базу для проведення енергоаудиту, яка б базувалась на міжнародному досвіді та стандартах у сфері енергоаудиту.

Згідно з Порядком [2] енергетичний аудит процесів проводиться з урахуванням вимог ДСТУ EN 16247-3:2015 [3] та інших національних стандартів, гармонізованих з європейськими стандартами у сфері енергетичного аудиту процесів, в межах, що відповідають меті енергетичного аудиту та його обсягу.

В той же час в [4] детально описано основні етапи проведення ЕА виробничих об'єктів за методологією міжнародного стандарту ISO 50002, який гармонізовано в Україні як ДСТУ ISO 50002:2016 [5], які охоплюють: визначення меж та обсягу аудиту; збір та аналіз даних щодо енергоспоживання обладнання; ідентифікація ключових джерел енергетичних втрат; розробка рекомендацій для підвищення енергоефективності.

Стандарт ДСТУ ISO 50002 пропонує універсальну методологію для проведення енергоаудиту, яка забезпечує детальний аналіз енергоспоживання і дозволяє ідентифікувати потенціал енергозбереження.

Електростанції мають складну структуру та високий рівень енергоспоживання, що обумовлює певні особливості проведення енергоаудиту, а саме збору та аналізу даних, а також ідентифікації ключових джерел енергетичних втрат в залежності від типу електростанції, ефективності турбін, генераторів, систем живлення та охолодження, а також зміни навантажень та сезонних коливань у виробництві електроенергії тощо. Крім того, особливу важливість в контексті розроблення методології ЕА електростанцій має бути приділено питанням визначення релевантних показників енергоефективності станцій, а також встановлення базового рівня енергоспоживання. Для вирішення цього завдання корисним може стати стандарт ДСТУ ISO 50006 :2016 [6].

Так як основною метою будь-якого енергоаудиту є визначення та кількісна оцінка можливостей підвищення рівня енергоефективності об'єкта, то для первинних енергоаудитів електростанцій доцільно

було б в методичних вказівках навести інформацію щодо типових можливостей підвищення рівня енергоефективності електростанцій. На нашу думку, до складу типових можливостей підвищення рівня енергоефективності електростанцій слід віднести можливості, пов'язані з експлуатацією теплових мереж, внутрішніх мереж розподілу електричної енергії та допоміжного обладнання. Запропонований перелік типових можливостей підвищення рівня енергоефективності для цих об'єктів та систем електростанцій показаний на рисунку 1.

Для кожного з цих типових можливостей підвищення рівня енергоефективності доцільно в методичних вказівках навести алгоритм проведення кількісної оцінки ефективності, що буде вимірюватись як у можливій кількості заощаджених енергоресурсів в результаті впровадження даної можливості на станції, так і періоді окупності інвестицій, необхідних для реалізації кожної з можливостей. Більш детально алгоритм проведення кількісної оцінки ефективності деяких можливостей підвищення рівня енергоефективності наведено у [7].

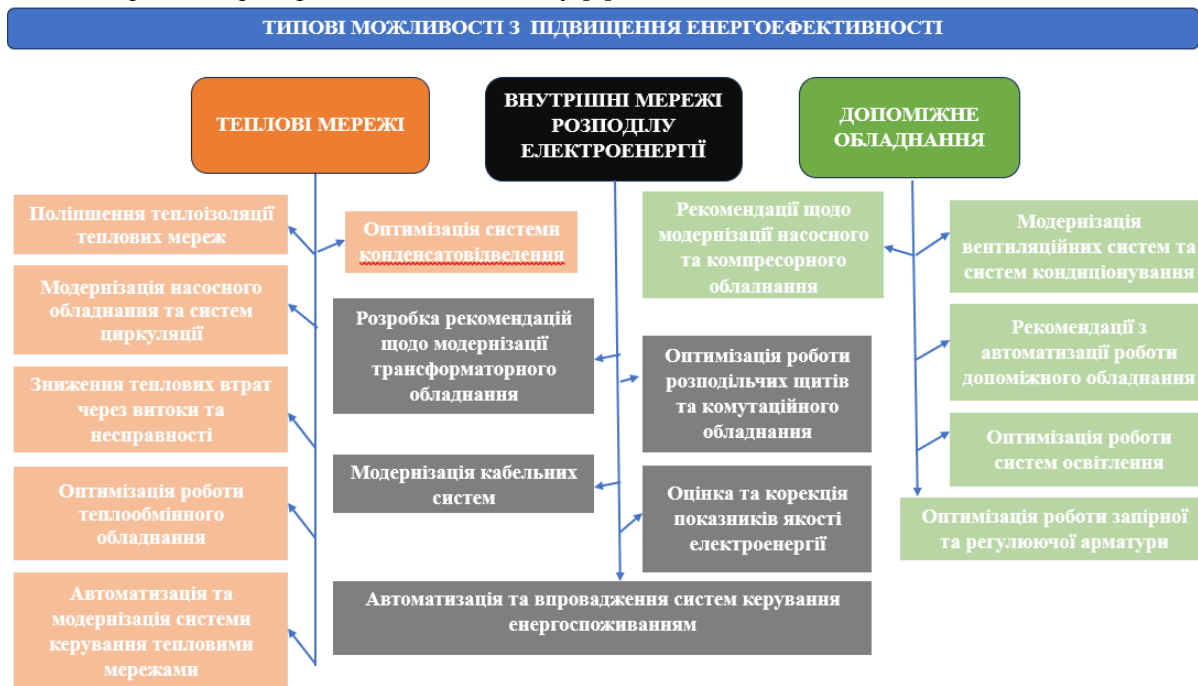


Рисунок 1 – Перелік типових можливостей підвищення рівня енергоефективності електростанцій

Висновки. Енергоаудит електростанцій є важливим інструментом зниження їх енергоспоживання та підвищення енергоефективності, оптимізації виробництва та використання електроенергії, зменшення негативного впливу на навколишнє середовище. Проведення енергоаудиту електростанцій у контексті стандарту ISO 50002 дозволяє забезпечити всебічний аналіз енергоспоживання, виявити слабкі місця в роботі обладнання, та ідентифікувати потенційні можливості підвищення енергоефективності.

Список використаної літератури

1. Про енергетичну ефективність: Закон України від 21.10.2021 р. № 1818-IX. Дата оновлення: 03.08.2022. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1818-20#Text> (дата звернення: 15.11.2024).
2. Порядок проведення та вимоги до енергетичного аудиту процесів та транспорту: Затверджено постановою Кабінету Міністрів України від 1 грудня 2023 р. № 1258. Дата оновлення: 01.12.2023. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1258-2023-%D0%BF#Text> (дата звернення: 15.11.2024).
3. ДСТУ EN 16247-3:2015 “Енергетичні аудити. Частина 3. Процеси (EN 16247-3:2014, IDT).
4. Практичний посібник з енергетичного аудиту промислових підприємств, А. Чернявський, А. Сафьянц, Н. Усенко, О. Соловей, О. Бориченко, П. Пертко, Ю. Шишко, А. Гоєнко// За загальною редакцією Н. Усенко та А. Чернявського. – К.: Проект «Консультавання підприємств щодо енергоефективності» Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH за дорученням Федерального міністерства економічного співробітництва та розвитку Німеччини (BMZ), 2020.
5. ДСТУ ISO 50002:2016 Енергетичні аудити. Вимоги та настанова щодо їх проведення (ISO 50002:2014, IDT).
6. ДСТУ ISO 50006:2016 Системи енергетичного менеджменту. Вимірювання рівня досягнутої/досяжної енергоефективності з використанням базових рівнів енергоспоживання та показників енергоефективності. Загальні положення та настанова (ISO 50006:2014, IDT).
7. ENERGY AUDIT MANUAL FOR THERMAL POWER PLANT (TPP). National Association of Regulatory Utility Commissioners (NARUC). URL: https://pdf.usaid.gov/pdf_docs/PA00ZX82.pdf

Бориченко О.В., канд. техн. наук, доцент
Чернявський А.В., канд. техн. наук, доцент
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського»

ПРОФЕСІЙНА ПІДГОТОВКА ЕНЕРГОАУДИТОРІВ АТОМНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ В КОНТЕКСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ СИСТЕМИ ЕНЕРГЕТИЧНОГО МЕНЕДЖМЕНТУ

Вступ. Сучасні виклики в енергетичному секторі, зокрема необхідність підвищення енергоефективності та зниження впливу на довкілля, зумовлюють активне впровадження систем енергетичного менеджменту (СЕМ) на об'єктах критичної інфраструктури, включаючи атомні електростанції (АЕС). Впровадження СЕМ відповідно до міжнародного стандарту ISO 50001 дає змогу оптимізувати споживання енергії, зменшити експлуатаційні витрати та підвищити енергетичну безпеку підприємств. Одним із ключових аспектів ефективного функціонування СЕМ є наявність кваліфікованих фахівців, здатних здійснювати енергоаудит, аналізувати енергетичні процеси та розробляти заходи з підвищення енергоефективності. Особливу роль у цьому процесі відіграють енергоаудитори, які повинні мати ґрунтовні знання з атомної енергетики, методів енергетичного аналізу та вимог нормативно-правових актів у сфері енергозбереження.

Мета роботи. Метою цієї статті є формування загальних вимог до професійної підготовки енергоаудиторів атомних електростанцій, структури та змісту навчальної програми, ключових компетенцій, які формуються у слухачів, а також практичних аспектів застосування отриманих знань для оцінки енергоефективності та розробки заходів з оптимізації енергоспоживання на АЕС.

Матеріал і результати дослідження.

Енергоаудит є ефективним засобом енергозбереження, що дозволяє визначити ефективність використання енергоресурсів, встановити місця їх основних втрат і намітити заходи з енергоефективності, що дозволять усунути ці втрати, а також визначити терміни виконання цих заходів та їх економічну ефективність. Професійний підхід до вирішення завдань енергозбереження дозволяє істотно, в деяких випадках в 2-3 рази, знизити витрати на експлуатацію обладнання та будівель. Відповідно до статті 10 Закону України «Про енергоефективність» [1] «...енергетичний аудит може здійснюватися енергетичним аудитором, що перебуває у трудових відносинах з підприємством, установою, організацією, в якій здійснюється енергетичний аудит, крім випадків, коли проведення енергетичного аудиту є однією з умов отримання державної підтримки».

Для якісної підготовки енергоаудиторів АЕС в 2024 році автори даної публікації, під егідою центру підготовки енергоменеджерів КПІ імені Ігоря Сікорського розробили курс «Теоретичні та практичні аспекти проведення енергетичних аудитів процесів», який був успішно апробованим для відокремлених структурних підрозділів АТ НАЕК «Енергоатом». Цільовою аудиторією тренінгу були: інженери-енергетики, технічні спеціалісти, менеджери з енергоефективності та інший персонал філій ВП АЕС («ВП ПАЕС», «ВП ХАЕС» та «ВП РАЕС»), що має необхідний рівень освіти для опанування тренінгового матеріалу.

Метою тренінгу було надання слухачам знань та практичних навичок, необхідних для проведення енергетичного аудиту на електростанціях з метою підвищення ефективності використання енергії, зниження витрат та мінімізації впливу на навколишнє середовище.

Основними завданнями тренінгу були: забезпечення персоналу необхідними теоретичними знаннями про принципи та методології енергоаудиту; розширення розуміння нормативно-правової бази та стандартів, що регулюють проведення енергоаудитів; навчання методам збору, аналізу та інтерпретації енергетичних даних на об'єктах атомної

енергетики; опанування інструментів та технік для визначення втрат енергії та оцінки енергоефективності обладнання; підготовка персоналу АЕС до ідентифікації проблемних зон у системах енергоспоживання та розробки практичних рішень для їх оптимізації; розвиток вмінь ідентифікувати та розробляти енергоефективні заходи для мінімізації втрат та підвищення ефективності використання енергії.

Програма навчання була розроблена з урахуванням сучасних вимог до професійної підготовки персоналу АЕС і спрямована на формування у фахівців компетенцій, необхідних для виконання повноцінного енергоаудиту на об'єктах атомної енергетики. Особливу увагу приділено практичним аспектам проведення енергетичних обстежень, впровадженню інноваційних енергоефективних технологій та розробці дієвих рішень для підвищення ефективності енергоспоживання енергії на власні потреби АЕС.

Навчання охоплювало основні теоретичні аспекти енергоаудиту, сучасні підходи до аналізу енергетичних систем, а також практичні заняття з використанням реальних даних та прикладів. Програма включала тематичні модулі, що дозволяли учасникам освоїти як базові знання, так і спеціалізовані методики, спрямовані на вирішення задач, які вирішуються енергоаудиторами в реальних умовах, а також аналіз нормативно-правових документів, технічних стандартів і міжнародного досвіду, що забезпечує високий рівень підготовки учасників тренінгу.

Для підготовки навчального матеріалу використовувались міжнародні та європейські стандарти з енергоаудиту та енергоменеджменту, які гармонізовані в Україні, галузеві методики з енергоаудиту, навчальні посібники, а також матеріал практичного посібника [2].

Програмою даного навчального тренінгу було передбачено:

- проведення теоретичного навчання (40 годин) на базі Центру підготовки енергоменеджерів КПП імені Ігоря Сікорського одночасного для усіх працівників, визначених Замовником;

- проведення практичного навчання (40 годин) для працівників Замовника, окремо для слухачів кожної філії ВП АЕС («ВП ПАЕС», «ВП ХАЕС» та «ВП РАЕС») за темою «Збір інформації для підготовки звітів з енергоаудитів процесів виробництва електричної енергії, виробництва, транспортування та постачання теплової енергії» (в межах, визначених Замовником), а також за темою «Порядок складання звітів з енергоаудитів процесів виробництва електричної енергії, виробництва, транспортування та постачання теплової енергії».

Особливістю даної програми є інтеграція реальних кейсів, сучасного програмного забезпечення для аналізу енергетичних показників, а також врахування специфіки роботи атомних електростанцій.

Для полегшення використання навчальних матеріалів тренінгу слухачами було створено окремий навчальний модуль на онлайн-платформі КПП імені Ігоря Сікорського, з можливістю постійного доступу до всіх навчальних матеріалів тренінгу, які розміщено на платформі.

Практична робота з навчання проведенню енергоаудиту на атомній електростанції є важливим етапом у формуванні професійних навичок з оцінки ефективності енергоспоживання. Вона дозволяє застосувати теоретичні знання та методики, отримані під час навчання, у реальних умовах, з урахуванням специфіки функціонування атомної енергетики.

Основною метою цієї роботи є навчання персоналу виконанню комплексного аналізу енергоспоживання власних потреб станції, виявлення втрат енергії та розробка практичних рекомендацій для їх усунення. Враховуючи високу відповідальність та складність атомних об'єктів, важливо не лише досягти економічної ефективності, а й забезпечити надійність та безпеку роботи систем.

Цей модуль навчання передбачав:

1. Проведення дистанційного практичного навчання (консультацій) за темами «Збір

інформації для підготовки звітів з енергоаудитів процесів виробництва електричної енергії, виробництва, транспортування та постачання теплової енергії» та вимогами «Порядку складання звітів з енергоаудитів процесів виробництва електричної енергії, виробництва, транспортування та постачання теплової енергії» (в межах, визначених Замовником) для всіх слухачів тренінгу. Були розглянуті як загальні аспекти збору інформації про об'єкт енергетичного аудиту, так специфічні аспекти збору інформації під час проведення енергоаудиту електростанцій із використанням звітних форм та макетів, які використовуються кожною філією ВП АЕС. Крім того, в процесі виконання практичного заняття було підготовлено шаблон звіту з енергетичного аудиту, адаптований під потреби кожної філії ВП АЕС (в межах, визначених Замовником).

2. Проведення практичного навчання на об'єктах енергетичного аудиту (в межах, визначених Замовником) за темою «Збір інформації для підготовки звітів з енергоаудитів процесів виробництва електричної енергії, виробництва, транспортування та постачання теплової енергії» з формулюванням конкретних реальних завдань щодо виконання збору інформації про об'єкт енергетичного аудиту окремо для слухачів кожної філії ВП АЕС («ВП ПАЕС», «ВП ХАЕС» та «ВП РАЕС»), а також розподіл між учасниками тренінгу завдань щодо підготовки окремих розділів звіту з енергетичного аудиту.

3. проведення в дистанційному режимі консультацій для слухачів кожної філії ВП АЕС («ВП ПАЕС», «ВП ХАЕС» та «ВП РАЕС») щодо виконання поставлених завдань зі збору інформації про об'єкт енергоаудиту, а також підготовки звітів з енергоаудитів процесів виробництва електричної енергії, виробництва, транспортування та постачання теплової енергії. Для виконання поставлених завдань за кожною філією ВП АЕС було закріплено два викладачі від КПП імені Ігоря Сікорського для наставництва та консультування. Зважаючи на часові обмеження у реалізації договору, на виконання цих завдань було виділено до 3 тижнів.

4. Проведення в очному режимі презентації та обговорення результатів проведення практичного задання з енергоаудиту кожної філії ВП АЕС («ВП ПАЕС», «ВП ХАЕС» та «ВП РАЕС») перед представниками ВП АЕС та викладачами КПП імені Ігоря Сікорського, що були залученими до проведення цього блоку практичного навчання.

Практична частина роботи базувалася на використанні сучасних методів аналізу, що включають інструментальні вимірювання, розрахунки та роботу з програмним забезпеченням. Крім того, особлива увага приділяється дотриманню стандартів безпеки, що є ключовим аспектом діяльності атомних електростанцій.

Слухачі тренінгу, які завершили тренінг і успішно склали підсумковий іспит, на практиці зможуть:

- приймати участь в проведенні комплексного енергетичного аудиту електростанції;
- самостійно збирати дані для енергоаудиту систем виробництва електричної та теплової енергії;
- застосовувати різні методи та інструменти для вимірювання та аналізу даних під час проведення енергетичних аудитів процесів на практиці;
- ідентифікувати ключові області для підвищення енергоефективності електростанції;
- розробляти рекомендації щодо підвищення енергоефективності електростанції;
- кваліфіковано готувати дані для підготовки звітів з енергоаудитів, а також витягів з них для ведення та оприлюднення бази даних витягів із звітів з енергетичного аудиту, незалежного моніторингу витягів із звітів з енергетичного аудиту, незалежної верифікації звітів з енергетичного аудиту, як це визначено в Порядку, затвердженому постановою КМУ від 19.01.2024 № 54.
- готувати звіти та витяги з них за результатами енергоаудитів та представляти їх керівництву;
- брати участь у сертифікаційних випробуваннях, що проводяться кваліфікаційними центрами, акредитованими Національним агентством кваліфікацій України за професійним

стандартом «Енергетичний аудитор процесів», затвердженого наказом Держенергоефективності від 16.04.2024 № 37-24, з метою отримання кваліфікаційного сертифікату енергетичного аудитора процесів.

Висновки та результати:

1. Учасники тренінгу успішно засвоїли теоретичний матеріал, оволоділи сучасними методиками енергоаудиту та отримали практичні навички аналізу енергоспоживання, що підвищує їхню здатність до самостійного проведення енергоаудитів на об'єктах атомної енергетики.
2. Завдяки інтеграції теоретичних знань, практичних кейсів та симуляцій, учасники набули системного розуміння процесу енергоаудиту, від збору даних до розробки рекомендацій.
3. Робота в групах сприяла розвитку комунікаційних навичок і здатності до командної співпраці, що є важливим елементом для виконання складних технічних завдань у реальних умовах.
4. Під час практичних завдань були розроблені рекомендації для покращення енергоефективності, які можуть бути адаптовані до умов конкретних атомних електростанцій.

Список використаної літератури

8. Про енергетичну ефективність: Закон України від 21.10.2021 р. № 1818-IX. Дата оновлення: 03.08.2022. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1818-20#Text> (дата звернення: 15.11.2022).
9. Практичний посібник з енергетичного аудиту промислових підприємств, А. Чернявський, А. Сафьянц, Н. Усенко, О. Соловей, О. Бориченко, П. Пертко, Ю. Шишко, А. Гоєнко// За загальною редакцією Н. Усенко та А. Чернявського. – К.: Проект «Консультавання підприємств щодо енергоефективності» Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH за дорученням Федерального міністерства економічного співробітництва та розвитку Німеччини (BMZ), 2020.

В.О. Ходаківський, аспірант, магістр теплоенергетики

<https://orcid.org/0009-0007-3237-3476>

Д.С. Карпенко, канд. техн. наук, молодш. науковий співробітник

<https://orcid.org/0000-0002-8022-9782>

Інститут загальної енергетики НАН України,
вул. Антоновича, 172, м. Київ, 03150, Україна;

ОЦІНЮВАННЯ РІВНЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ КОГЕНЕРАЦІЇ В СИСТЕМАХ З РОЗПОДІЛЕНОЮ ГЕНЕРАЦІЄЮ В УМОВАХ МОДЕРНІЗАЦІЇ ТА РЕЗЕРВУВАННЯ СИСТЕМИ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ

Останніми роками модернізація енергетичних систем та впровадження відновлюваних джерел енергії стали критично важливими для багатьох країн, зокрема України, Європейського Союзу та Китаю. В Україні ця проблема особливо актуальна через застарілі технології, нестабільні поставки палива та необхідність забезпечення енергонезалежності. Попит на тепло та електроенергію зростає, а стабільність енергосистеми під загрозою через нестабільну генерацію з ВДЕ та військові дії.

Сучасна українська енергосистема має значні проблеми зі старою інфраструктурою котелень та тепломереж, що ускладнює підтримання стабільного теплопостачання в багатьох регіонах країни. Це потребує впровадження нових підходів для забезпечення енергетичної стійкості та ефективності. Особливо важливим є дослідження можливості впровадження когенерації та міні-ТЕЦ на базі ОРС-циклів (органічний цикл Ренкіна (міні-ТЕЦ (ОРС)), які можуть бути оптимальними для виробництва тепла і електроенергії в невеликих містах або регіонах з обмеженими енергетичними ресурсами.

У дослідженні розглядається сучасний підхід до модернізації систем централізованого теплопостачання (ЦТ) в Україні з акцентом на впровадження когенераційних технологій (рисунк 1).

Огляд показує, що інтеграція когенераційних технологій, міні-ТЕЦ (ОРС), ВДЕ, енергоменеджменту та систем "Power-to-Heat" здатна не лише знизити викиди, а й підвищити стабільність тепло- та електропостачання України, що є критично важливим для відбудови та сталого розвитку галузі. Модернізація теплопостачання сприяє ефективнішому використанню теплової енергії та швидшій окупності інвестицій, оскільки, як зазначає [1-2], висока щільність теплового споживання прискорює повернення інвестицій, що підвищує конкурентність ДН-систем на тлі зростання цін на енергоносії.

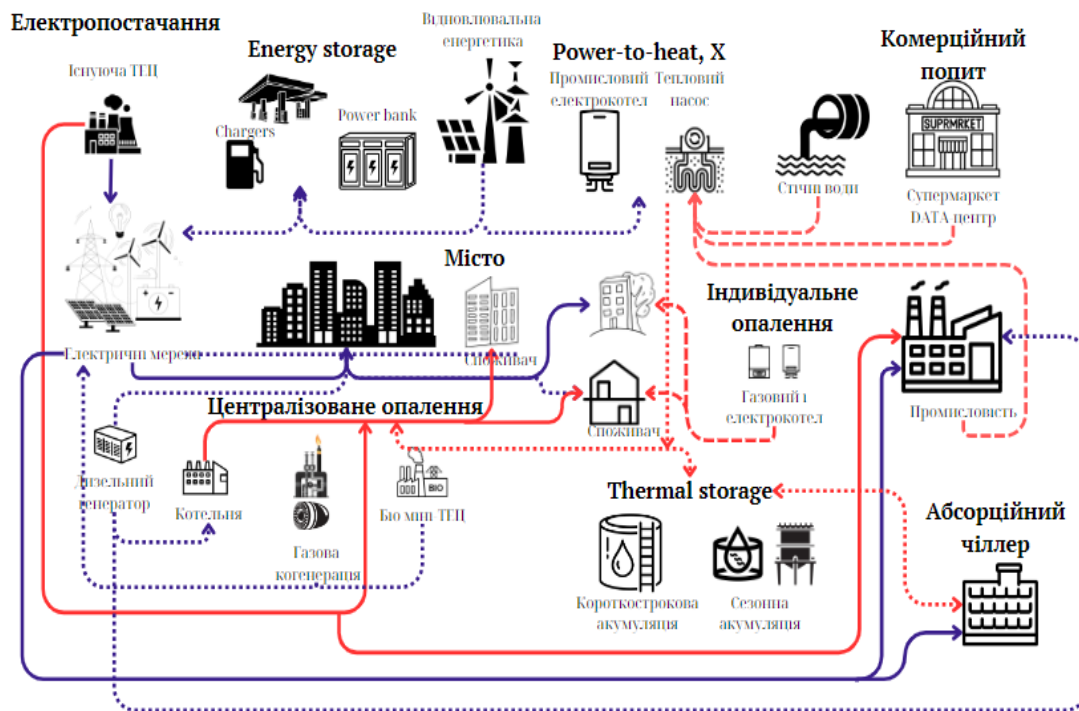


Рисунок 5 – Опис районної тепло- та електроенергетики. [розроблено автором]

Попри плани для передмістя Дрездена опалювати тепловими насосами, для України доцільнішим є застосування індивідуального опалення з використанням конденсаційних або твердопаливних котлів із природною циркуляцією і циркуляційним насосом на байпасі — системи, які були поширені в Україні до газифікації в 1990-х роках. Це рішення враховує нестабільність електропостачання, підтверджуючи тезу, що старі підходи можуть бути ефективними в нових умовах.

Тим часом більшість досліджень фокусується на традиційних системах, тоді як сучасні енергомережі потребують подальшого дослідження. В Україні собівартість опалення електричними котлами залишається високою, особливо з огляду на зростання цін на електроенергію. Газові котли є вдвічі дорожчими від когенераційних установок, що досягають понад 10% економії первинної енергії для великих СНР (>1 МВт) і 0% для малих СНР. Важливо модернізувати тепломережі для зниження втрат, що наразі перевищують нормативні 12%; у Бурштині знос тепломереж оцінюється на рівні 43,2%, що призводить до втрат у 18% [3-6].

Висновки:

В Україні, як і в Китаї, міжурядова співпраця може сприяти модернізації теплових мереж і впровадженню "розумних" систем опалення та охолодження. Місцеві органи влади повинні активно залучати фінансування з національного рівня для оновлення інфраструктури, що забезпечить додаткові ресурси для енергетичного переходу. Приклад Німеччини демонструє, що обов'язкове теплове планування сприяє декарбонізації та цифровізації теплопостачання, а міста можуть впроваджувати ініціативи, що підсилюють національні політики. [6-8]

Зважаючи на зростаючу потребу в охолодженні, міста повинні впроваджувати інноваційні рішення. Новітні технології не лише зменшують викиди, а й сприяють розвитку нових енергетичних галузей в умовах кліматичних змін. Планування розумної трансформації енергетики, опалення та охолодження може прискорити декарбонізацію та цифровізацію. Україна може запровадити обов'язкове планування тепла на муніципальному рівні, що дозволить швидко реагувати на зміни та реалізувати ініціативи для підтримки національних політик.

Міста можуть бути "лабораторіями" для тестування нових технологій, які, за успіху, можуть бути масштабовані для інших регіонів. Це сприятиме зменшенню викидів CO₂ і

розвитку енергетичних галузей. Однак швидкі зміни вимагають достатнього фінансування, яке має надаватися через спеціальні фонди з місцевих або національних бюджетів. Важливо забезпечити прозорість у розподілі субсидій для ефективного використання коштів та уникнення перевантаження бюджету. Впровадження когенераційних технологій є важливим для декарбонізації та забезпечення енергетичних потреб в Україні.

Перелік літератури:

1. Persson, U., & Werner, S. (2011). Heat distribution and the future competitiveness of district heating. *Applied Energy*, 88(3), 568–576. doi:10.1016/j.apenergy.2010.09.020
2. <https://www.nerc.gov.ua/news/nkrekp-sproshchuye-umovi-dlya-roboti-kogeneracijnih-ustanovok-yaki-vikoristovuyutsya-v-yakosti-rezervnogo-dzherela-energiyi-dlya-obyektiv-kritichnoyi-infrastrukturi>
3. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1320-2023-%D0%BF#Text>
4. USAID Проєкт енергетичної безпеки. (2024). Енергетичні комплекси на базі об'єктів муніципальної інфраструктури | Підсумковий семінар.
5. Teuffer, M. (2023). Dresden's district heating grid has managed without coal since 1997. Available online: <https://www.energatemessenger.com/news/232081/-dresden-s-district-heating-grid-has-managed-without-coal-since-1997-> (accessed on 17 June 2023).
6. Thomaßen, G., Kavvadias, K., & Jiménez Navarro, J. P. (2021). The decarbonisation of the EU heating sector through electrification: A parametric analysis. *Energy Policy*, 148(Part A), 111929. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2020.111929>.
7. Georg Thomaßen, Konstantinos Kavvadias, Juan Pablo Jiménez Navarro, The decarbonisation of the EU heating sector through electrification: A parametric analysis, *Energy Policy*, Volume 148, Part A, 2021, 111929, ISSN 0301-4215, <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2020.111929>. (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421520306406>)
8. Karpenko, D., & Yevtukhova, T. O. (2024). MARKET FEATURES OF HEAT PRODUCERS CONTRIBUTION TO LOSSES IN DISTRICT HEATING SYSTEM NETWORKS. General Energy Institute of NAS of Ukraine. <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2024.3.1/37>
9. Ковалко О. М., Ковалко Н. М., Євтухова Т. О., Новосельцев О. В. Комунальна теплоенергетика: енергоефективність, структура управління, енергосервісні послуги. Київ : НАН України, Ін-т заг. Енергетики. 2023. URL: <https://web.nlu.org.ua/object.html?id=2196>
10. Sun, H., Hirsch, H., & Xie, X. (2024). Smart heating and cooling systems for carbon-neutral cities: Policies and practices in Germany and China. *Journal of Infrastructure Policy and Development*, 8(9), 6842. doi:10.24294/jipd.v8i9.6842

В Попова І.О., канд. техн. наук, доцент
Квітка С.О., канд. техн. наук, доцент
Таврійський державний агротехнологічний університет
імені Дмитра Моторного

НАБУТТЯ ПРОФЕСІЙНИХ ЯКОСТЕЙ БАКАЛАВРАМИ- ЕНЕРГЕТИКАМИ В ПРОЦЕСІ НАВЧАННЯ

Головною метою модернізації освіти є посилення професійної підготовки бакалаврів-енергетиків, які були б здатні вирішувати виробничі, наукові завдання у тісному зв'язку із завданням збереження та збагачення людських цінностей.

Показниками професійно важливих якостей за [1, 2] є професійна позиція бакалавра-енергетика – система сформованих установок і ціннісних орієнтацій, ставлень і оцінок внутрішнього і оточуючого досвіду, реальності і перспектив, а також власні досягнення фахівця, які визначають його діяльність, поведінку, спілкування, місце і роль в службовій діяльності і повсякденному житті. Проаналізуємо досвід підготовки бакалавра-енергетика на прикладі теоретичних основ електротехніки (ТОЕ) і проблеми, у формування професійних якостей (компетентності) бакалавра-енергетика в процесі вивчення ТОЕ.

Професійна компетентність бакалавра-енергетика, в свою чергу, має наступну структуру: *загальнолюдська компетентність* (загальнокультурна, моральна, політична, соціальна, інформаційна, комунікативна, етична, екологічна, валеологічна); *загальнонаукова компетентність* (методологічна, теоретична, методична, дослідницька); *загальнопрофесійна компетентність* (загальнофахова, економічна, технічна, правова, психологічна, педагогічна); *фахова компетентність* (технологічна); *функціональна компетентність* (стратегічна, менеджерська, управління суб'єктами та об'єктами діяльності, виконавча); *особистісна компетентність* (мотиваційна, аутопсихологічна, регуляторна, адаптивна, навчальна).

Згідно нової парадигми освіти щодо підготовки бакалавра-енергетика, необхідно забезпечувати переосмислення досвіду їх підготовки, враховувати такі принципово нові підходи до її обґрунтування: розуміння необхідності обґрунтування методології формування професійних якостей, компетентності у бакалавра-енергетика у процесі його професійної підготовки у ЗВО; пошук адекватних теоретичних засад щодо дослідження педагогікою, психологією, філософією освіти, соціологією, інформатикою та юриспруденцією педагогічних явищ, які стосуються формування професійних компетенцій у бакалавра-енергетика в процесі його підготовки у ЗВО; розуміння необхідності формування професійних якостей, компетентності бакалавра-енергетика як під час навчальної, так і поза навчальної роботи; вивчення, систематизація і творче використання позитивного національного та світового досвіду підготовки бакалавра-енергетика; зміна стереотипів щодо сприйняття його особистості та усвідомлення необхідності формування його творчої особистості й основних видів компетентностей; інноваційне уявлення про місце, роль, завдання і функції сучасного фахівця-енергетика в системі суспільних, виробничих і міжособистісних стосунків у системі енергетики країни; розуміння необхідності принципово нової спрямованості педагогічних досліджень щодо підготовки бакалаврів-енергетиків до професійної діяльності [2].

Дисципліна ТОЕ спрямована на отримання здобувачами інформації щодо електромагнітних процесів в електричних і магнітних колах постійного і змінного струмів та в електрообладнанні, яке працює на постійному і змінному струмі та перехідних процесах, що відбуваються в них під час роботи. Дисципліна зорієнтована на вивчення електромагнітних процесів у лінійних і нелінійних колах постійного струму, лінійних й

нелінійних колах змінного струму та під час перехідних процесів в лінійних колах, необхідних для аналізу роботи електроенергетичного, електротехнічного та електромеханічного обладнання, відповідних комплексів і систем. Метою вивчення дисципліни є навчити бакалаврів-енергетиків методам розрахунку у електричних колах, відповідних перетворень енергії, в засвоєнні основних понять та законів, пов'язаних з практичним використанням електричних та магнітних явищ при перехідних процесах в лінійних електричних колах, оволодінні методами аналізу і основами розрахунку перехідних процесів в електричних колах постійного та змінного струмів та умінню використовувати їх для вирішення практичних проблем у професійній діяльності.

Завдання дисципліни полягає у засвоєнні сутності фізичних явищ та процесів, які відбуваються в нелінійних електричних і магнітних колах постійного і змінного струмів, основних законів нелінійних магнітних кіл, математичного запису законів електротехніки та одиниць вимірювання електричних і магнітних величин; методам аналізу електричних і магнітних кіл та перехідних процесів в колах. Для успішного засвоєння дисципліни ТОЕ необхідні знання, уміння й навички попередніх дисциплін: «Фізика» (розділ електрика та магнетизм), «Вища математика», «Електротехнічні матеріали». Під час вивчення ТОЕ бакалавр-енергетик набуває наступні загальні компетентності: здатність до абстрактного мислення, аналізу і синтезу; здатність застосовувати знань у практичних ситуаціях; здатність спілкуватися державною мовою; здатність виявляти, ставити та вирішувати проблеми.

Основною фаховою спеціальною компетентністю бакалавра-енергетика є здатність вирішувати практичні задачі із залученням методів математики, фізики та теоретичні основи електротехніки [3]. Результатами вивчення теоретичних основ електротехніки для здобувача-енергетика є: знати і розуміти теоретичні основи метрології та електричних вимірювань, принципи роботи пристроїв автоматичного керування, релейного захисту та автоматики, мати навички здійснення відповідних вимірювань і використання зазначених пристроїв для вирішення професійних завдань; здійснювати аналіз процесів в електроенергетичному, електротехнічному обладнанні, відповідних комплексах і системах; обирати і застосовувати придатні методи для аналізу і синтезу електромеханічних та електроенергетичних систем із заданими показниками; уміти оцінювати енергоефективність та надійність роботи електроенергетичних, електротехнічних систем; вміти самостійно вчитися, опановувати нові знання і вдосконалювати навички роботи з сучасним електрообладнанням, вимірювальною технікою та прикладним програмним забезпеченням; застосовувати придатні емпіричні і теоретичні методи для зменшення втрат електричної енергії при її виробництві, транспортуванні, розподіленні та використанні. Здобуття загальних і фахових компетенцій бакалаврами-енергетиками компетентності здійснюється за рахунок вивчення теоретичного матеріалу на лекційних заняттях, лабораторних роботах, де вони опановують електротехнічні терміни, визначення та символи; суть фізичних явищ в електротехніці; формулювання та математичні записи основних законів теоретичні основи електротехніки тощо. Отже, головним у набутті професійних якостей бакалаврами-енергетиками є реалізація компетентнісного підходу до розвитку їх фахової кваліфікації, що передбачає необхідність переходу від кваліфікації, яку бакалавр-енергетик здобуває один раз і назавжди, до компетентності, яка дозволяє мобільно змінювати професійну діяльність

Список використаних джерел

1. Пометун О. С. Компетентнісний підхід – найважливіший орієнтир розвитку сучасної освіти / Рідна школа. 2005. №1. С. 65-69.
2. Попова І. О., Квітка С. О. Взаємодія викладача і здобувача на основі партнерства у сучасній професійній освіті. *Удосконалення навчально-виховного процесу в закладах вищої освіти*: Зб. наук.-метод. праць ТДАТУ. Мелітополь : ТДАТУ, 2021. Вип. 24. С. 222-229.

3. Попова І. О., Квітка С. О. Формування дослідницької компетентності здобувачів-енергетиків ЗВО: *Енергетичний менеджмент: стан та перспективи розвитку - REMS'2023*. Збірник наук. праць IX Міжнародної науково-технічної конференції у місті Києві 22-24 листопада 2023 р. Київ, НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2023. С. 75-76.

УДК 621.311

Верпета Владислав Олександрович,

аспірант,

Інститут загальної енергетики НАН України, м.Київ

Запорожець Артур Олександрович,

д-р техн. наук, заступник директора з науково-організаційної роботи,

Інститут загальної енергетики НАН України, м.Київ

МОЖЛИВОСТІ NASA POWER ТА OPEN METEO ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ ГЕНЕРАЦІЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ СОНЯЧНИМИ ТА ВІТРОВИМИ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЯМИ В УКРАЇНІ

Зростання ролі відновлюваної енергетики в Україні вимагає нових підходів до управління генеруючими потужностями, особливо для сонячних електростанцій (СЕС) та вітрових електростанцій (ВЕС) [1]. Через вплив погодних умов на генерацію електроенергії від відновлюваних джерел точні метеорологічні дані стають основою для коректного прогнозування обсягів виробництва. Дві платформи, NASA POWER та Open Meteo, пропонують важливі інструменти для цієї мети. NASA POWER надає довгострокові кліматичні дані для оцінки середніх показників та тенденцій, в той час як Open Meteo забезпечує короткострокові погодні прогнози, необхідні для оперативного планування роботи електростанцій. Нижче наведено порівняння функцій і потенційних переваг обох платформ у контексті їх застосування для прогнозування генерації електроенергії в умовах України.

NASA POWER (Prediction Of Worldwide Energy Resources) розроблений для задоволення потреб щодо метеорологічних даних у сфері відновлюваної енергетики, сільського господарства, будівництва і транспорту. Дані включають щоденні та щомісячні показники сонячної інсоляції, температури, вологості, швидкості і напрямку вітру. Однією з ключових переваг NASA POWER є його довгостроковий термін охоплення даних (декілька десятиліть), що дозволяє здійснювати стратегічне планування генерації, оцінювати довгострокові кліматичні тренди і, таким чином, прогнозувати виробництво електроенергії на СЕС і ВЕС [2]. Наприклад, дані NASA POWER можуть відобразити середній рівень сонячного випромінювання на певній території України, що є важливим для попередньої оцінки потенціалу будівництва нових станцій або розширення існуючих потужностей.

З іншого боку, Open Meteo надає актуальні прогнози погоди на короткий проміжок часу з частими оновленнями та значно кращою роздільною здатністю [3]. Це дає можливість прогнозувати швидкі зміни у погодних умовах, що є важливим для щоденного управління операційною діяльністю СЕС та ВЕС. Дані включають прогноз температури, опадів, швидкості та напрямку вітру, інсоляції, що можуть бути використані для

короткострокового прогнозування. Унікальність Open Meteo полягає у локальній адаптації прогнозів до конкретного регіону, що дозволяє враховувати навіть мінімальні коливання погоди, що можуть значно вплинути на короткострокове виробництво енергії [4]. Наприклад, якщо спрогнозувати різке зниження швидкості вітру в наступні години, оператори ВЕС можуть врахувати цей фактор при розрахунку обсягів генерації і коригувати план роботи установок.

Точність прогнозування є критичним фактором для операторів СЕС і ВЕС, оскільки погодні коливання можуть істотно впливати на обсяги генерації. NASA POWER і Open Meteo використовують різні підходи до збору та аналізу метеорологічних даних, які разом можуть забезпечити надійний прогноз. Довгострокові дані NASA POWER дозволяють отримати загальну картину сонячної інсоляції та середньої швидкості вітру на території України, що важливо для стратегічного планування та розробки інвестиційних проектів. У довгостроковій перспективі, ці дані дозволяють створити кліматичний профіль певного регіону і оцінити середній рівень продуктивності СЕС та ВЕС впродовж року [5].

Зимовий період в Україні особливо ускладнює планування через часті зміни в погодних умовах, такі як раптові зниження температури, зміни напрямку і швидкості вітру, а також зменшення інсоляції. Використання обох платформ синхронно дозволяє отримати більш повну картину: NASA POWER забезпечує середньо- та довгострокові дані для аналізу тенденцій, тоді як Open Meteo надає поточну інформацію, що є актуальною для управління станціями щоденно.

Одна з ключових переваг комбінованого підходу — можливість інтеграції даних NASA POWER та Open Meteo в єдину систему моніторингу й управління. Це дозволяє створити багаторівневий прогнозний механізм, що поєднує довгострокову стабільність із короткостроковою гнучкістю. Наприклад, на основі багаторічних даних про сонячну інсоляцію та середню швидкість вітру від NASA POWER можна визначити загальний потенціал для СЕС і ВЕС в конкретному регіоні України. Це забезпечує основу для розрахунку річної генерації та дозволяє краще розподілити інвестиції й ресурси для підтримки безперебійної роботи.

Завдяки оперативності даних Open Meteo, комбінований підхід також дозволяє покращити управління в реальному часі, що є особливо важливим у випадках різких змін погодних умов. Наприклад, якщо прогноз Open Meteo вказує на очікувану зміну швидкості вітру або зниження рівня сонячного випромінювання, оператори можуть заздалегідь скоригувати налаштування генерації для оптимізації продуктивності. У випадку з ВЕС, знання про майбутнє підвищення швидкості вітру дозволяє знизити ризик перевантаження системи, а для СЕС — передбачити можливе падіння виробництва під час похмурих днів і підготувати резервні потужності.

Крім того, комбіноване використання даних обох платформ дає змогу застосовувати методи машинного навчання для прогнозування генерації з високою точністю. Завдяки поєднанню історичних кліматичних даних і актуальних погодних прогнозів можна розробити адаптивні моделі, які автоматично налаштовуються під змінні погодні умови. Це сприяє стабілізації роботи генерації, знижує потребу в додаткових резервних потужностях, зменшує втрати та підвищує економічну ефективність.

Окрім того, такий підхід допомагає краще координувати роботу з центральною енергосистемою, знижуючи навантаження на мережу в пікові періоди. Зокрема, за допомогою прогнозів можна прорахувати періоди можливого дефіциту або профіциту енергії і завчасно скорегувати роботу установок. Це особливо актуально в умовах інтеграції відновлюваних джерел енергії в загальну мережу, де надмірні коливання у генерації можуть спричинити нестабільність. Використання даних NASA POWER для базового стратегічного планування у поєднанні з оперативними коригуваннями на основі прогнозів Open Meteo дозволяє досягти максимальної надійності та гнучкості.

Нарешті, важливою перевагою комбінованого підходу є можливість точнішої оцінки

екологічних переваг використання СЕС і ВЕС. Оптиміальне планування та корекція обсягів генерації дозволяють знизити необхідність у додаткових викидах від традиційних енергетичних джерел, коли відновлювані джерела не можуть покрити попит. Це сприяє зниженню вуглецевого сліду та посиленню екологічних показників регіону.

Таким чином, об'єднання можливостей NASA POWER та Open Meteo надає операторам СЕС і ВЕС інструменти для підвищення стабільності й ефективності генерації, а також дозволяє краще адаптуватися до нестабільних погодних умов, забезпечуючи енергетичну безпеку і сталий розвиток відновлюваних джерел енергії в Україні.

Список використаних джерел

1. Розподілена генерація: енергетичний щит України в умовах війни. Державна інспекція енергетичного нагляду України, 7.06.2024. Url: <https://sies.gov.ua/news/rozpodilena-heneratsiia-enerhetychnyi-shchyt-ukrainy-v-umovakh-viiny> (дата звернення 30.10.2024)
2. Sayago S. et al. Daily solar radiation from NASA-POWER product: assessing its accuracy considering atmospheric transparency //International Journal of Remote Sensing. – 2020. – Т. 41. – №. 3. – С. 897-910.
3. Rodríguez L. R. et al. Forecasting urban temperatures through crowdsourced data from Citizen Weather Stations //Urban Climate. – 2024. – Т. 56. – С. 102021.
4. Amoura Y. et al. A Statistical Estimation of Wind Data Generation in the Municipality of Bragança, Portugal //2023 13th International Conference on Power, Energy and Electrical Engineering (CPEEE). – IEEE, 2023. – С. 506-514.
5. Rosa S. L. K., Souza J. L. M., Santos A. A. Data from NASA Power and surface weather stations under different climates on reference evapotranspiration estimation //Pesquisa Agropecuária Brasileira. – 2023. – Т. 58. – С. e03261.

УДК 621.311

Лунін М.М, аспірант
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

МОДЕЛЬ ОПТИМАЛЬНОЇ РОБОТИ ЕНЕРГОСЕРВІСНОЇ КОМПАНІЇ

Вступ. Енергосервісні компанії мають виражену сезонність роботи, та грошових надходження, що пов'язане з специфікою роботи та енергосервісу у цілому. В свою чергу це несе певні ризики та виклики для підприємства. Розглянуто можливу оптимальну модел роботи енергосервісної фірми, у якій ці ризики значно зменшуються, або нівелюються взагалі.

Метою роботи є створення моделі оптимальної роботи ЕСКО компанії, що ґрунтується на диверсифікації надходжень шляхом впровадження заходів з енергозбереження на об'єктах комунальної власності.

Матеріал та результати дослідження. Співпраця з енергосервісними компаніями (ЕСКО) є одним з найбільш дієвих та ефективних механізмів залучення коштів у термомодернізацію об'єктів комунальної сфери. Енергосервісні контракти переважно включають в себе заходи із скорочення споживання теплової енергії. 90% контрактів з енергосервісу — встановлення або модернізація індивідуальних теплових пунктів (ІТП) на об'єктах з централізованим опаленням. Це пов'язано передусім з інвестиційно привабливим строком окупності таких проєктів, який становить два-три роки. Середня ціна ЕСКО-договорів становить майже 1 млн грн з середнім строком 6,5 років та фактично досягнутою середньою економією енергоресурсів 35%. У середньому досягнута економія

розподіляється 90/10, де 90% сплата ЕСКО, 10% — економія бюджету[1,2]. Однак, така практика несе в собі певну «сезонність» роботи підприємства, коли компанія отримує дохід від реалізації енергосервісу тільки під час опалювального сезону. На рисунку 1 показано середньостатистичний щорічний грошовий потік ЕСКО компанії від встановлення теплового пункту в об'єкті комунальної власності - дитячому садку.

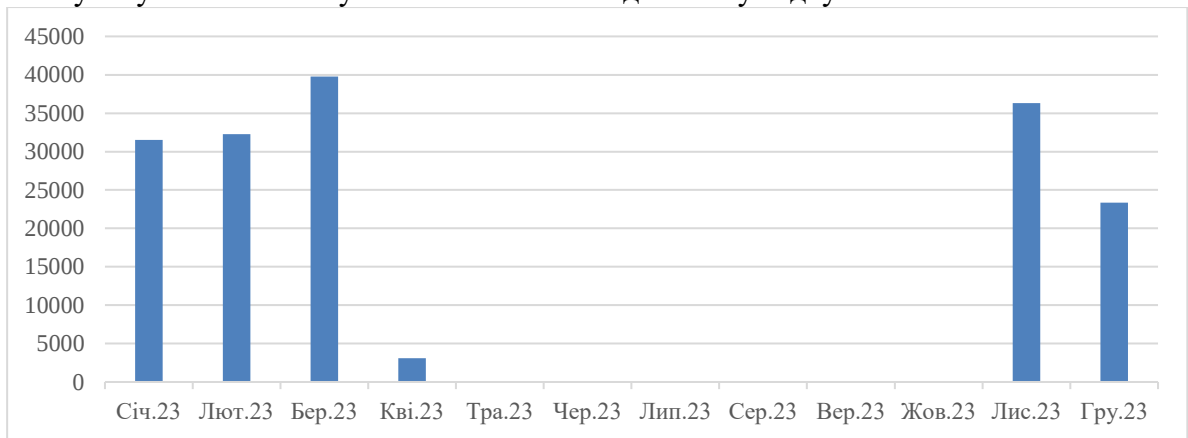


Рисунок 1. Надходження коштів за оплату енергосервісу ЕСКО компанії

Така сезонність роботи підприємства, що характерна для компаній, які займаються енергосервісом, призводить до того, що дохід надходить протягом опалювального сезону. Це створює певні виклики для фінансової стабільності таких компаній, оскільки більшу частину року вони змушені працювати з обмеженим потоком коштів. Щоб зменшити вплив сезонності, підприємства можуть шукати способи диверсифікації доходів. Одним із можливих способів диверсифікації доходів може слугувати впровадження сонячної електростанції для скорочення споживання електричної енергії на об'єкті енергосервісу. Це дасть змогу отримувати дохід і в весняно-осінній період, коли споживання теплової енергії відсутнє. Найпростіший розрахунок надходжень від СЕС можна здійснити за допомогою програмного продукту PHOTOVOLTAIC GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM (PVGIS 5.3)[3]. За допомогою цього сервісу можливо розрахувати генерацію електричної енергії сонячною електростанцією заданою встановленою потужністю. На рисунку 2 зображено графік надходжень коштів від генерації електричної енергії СЕС встановленою потужністю 50 кВт на географічній широті міста Києва. Тариф на електричну енергію приймається 7,17 грн/кВт*год [4].

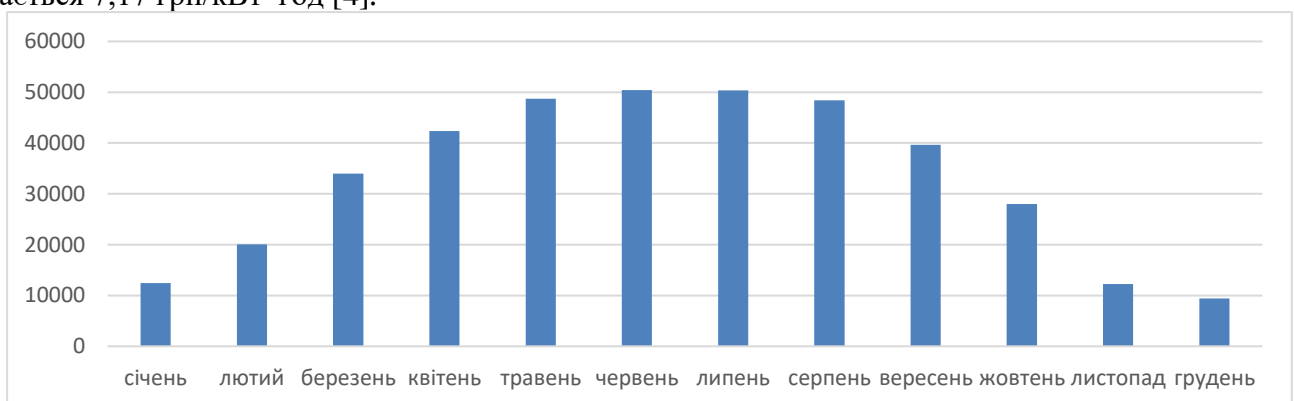


Рисунок 2. Надходження коштів за генерацію електроенергії СЕС, грн

На рисунку вище помітна «сезонність» надходжень коштів, що напряму залежить від специфіки роботи сонячної електростанції. Однак, у випадку роботи ЕСКО компанії як у сфері скорочення споживання теплової енергії, так і у сфері скорочення споживання електричної енергії, шляхом заміщення споживання з мережі СЕС, така сезонність може нівелюватися, та графік надходження коштів може вирівнятися. Окрім цих можливостей, в Україні діє енергосервісний договір зі скорочення споживання електроенергії шляхом модернізації системи вуличного освітлення. На рисунку нижче показано надходження

коштів від реалізації такого проєкту.

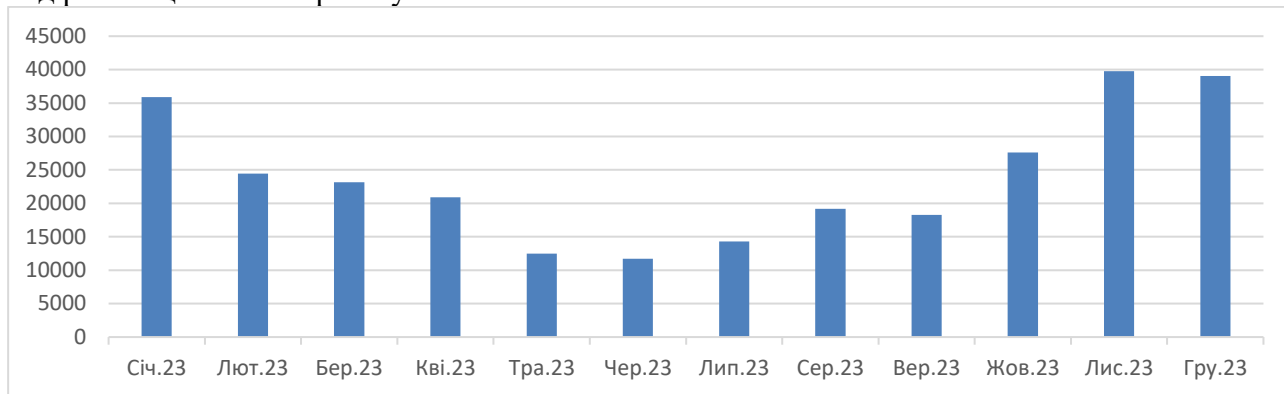


Рисунок 3. Надходження від реалізації ЕСКО у системі вуличного освітлення, грн
Сумарно, надходження від реалізації даних трьох проєктів мають компенсувати їхню сезонність (рис.4). Таким чином, ЕСКО компанія позбудеться обмеженості потоку коштів, та диверсифікує свої прибутки.

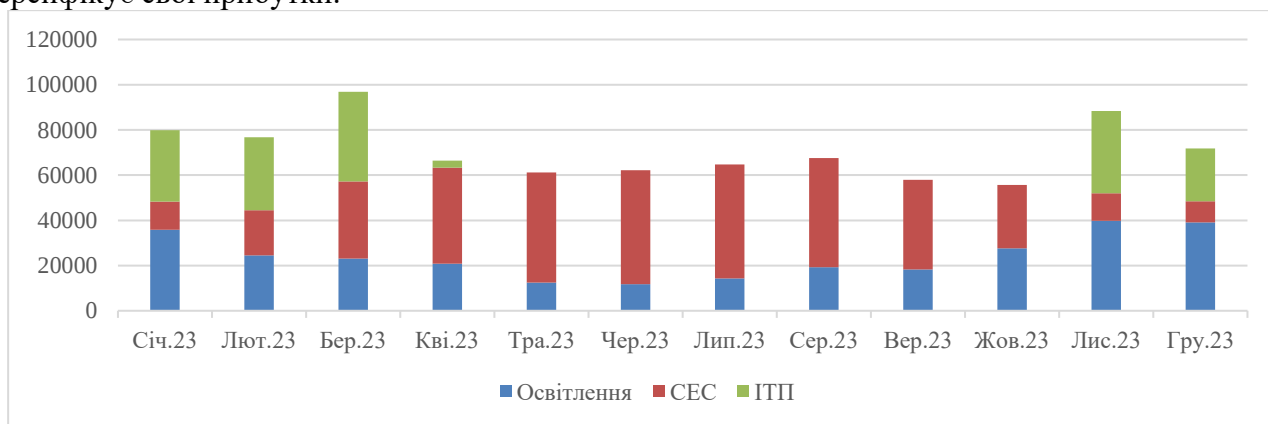


Рисунок 4. Графік надходження коштів за умови комплексної реалізації проєктів з енергозбереження

За умови достатнього фінансування проєктів можливо досягти відносно рівномірного графіку надходження коштів за енергосервісу. Це і може розглядатися як оптимальний режим роботи ЕСКО компанії, коли основний виклик, пов'язаний із сезонністю роботи нівелюється. SWOT аналіз даного режиму роботи енергосервісної компанії показано у таблиці 1.

Strengths - Зменшення або зникнення фактору сезонності роботи енергосервісу - Збільшення грошових надходжень - Можливість оперування коштами, та залучення їх в нові інвестиції	Weaknesses - Значне початкове фінансування проєктів - Більший період окупності - Ризик низького попиту на конкретні види енергосервісу
Opportunities - Розширення роботи за рахунок якості реалізації комплексних проєктів - Партнерство з державними програмами, в тому числі кредитування - Зростання попиту на проєкти компанії	Threats - Конкуренція з іншими компаніями - Політична нестабільність - Зміни в законодавстві, регулюванні тощо

Таблиця 1. SWOT аналіз моделі роботи енергосервісної фірми

Висновки. Впровадження комплексних заходів з енергозбереження допоможе ЕСКО компаніям нівелювати ризики, пов'язані із сезонністю роботи підприємства, розширити функціонал наданих послуг, підвищити престиж фірми, а також збільшити свої прибутки. Однак для цього необхідно більше фінансування та готовність закладів та установ співпрацювати у цьому напрямку.

Список використаних джерел.

1. Енергосервіс - засіб досягнення економії енергоресурсів та вибір прогресивних міст. Сєверодонецька міська рада. URL: https://www.sed-rada.gov.ua/novini-mista/energoserbis-zasib-dosyagnennya-ekonomiyi-energoresursiv-ta-vibir-progresivnih-mist_27-07-2021.
2. ЕСКО-механізм працює в Одесі - КиївЕСКО. КиївЕСКО | Енергосервісні договори. URL: <http://kyivesco.com/esko-mehanizm-praczyuye-v-odesi/>.
3. JRC Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS) - European Commission. URL: https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/#TMY.
4. Електрична енергія - НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ "КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО. prozorro.gov.ua. URL: <https://prozorro.gov.ua/tender/UA-2024-10-30-012900-a>

References

1. Energy service is a means of achieving energy savings and a choice of progressive cities. Sievierodonetsk City Council. URL: https://www.sed-rada.gov.ua/novini-mista/energoserbis-zasib-dosyagnennya-ekonomiyi-energoresursiv-ta-vibir-progresivnih-mist_27-07-2021.
2. The ESCO mechanism works in Odesa - KyivESCO. KyivESCO | Energy service contracts. URL: <http://kyivesco.com/esko-mehanizm-praczyuye-v-odesi/>.
3. JRC Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS) - European Commission. URL: https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/#TMY.
4. Electricity - National Technical University of Ukraine 'Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute'. prozorro.gov.ua. URL: <https://prozorro.gov.ua/tender/UA-2024-10-30-012900-a>

УДК 621.311

Лунін М.М, аспірант
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

**ПРОГНОЗУВАННЯ ОБСЯГІВ СПОЖИВАННЯ ПАЛИВНО –
ЕНЕРГЕТИЧНИХ РЕСУРСІВ У СИСТЕМІ ЕНЕРГОМОНІТОРИНГУ**

Вступ. Прогнозування споживання паливно-енергетичних ресурсів дозволить не

лише визначити обсяги майбутнього споживання, але й покращити ефективність використання ресурсів, мінімізувати перевитрати а також впровадити ліміти споживання.

Метою роботи являється прогнозування обсягів споживання ПЕР у системах енергомоніторингу на основі аналізу історичних даних, отриманих із системи.

Матеріал і результати дослідження. Системи енергетичного моніторингу дозволяють накопичити статистичні дані, що необхідні для розрахунку споживання ПЕР. Розглянемо приклад прогнозування споживання електричної енергії на 2025 рік об'єктом комунальної власності – корпусом лікарні. Дані про помісячне споживання було отримано з системи енергетичного моніторингу. Прогнозування місячних обсягів споживання електроенергії, першочергово, виконувалось на аналізі статистичних даних за період 2021-2023 років. Після цього використовувалися методи регресійного аналізу для створення прогнозів. У дослідженні застосовувалися різні типи регресійних моделей, включаючи лінійну, експоненційну, логарифмічну, степеневу та поліноміальну (другого порядку). Оцінка якості кожної моделі здійснювалась шляхом визначення коефіцієнтів детермінації (R^2) та коефіцієнта кореляції. Коефіцієнт детермінації показує наскільки добре використана модель відповідає статистичним даним. Коефіцієнт кореляції використовується для оцінки лінійного ступеня залежності між наборами даних.

Таблиця 1 - Значення коефіцієнта детермінації R^2 та коефіцієнта кореляції для різних регресійних моделей (за помісячними даними за 2021 – 2023 рр.)

№	Назва функції	Коефіцієнт детермінації R^2	Коефіцієнт кореляції
1.	Лінійна функція	0,293	0,541
2.	Експоненційна функція	0,275	0,525
3.	Логарифмічна	0,512	0,715
4.	Степенева функція	0,493	0,702
5.	Поліноміальна функція (2 порядку)	0,117	0,342

Помісячні графіки відповідних регресійних моделей наведені на рисунку 1.

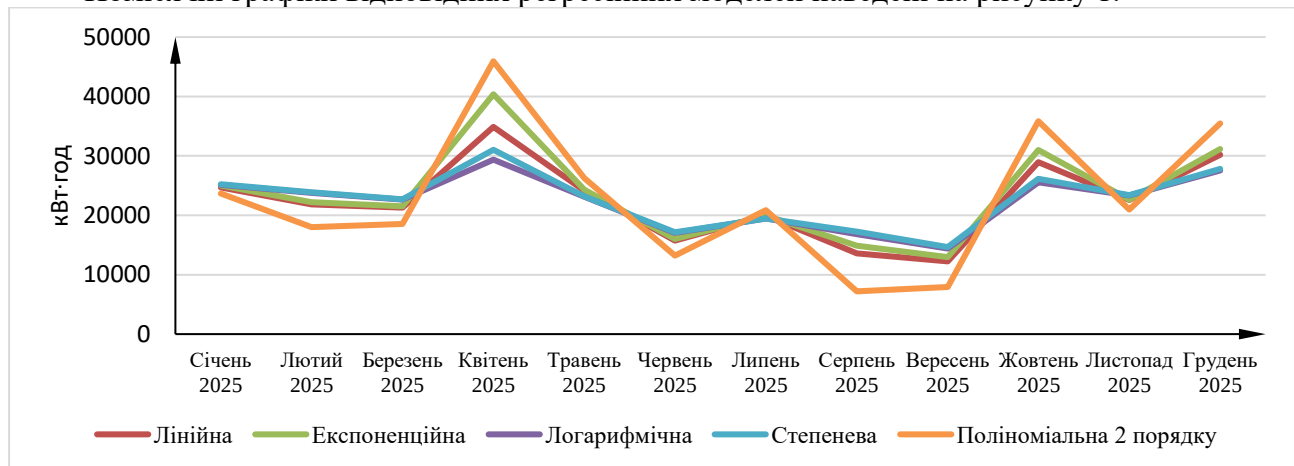


Рисунок 1. Прогнозні помісячні обсяги споживання електричної енергії для різних регресійних моделей на 2025 рік, МВт·год

З огляду на те, що логарифмічна регресійна модель показала найвищі значення коефіцієнтів детермінації та кореляції серед усіх розглянутих варіантів, саме її було обрано для прогнозування споживання електроенергії на 2025 рік (рисунк 2).

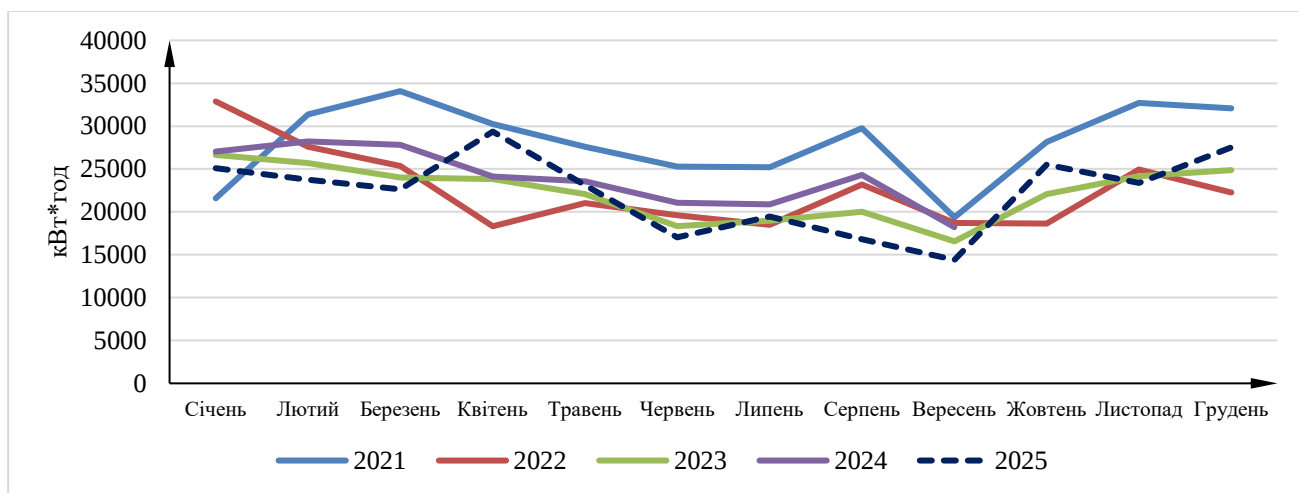


Рисунок 2. Фактичні (2021 – 2024 рр.) та прогнозні (2025 р.) помісячні обсяги споживання електричної енергії, кВт*год

Таблиця 1 - Фактичні (2021 – 2024 рр.) та прогнозні (2025 р.) обсяги споживання електричної енергії , кВт*год

	2021	2022	2023	2024	2025
Січень	21600	32880	26640	27040	25092
Лютий	31360	27600	25680	28213	23760
Березень	34080	25360	24000	27813	22640
Квітень	30240	18320	23840	24133	29360
Травень	27600	21040	22080	23573	23120
Червень	25280	19600	18320	21067	17040
Липень	25200	18480	18960	20880	19440
Серпень	29760	23200	20000	24320	16800
Вересень	19360	18720	16560	18213	14400
Жовтень	28160	18640	22080		25520
Листопад	32720	24960	24160		23360
Грудень	32080	22240	24880		27520

Висновки. Прогнозування обсягів споживання паливно – енергетичних ресурсів дозволяє перетворити систему енергетичного моніторингу в інструмент аналітики та прогнозування. Якщо інструменти аналітики впровадити в майбутню Національну систему моніторингу енергоефективності[1], це дасть змогу державним органам та установам прогнозувати споживання ПЕР на своїх об’єктах.

Список використаних джерел

1. Про енергетичну ефективність : Закон України від 21.10.2021 № 1818-IX : станом на 18 верес. 2024 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1818-20#Text>

References

1. On energy efficiency: Law of Ukraine of 21.10.2021 No. 1818-IX: as of 18 September. 2024 URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1818-20#Text>.

МОДЕЛЮВАННЯ СТРУКТУРНОЇ ТРАНСФОРМАЦІЇ ОБ'ЄДНАНОЇ ЕНЕРГОСИСТЕМИ УКРАЇНИ У ПЕРІОД ПОВОЄННОГО ВІДНОВЛЕННЯ

Вступ

Об'єднана енергосистема (ОЕС) України потребує структурних змін внаслідок сучасних тенденцій поступової відмови від викопного палива і значного зростання генерації електроенергії за рахунок відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) - сонячної та вітрової енергії, а також біоенергетики. В той же час склад і структура енергосистеми зазнали значних змін внаслідок втрат через російську військову агресію. Для довоєнної структури генеруючих потужностей ОЕС України характерні надлишок базових атомних (АЕС) та теплових електростанцій (ТЕС) і значний дефіцит маневрових потужностей генерації. Проблема значно ускладнилась в останні роки після початку дії законів про «зелений тариф», що призвели до швидкого впровадження генеруючих потужностей ВДЕ без одночасного вводу регулюючих потужностей. Після початку російської повномасштабної агресії в лютому 2022 р. енергетика України зазнала значних втрат. Змінилась структура споживання електроенергії, що пов'язано зі скороченням виробництва, втратою ряду промислових підприємств і значною міграцією населення. У 2023 р. відбулась незначна стабілізація критичного стану енергосистеми після часткового відновлення пошкоджених енергоблоків, але нові ракетні удари по енергетичних об'єктах у навесні 2024 р. дуже ускладнили ситуацію в енергосистемі внаслідок майже повного знищення маневрених потужностей ТЕС і ГЕС. Для виходу з критичної ситуації необхідні швидке відновлення пошкоджених і побудова нових потужностей генерації замість втрачених. Нестача базових і маневрених потужностей, а також активний розвиток ВДЕ потребують комплексного визначення майбутньої структури генеруючих потужностей ОЕС України для підвищення стійкості і надійності електропостачання.

Метою роботи є дослідження можливих сценаріїв структурної трансформації енергосистеми на основі методів математичного моделювання, що дозволить сформулювати ефективні напрями її подальшого розвитку у період повоєнного відновлення.

Матеріали і результати досліджень

В даній роботі застосовується модельний підхід [1], в якому спочатку формуються можливі варіанти розвитку майбутньої структури генеруючих потужностей енергосистеми з урахуванням її поточного стану. Варіанти відрізняються обсягами встановленого обладнання різних типів генерації для покриття прогнозованого споживання. На другому етапі на основі моделі математичного програмування визначення оптимального складу і режимів роботи енергоблоків визначається доцільна структура генеруючих потужностей енергосистеми для покриття прогнозованого обсягу споживання електроенергії.

Формування варіантів розвитку структури генеруючих потужностей враховує скорочення вугільної генерації, зростання обсягів ВДЕ, розвиток нової газової генерації, відновлення пошкоджених ГЕС та будівництво нових ГАЕС. Значна втрата старої вугільної генерації дає можливість прискорити впровадження нових технологій генерації і подальший розвиток ВДЕ. Пропонується дослідження двох варіантів трансформації структури енергосистеми у перші повоєнні роки – базовий і оптимістичний. В таблиці 1 представлені структури генеруючих потужностей, що відповідають сформованим варіантам.

Таблиця 1 – Структури встановлених потужностей для базового і оптимістичного варіантів

Тип електростанцій	Встановлена потужність, ГВт	
	Базовий варіант	Оптимістичний варіант
ТЕС вугільні	2,5	3,3
ТЕС газові, в т.ч.:	1,1	1,6
ГТУ	0,6	0,9
ГПУ	0,5	0,7
АЕС	7,7	7,7
ТЕЦ, блок-станції	1,8	1,8
ГЕС, ГАЕС	3,3	3,3
ВЕС	0,9	2,3
СЕС	6,3	7,0
Bio-ТЕС	0,3	0,3

Обидва варіанти передбачають часткове відновлення вугільних ТЕС, побудову нових газотурбінних (ГТУ) і газопоршневих (ГПУ) установок, прискорений розвиток вітрових і сонячних електростанцій, але відрізняються кількісними показниками. Прогнозний обсяг споживання для базового варіанта визначається на рівні споживання 2023 р. - 106 млрд кВт·год на рік. Для оптимістичного варіанта розвитку структури генеруючих потужностей енергосистеми прогнозний обсяг споживання зростає на 7,5% до 114 млрд кВт·год на рік, що відповідає прогнозним темпам зростання економіки у найближчі 2-3 роки.

Для розрахунків запропонованих варіантів трансформації структури енергосистеми використовується математична модель визначення оптимального складу генеруючих потужностей та їх завантаження при покритті добових графіків електричного навантаження ОЕС України [2]. Критерієм оптимізації є мінімум загальносистемних витрат на виробництво електроенергії. Система обмежень включає погодинний баланс обсягів споживання і виробництва електроенергії та детально описує технологічні умови функціонування енергоблоків всіх типів і їх погодинний стан. Результати розрахунків виробництва електроенергії різними типами генерації для обох варіантів наведені в таблиці 2.

Таблиця 2 – Обсяги генерації електроенергії для базового і оптимістичного варіантів

Показник	Базовий варіант	Оптимістичний варіант
Прогнозоване споживання, млрд кВт·год	105,99	114,06
Виробництво електроенергії, млрд кВт·год, в т.ч.:	106,63	114,22
ТЕС вугільні	19,41	23,03
ТЕС газові, в т.ч.:	5,38	5,75
ГТУ	2,97	4,0
ГПУ	1,41	1,75
АЕС	59,45	58,56
ТЕЦ, блок-станції	6,13	6,13

ГЕС	5,14	5,14
ГАЕС	1,37	1,28
ВЕС	1,97	5,0
СЕС	7,03	7,81
Біо-ТЕС	1,7	1,45
Споживання ГАЕС	-1,78	-1,66
Імпорт	1,27	1,66

Висновки

Запропоновані варіанти трансформації структури генеруючих потужностей ОЕС України враховують сучасний стан енергосистеми та поступову відмову від викопного палива і збільшення частки ВДЕ. Проведені розрахунки показали, що доступних потужностей для обох варіантів розвитку структури не вистачає для покриття прогнозних обсягів споживання електроенергії і для забезпечення енергобалансу необхідно застосовувати імпорт. Подальший розвиток енергосистеми потребує як побудови нової атомної і теплової генерації для покриття базової зони навантаження, так і збільшення маневреної генерації для балансування зростаючих обсягів електроенергії ВДЕ. Отримані результати оптимізаційних розрахунків для сформованих варіантів структури дозволяють проаналізувати структурні зміни в енергосистемі і дослідити шляхи підвищення балансової надійності та гнучкості енергосистеми на перспективу.

Список використаної літератури

1. Shcherbyna, Y., Eutukhova, T., Derii, V., Novoseltsev, O., Teslenko, O. Methodical Approaches for Modeling Power System Transformation Scenarios Based on Mixed Integer Linear Programming. In: Babak, V., Zaporozhets, A. (eds) Systems, Decision and Control in Energy VI. Studies in Systems, Decision and Control, 2024. vol 561. Springer, Cham. P. 149-165. https://doi.org/10.1007/978-3-031-68372-5_7
2. Шульженко С.В., Тюрютіков О.І., Іваненко Н.П. Модель математичного програмування з цілочисельними змінними визначення оптимального складу та завантаження енергоблоків теплових електростанцій та гідроагрегатів гідроакumuлюючих електростанцій при покритті добового графіка електричних навантажень енергосистеми України. Проблеми загальної енергетики, 2020. Вип. 1(60). С. 14—23. <https://doi.org/10.15407/pge2020.01.014>

ОПТИМІЗАЦІЯ БАГАТОРІВНЕВИХ СИСТЕМ АКУМУЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В РОЗПОДІЛЕНІЙ ГЕНЕРАЦІЇ

Зростання попиту на відновлювані джерела енергії (ВДЕ) та їхнє інтегрування у розподілені енергосистеми створюють нові виклики для забезпечення стабільності енергопостачання. Сонячні панелі, як один із основних видів ВДЕ, відіграють ключову роль у цьому процесі, але їх непостійність створює потребу в ефективних системах акумулювання. Системи акумулювання електроенергії забезпечують гнучкість та стабільність роботи енергосистем, що використовують непостійні ВДЕ, такі як сонячна та вітрова енергія. Багаторівневі системи акумулювання дозволяють ефективніше управляти енергопотоками та забезпечувати баланс між виробництвом і споживанням електроенергії [1]. Як результат, використання таких систем дозволяє підвищити надійність енергопостачання, зменшуючи ризик відключень та забезпечуючи кращу адаптацію до змінних умов генерації.

Комбіновані системи акумулювання. Застосування комбінованих систем, що поєднують різні типи акумуляторів, сприяє підвищенню загальної ефективності розподілених енергосистем. Комбіновані системи забезпечують більшу гнучкість у керуванні енергопотоками, що є важливим для стабільної роботи мережі в умовах змінної генерації від ВДЕ [2].

Сучасні системи акумулювання можна розділити на кілька типів залежно від їх функціональних можливостей та застосувань. Основні типи акумуляторів які розглядаються для створення багаторівневої системи акумулювання електроенергії включають [3]:

- Літій-іонні акумулятори;
- Свинцево-кислотні акумулятори;
- Нікель-кадмієві та нікель-метал-гідридні акумулятори;
- Суперконденсатори.

Акумуляторні системи накопичення енергії (АКБ) відіграють ключову роль у розвитку інтелектуальних мереж, забезпечуючи балансування попиту і пропозиції, інтеграцію відновлюваних джерел енергії та підвищення надійності енергопостачання. Згідно з Концепцією "розумних" мереж в Україні, установки зберігання енергії можуть вирівнювати добовий графік електричного навантаження, знижуючи неефективне використання генеруючих потужностей у періоди пікових навантажень [4].

Загальний обсяг АКБ, що використовуються в енергетичному секторі, перевищив 2 400 гігават-годин (ГВт-год) у 2023 році, що вчетверо більше, ніж у 2020 році. За останні п'ять років у світі було додано понад 2 000 ГВт-год літій-іонних батарей, що живлять 40 мільйонів електромобілів і тисячі проектів з акумулювання енергії. У 2023 році було додано понад 40 гігават (ГВт) ємності, що вдвічі більше, ніж у попередньому році [5]. Було оцінено, що для енергомережі потрібно буде близько 2 ГВт нової пікової генерації та приблизно 500 МВт потужностей накопичення енергії до 2025 року [6]. До війни реалізація перших проектів у масштабному акумулюванні енергії залучала значну участь приватного сектора та міжнародних партнерів. В 2022 року компанія ДТЕК, найбільший приватний інвестор у сфері відновлюваної енергетики України, завершила проект накопичення потужністю 1 МВт у місті Енергодар за підтримки Honeywell та SunGrid. ДТЕК планує побудувати серію систем накопичення енергії в Україні загальною потужністю 200 МВт для створення

надійної та екологічної енергосистеми [6].

АКБ відіграють важливу роль у відновленні систем енергопостачання під час воєнного та повоєнного періоду. Під час кризових ситуацій АКБ забезпечують резервне живлення для критично важливих об'єктів, таких як лікарні, системи зв'язку та водопостачання, забезпечуючи надійність та стабільність енергопостачання. У повоєнний час АКБ сприяють відновленню енергосистем, забезпечуючи гнучкість, інтеграцію відновлюваних джерел енергії та стабільність локальних енергосистем через використання мікромереж, які можуть функціонувати незалежно від центральної мережі у разі її пошкодження [6].

Особливості оптимізації багаторівневих систем акумулювання. Оптимізація роботи багаторівневих систем акумулювання включає вибір відповідних типів акумуляторів залежно від їх характеристик, таких як ємність, вартість, швидкість зарядки та тривалість життєвого циклу [7]. Водночас, важливим є розробка алгоритмів управління зарядно-розрядними циклами, які забезпечують мінімізацію втрат енергії та продовження терміну служби АКБ. Врахування температурних режимів експлуатації також є важливим фактором, оскільки температура значно впливає на ефективність та тривалість життєвого циклу акумуляторів. Використання комбінованих систем акумулювання дозволяє підвищити загальну ефективність розподілених енергосистем. Поєднання різних типів акумуляторів, таких як літій-іонні, свинцево-кислотні та суперконденсатори, забезпечує ефективне управління енергопотоками. Крім того, врахування температурних режимів експлуатації та оптимізація зарядно-розрядних процесів дозволяє знизити втрати енергії та подовжити життєвий цикл акумуляторів.

Висновки. Оптимізація багаторівневих систем акумулювання електроенергії є ключовим елементом для покращення стабільності та енергоефективності розподілених генерацій, особливо у випадку інтеграції ВДЕ. Застосування різних типів акумуляторів у багаторівневих системах, а також оптимізація умов експлуатації, дозволяють досягти більшої гнучкості та надійності енергосистеми. Подальші дослідження повинні бути спрямовані на розробку адаптивних алгоритмів управління енергопотоками, що дозволить створювати більш ефективні системи акумулювання, здатні швидко реагувати на зміни у виробництві та споживанні електроенергії. На основі вищезазначеного, використання технологій штучного інтелекту для прогнозування виробництва та споживання енергії може забезпечити додаткове підвищення ефективності управління системами акумулювання, що дозволить створювати більш стійкі та надійні енергетичні мережі.

Список використаної літератури

1. Bartolini, Andrea, et al. Energy storage and multi energy systems in local energy communities with high renewable energy penetration. *Renewable Energy*, 2020, 159: 595-609.
2. E. Hossain, H. M. R. Faruque, Md. S. H. Sunny, N. Mohammad, and N. Nawar, "A Comprehensive Review on Energy Storage Systems: Types, Comparison, Current Scenario, Applications, Barriers, and Potential Solutions, Policies, and Future Prospects," *Energies*, vol. 13, no. 14, p. 3651, Jul. 2020, doi: <https://doi.org/10.3390/en13143651>.
3. Про схвалення Концепції впровадження "розумних мереж" в Україні до 2035 року : Розпорядж. Каб. Міністрів України від 14.10.2022 № 908-р : станом на 3 трав. 2023 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/908-2022-p#Text> (дата звернення: 16.11.2024).
4. IEA, "Batteries and Secure Energy Transitions – Analysis," IEA, Apr. 25, 2024. <https://www.iea.org/reports/batteries-and-secure-energy-transitions>
5. GOPA International Energy Consultants GmbH, "Post War Development of the Renewable Energy Sector in Ukraine," April 2024. Available: www.energy-community.org.
6. A. Aghmadi and O. A. Mohammed, "Energy Storage Systems: Technologies and High-Power Applications," *Batteries*, vol. 10, no. 4, pp. 141–141, Apr. 2024, doi: <https://doi.org/10.3390/batteries10040141>.
7. Z. M. Ali, M. Calasan, S. H. E. A. Aleem, F. Jurado, and F. H. Gandoman, "Applications of Energy Storage Systems in Enhancing Energy Management and Access in Microgrids: A Review," *Energies*, vol. 16, no. 16, p. 5930, Jan. 2023, doi: <https://doi.org/10.3390/en16165930>.

І. М. Кавун, аспірант, ORCID 0009-0004-0785-4970
А. І. Замулко, к. т. н., доцент, ORCID 0000-0001-8018-6332
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ЦИФРОВІЗАЦІЯ В ЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМАХ

Анотація

Розглянуто місце цифровізації в сучасних енергетичних системах, основні етапи та завдання щодо впровадження цифровізаційних процесів в енергетиці. Визначено роль та місце smart систем, а також їхній вплив на роботу та розвиток системи електропостачання в цілому. Наведено основні методи проведення аналізу стану системи, за якими проводилося дослідження, а також в результаті запропоновано поетапне впровадження систем цифровізації відповідно до стратегії розвитку та відновлення енергомереж.

Ключові слова: цифровізація, управління, цифровізаційні процеси, інтелектуальні мережі, моніторинг, цифрова інфраструктура.

Актуальність. Рівень цифровізації в сучасному світі стрімко зростає. На сьогоднішній час найбільш розвинутою сферою в даному напрямку є інформаційно-комунікаційні системи, в яких рівень цифровізації відіграє першочергову роль. Однак цифровізація процесів необхідна також і іншим галузям таким як економіка, транспортна інфраструктура, енергетика, промисловість та ін. Процес розвитку інтелектуальних мереж в електроенергетиці знаходиться на початковій стадії. Проблема підвищення енергоефективності та енергетичної безпеки, в тому числі за рахунок цифровізаційних процесів, в сучасних енергетичних систем являється актуальною в теперішній час враховуючи необхідність швидких дій з боку диспетчеризації, керування в режимі реального часу, розвитком та відновленням енергетичних мереж, моніторингу стану енергосистеми та нових можливостей цифрової інфраструктури в цілому [1-2]. **Головною метою** дослідження аналіз поточного стану цифровізації в енергосистемі для формування пропозицій щодо можливостей впровадження стратегій розвитку рівня цифровізації на енергетичних підприємствах.

Виклад основного матеріалу

Цифровізація в першу чергу це складний процес переходу до нового етапу розвитку технологій, які є невід'ємною частиною науково-технічного прогресу, і які впроваджуються в поточні процеси роботи в усіх сферах діяльності людини для підвищення ефективності, продуктивності, можливості аналізу, моніторингу, управління та ін. Процес цифровізації в енергетиці знаходиться на етапі розвитку як складова частина процесу управління забезпечує формування стратегії розвитку галузі.

Цифровізація в енергетиці має забезпечувати: по-перше, як елемент керування, є основною складовою підвищення функціональності системи, надійності та швидкодії; по-друге, як елемент моніторингу - безперервний аналіз стану системи, моніторингу основних показників, збір даних для аналітичних досліджень та прогнозування; по-третє, як цифрова інфраструктура, підвищити рівень функціонування, та оптимізацію роботи об'єднаної енергетичної системи.

Підвищення рівня цифровізації потребує суттєвих інвестицій в енергосистему. За даними Укрінвест [3] до 2035 року Україна планує інвестувати в галузь енергетики 383 млрд доларів США, в порівнянні з ЄС інвестиції в рік складають 396 млрд доларів США [4]. Крім того, на шляху впровадження цифровізації в енергосистему виникають наступні завдання такі як: істотна модернізація та трансформація енергосистеми, впровадження нових

технологій та методів, підготовка висококваліфікованого персоналу, залучення додаткових інвестицій, підготовка законодавчої бази та ін. Відповідно до розпорядження № 908 від 14 жовтня 2022 р “Про схвалення Концепції впровадження “розумних мереж” в Україні до 2035 року”

[5] Україна почала рухатися в напрямку цифровізації енергетичного сектору, однак поточна законодавча база, стратегія та критерії розвитку, поетапний план не є достатніми для чіткого розуміння впровадження цифровізації в систему, що і буде розглядатися в подальшому науковому дослідженні.

Висновки

Для забезпечення розвитку галузі енергетики цифровізація енергосистеми є важливим пріоритетом. Розвиток цифрової індустрії в енергетиці дозволить підвищити надійність та гнучкість системи, а також привести показники SIADI та SAIFI до європейських показників. Крім того, цифровізація є важливим кроком, як етап модернізації та відновлення енергомережі, так і інструментом нових технології, які підвищують якість генерації, розподілу та передачі електроенергії.

Список використаних джерел

1. Цифрові технології в інноваційній трансформації економіки України : колективна монографія / Єгоров І.Ю., Никифорок О.І. та ін. ; за ред.: чл.-кор. НАН України Єгорова І.Ю., д.е.н. Никифорок О.І., к.е.н. Ліра В.Е. ; НАН України, ДУ “Ін-т. екон. та прогнозув. НАН України”. – Електрон. ресурс. – К., 2020. – 308 с. : 41 табл., 17 рис. – Режим доступу : <http://ief.org.ua/docs/mg/321.pdf>
2. Гончарук І.В. Енергетична незалежність як суспільно економічне явище. Економічна наука. http://www.economy.in.ua/pdf/8_2020/15.pdf
3. <https://ukraineinvest.gov.ua/industries/energy/>
4. [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2023/754623/EPRS_BRI\(2023\)754623_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2023/754623/EPRS_BRI(2023)754623_EN.pdf)
5. Про схвалення Концепції впровадження “розумних мереж” в Україні до 2035 року. Розпорядження кабінету міністрів України від 14 жовтня 2022 р. № 908-р. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/605-2017-%D1%80#Text>

References

1. Digital technologies in innovative transformation of the economy of Ukraine: collective monograph / Yegorov I.Yu., Nykyforuk O.I. et al. ; ed.: Corresponding Member of the NAS of Ukraine Yegorov I.Yu., Doctor of Economics. Nykyforuk O.I., Candidate of Economics. Lira V.E. ; NAS of Ukraine, State Institution “Inst. of Economics and Forecasting of NAS of Ukraine”. – Electronic resource. – K., 2020. – 308 p. : 41 tables, 17 figures. – Access mode: <http://ief.org.ua/docs/mg/321.pdf>
2. Goncharuk I.V. Energy independence as a socio-economic phenomenon. Economic science. http://www.economy.in.ua/pdf/8_2020/15.pdf
3. <https://ukraineinvest.gov.ua/industries/energy/>
4. [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2023/754623/EPRS_BRI\(2023\)754623_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2023/754623/EPRS_BRI(2023)754623_EN.pdf)
5. On approval of the Concept of implementation of “smart grids” in Ukraine until 2035. Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated October 14, 2022 No. 908-p. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/605-2017-%D1%80#Text>

ПІДВИЩЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ СИСТЕМ ЕНЕРГЕТИЧНОГО МЕНЕДЖМЕНТУ МСП ЧЕРЕЗ УПРАВЛІННЯ ДАНИМИ ЕНЕРГОМОНІТОРИНГУ

Вступ. З метою оптимізації операційних витрат відчутна кількість українських компаній суттєво скоротила чисельність служб експлуатації, вивівши працівників поза штат основної компанії або цілком поклавшись на аутсорсинг. За такого підходу у штаті компанії може залишатися лише 1-2 інженери, на яких покладено обов'язки із забезпечення надійної та безперебійної роботи електроустаткування, а також контролю за його технічним обслуговуванням (ТО) і ремонтом. Разом із неспростовними фінансовими вигодами для компанії, обумовленими зниженням навантаження на фонд оплати праці, за такого підходу виникають проблеми, пов'язані з відсутністю у інженерів достатньої кількості часу, який можна було б приділити енергомоніторингу та підвищенню рівня енергетичної ефективності компанії. Зазвичай, дані з приладів обліку знімаються лише в періоди щомісячної звітності, а їхній аналіз обмежується перевіркою виконання встановлених керівництвом компанії норм енергоспоживання.

Закон України “Про енергетичну ефективність” [1] передбачає, що суб'єкти господарювання із середнім рівнем річного енергоспоживання в обсязі 100 тисяч МВт·год на рік та вище зобов'язані проводити енергетичний аудит кожні чотири роки або впровадити і сертифікувати систему енергетичного та/або екологічного менеджменту з метою забезпечення неухильного підвищення рівня енергетичної ефективності. Враховуючи високий граничний рівень енергоспоживання, вимоги Закону розповсюджуються переважно на потужні промислові підприємства. Водночас, малі та середні підприємства (МСП), в яких найбільш часто спостерігаються проблеми з енергетичним менеджментом і енергомоніторингом через малу чисельність або відсутність служб експлуатації фактично опинилися поза вимогами Закону [1].

МСП відіграють ключову роль в економіці України, забезпечуючи близько 64% доданої вартості, 81,5% зайнятих працівників у суб'єктів господарювання та 37% податкових надходжень [2]. Українським МСП надається як державна [3], так і міжнародна підтримка, зокрема існує низка цільових економічних програм підвищення рівня енергетичної ефективності, метою яких є зменшення викидів парникових газів. Проте, на відміну від інвестиційних енергоефективних заходів, зазначені програми зазвичай жодним чином не стимулюють підвищення продуктивності систем енергетичного менеджменту (СЕНМ) МСП. Враховуючи значення МСП в економіці України [4], підвищення продуктивності СЕНМ через управління даними енергомоніторингу в умовах скорочення інженерного персоналу і дефіциту в енергосистемі є актуальним завданням, оскільки дозволить відчутно скоротити витрати МСП на оплату енергоресурсів і спрямувати вивільнені кошти на розвиток бізнесу.

Метою досліджень є підвищення продуктивності систем енергетичного менеджменту МСП через управління даними енергомоніторингу і вдосконалення технічного обслуговування технологічного устаткування.

Матеріал досліджень. Повна автоматизація процесів енергомоніторингу дозволяє прискорити і підвищити продуктивність процесів прийняття рішень та адаптування до поточної ситуації. Очікується, що це стане одним із рушіїв цифрової трансформації (діджиталізації) МСП і реалізації концепції Індустрії 4.0, що охоплює шість етапів розвитку від використання окремих комп'ютерних програм до адаптованості до мінливого

середовища [9].

Під час енергетичного аудиту науково-виробничого підприємства у м. Києві взимку 2024 року досліджено потенціал використання енергомоніторингу. Визначено, що облік споживання електроенергії підприємства здійснюється 8-ма ввідними комерційними вузлами обліку. Додатково на підприємстві встановлено 135 лічильників технічного (технологічного) обліку електроенергії, які забезпечують облік понад 86% від загального споживання електроенергії підприємством. Технічний облік диференційовано як за групами однотипних струмоприймачів, так і за ввідними розподільними пристроями (ВРП) та головними розподільними щитами (ГРЩ), від яких заживлено різні групи споживачів (вентиляція, освітлення, розеткові групи тощо). Таким чином, підприємство забезпечено деталізованим обліком електроенергії і створено всі передумови для реалізації продуктивного енергомоніторингу.

Під час проведення енергоаудиту встановлено, що дані електроспоживання по всіх комерційних і технічних точках обліку збиралися вже понад рік, проте, жодним чином не аналізувалися фахівцями попри наявність на підприємстві власної служби експлуатації, яка складається з усіх необхідних профільних інженерів. Аналіз статистичних погодинних даних електроспоживання по багатьох точках технічного обліку показав періодичні нетипові відхилення від патернів (рис. 1), як то відсутність зниження споживання в неробочі години та у вихідні дні, відсутність кореляції споживання погодозалежного обладнання з температурою довкілля тощо (рис. 2).

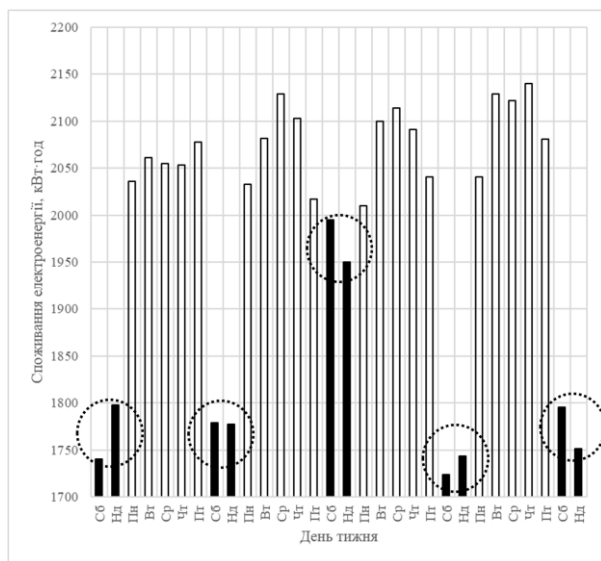


Рисунок 1 – Добове споживання електроенергії обладнання

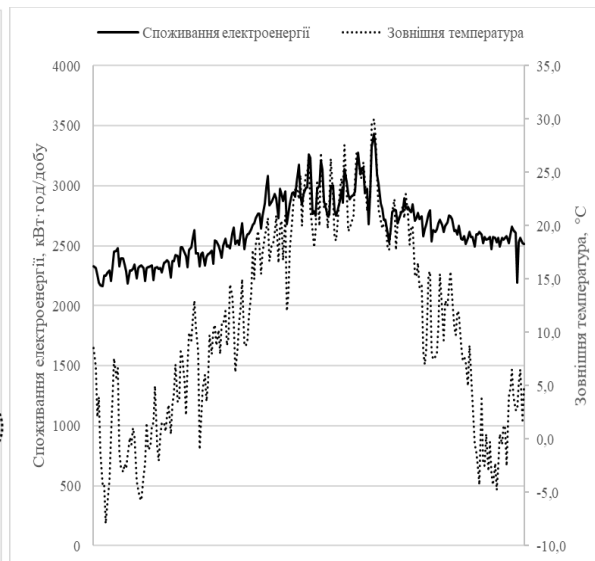


Рисунок 2 – Добове споживання електроенергії погодозалежного обладнання і середньодобова температура зовнішнього повітря

Оскільки пояснення таким відхиленням не надано службою експлуатації, зроблено припущення, що їх спричинено суб'єктивним фактором внаслідок недостатнього рівня трудової дисципліни. Через відсутність належного енергомоніторингу і оперативного визначення причин відхилень електроспоживання річна перевитрати електроенергії на підприємстві склали щонайменше 12%.

Іншим потенціальним джерелом підвищення рівня енергетичної ефективності є ТО технологічного устаткування відповідно до технічної документації за встановленими регламентами. ДСТУ 9050:2020 [10] визначено, що ТО – це комплекс операцій чи операція для підтримки справного стану чи працездатності об'єкта, що використовується за призначенням, під час простою, зберігання та транспортування. ТО інженерних систем та

технологічного енергоспоживаючого обладнання має виконуватись з періодичністю і відповідно до регламентів, зазначених в технічній документації на це обладнання або у відповідних галузевих стандартах. Виконавцем ТО може виступати як власна служба експлуатації підприємства, так і стороння організація на договірній основі.

Під час енергетичного аудиту офісно-складського комплексу у м. Києві влітку 2019 року виконано вимірювання параметрів роботи компресорних холодильних машин, зокрема, тиску/температури випаровування і конденсації, переохолодження та перегріву, а також споживання електричної енергії. Для охолодження повітря приміщень комплексу в теплий період року використовуються мультизональні системи (VRF/VRV) виробництва “Daikin” потужністю від 30 до 50 кВт, що працюють на холодоагенті R410A. Загалом система кондиціонування складається з 10 зовнішніх і 59 внутрішніх блоків.

Висновки. В умовах скорочення чисельності служб експлуатації автоматизація енергомоніторингу і виключення суб’єктивного фактора може суттєво підвищити продуктивність систем енергетичного менеджменту загалом і дозволить зменшити енергоспоживання МСП, що своєю чергою призведе до підвищення рівня їх енергоефективності, конкурентоспроможності, стійкості та адаптивності перед актуальними викликами, та в цілому буде сприяти післявоєнному відновленню та сталому розвитку українського суспільства.

Список використаних джерел

1. Закон України “Про енергетичну ефективність”. Редакція від 18.09.2024. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1818-20> (дата звернення 15.11.2024).
2. Підтримка малого і середнього підприємництва. URL: <https://www.kmu.gov.ua/reformi/ekonomichne-zrostannya/pidtrimka-malogo-i-serednogo-pidpriyemnictva> (дата звернення 15.11.2024).
3. Закон України “Про розвиток та державну підтримку малого і середнього підприємництва в Україні”. Редакція від 05.10.2024. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/4618-17> (дата звернення 15.11.2024).
4. Оцінка впливу війни на мікро-, малі та середні підприємства в Україні. Київ: Програма розвитку ООН в Україні, 2024 рік – 86 с. URL: <https://www.undp.org/sites/g/files/zskgke326/files/2024-04/undp-ua-smb-2024.pdf> (дата звернення 15.11.2024).
5. Практичний посібник з енергозбереження для об’єктів промисловості, будівництва та житлово-комунального господарства України / А. В. Праховник та ін. Луганськ, вид-во “Місячне сяйво”, 2010. – 696 с.
6. Енергетичний менеджмент: навч. посіб. / А.В. Праховник та ін.; під ред. А.В. Праховника; Національний технічний ун-т України “Київський політехнічний ін-т”, Інститут енергозбереження та енергоменеджменту. – К.: Київська нотна ф-ка, 1999. – 184 с.
7. Праховник А.В., Розен В.П., Соловей О.І та ін. Енергетичний менеджмент. – К.: Київська нотна фабрика, 2001 – 472 с.
8. ДСТУ ISO 50006:2016 Системи енергетичного менеджменту. Вимірювання рівня досягнутої/досяжної енергоефективності з використанням базових рівнів енергоспоживання та показників енергоефективності. Загальні положення та настанова. [Чинний від 01.09.2016]. ДП «УкрНДНЦ», 2016. (Інформація та документація).
9. Schuh, G./Anderl, R./Dumitrescu, R./Krüger, A./ten Hompel, M. (Eds.): Industrie 4.0 Maturity Index. Managing the Digital Transformation of Companies – UPDATE 2020 – (acatech STUDY), Munich 2020 URL: <https://en.acatech.de/publication/industrie-4-0-maturity-index-update-2020/> (дата звернення 15.11.2024).
10. ДСТУ 9050:2020 Система технічного обслуговування та ремонтування техніки. Терміни та визначення понять. [Чинний від 01.04.2021]. ДП «УкрНДНЦ», 2021. (Інформація та документація).

МОДЕЛІ ПРОГНОЗУВАННЯ ЗАЛИШКОВОГО РЕСУРСУ ВТОРИННИХ ЛІТІЙ-ІОННИХ БАТАРЕЙ ЕЛЕКТРОТРАНСПОРТУ ЯК ІНСТРУМЕНТ ЕНЕРГЕТИЧНОГО МЕНЕДЖМЕНТУ

Вступ. Перехід до низьковуглецевої економіки зумовлює зростаючу потребу в ефективних енергетичних рішеннях. Вторинне використання батарей електротранспорту, що завершили свій первинний життєвий цикл, є перспективним напрямком для підвищення стійкості енергосистем. В даній роботі проаналізовано основні механізми старіння батарей, такі як календарне та циклічне старіння, а також запропоновано підходи до їх моделювання.

Сучасні енергетичні системи стикаються зі значними викликами, пов'язаними з декарбонізацією, інтеграцією відновлюваних джерел енергії та забезпеченням стабільності енергопостачання. У цьому контексті використання вторинних батарей електротранспорту відкриває нові можливості для управління енергією [1-3]. Після завершення основного життєвого циклу в транспортних засобах такі батареї зберігають значний рівень ємності, що дозволяє їх застосовувати у системах зберігання енергії для балансування навантажень, підтримки пікових потужностей та інтеграції з відновлюваними джерелами. Це відповідає принципам енергетичного менеджменту, спрямованого на оптимізацію використання ресурсів, підвищення ефективності та стійкості енергосистем.

Метою даного дослідження є аналіз та представлення моделі прогнозування залишкового ресурсу вторинних батарей електротранспорту як інструменту енергетичного менеджменту, що дозволяє оптимізувати використання енергетичних ресурсів, знижувати витрати на впровадження акумуляторних систем та забезпечувати їхню ефективну інтеграцію в розподілені та централізовані енергетичні системи. Це сприяє розробці стратегій управління енергоефективністю, враховуючи принципи циркулярної економіки, та підвищенню стійкості енергетичних систем України.

Матеріал та результати дослідження.

Для реалізації цілей дослідження використано комплексний підхід, схему якого представлено на Рис.1, що поєднує сучасні методи моделювання деградації батарей та аналіз їхньої залишкової продуктивності [4-5].



Рисунок 1 – Стадії життєвого циклу батарей електромобілів.

Моделювання календарного старіння передбачає детальне врахування впливу зовнішніх факторів, таких як температура зберігання, рівень заряду та час простою. Наприклад, підвищена температура може значно прискорити процес втрати ємності батареї, тоді як зберігання при оптимальних умовах може сповільнити ці процеси. Також враховується рівень заряду батареї під час зберігання: низький рівень сприяє зниженню деградації, тоді як тривале зберігання на високому рівні заряду навпаки прискорює втрату ємності. Циклічне старіння батарей є ще одним ключовим аспектом дослідження, яке включає аналіз змін їхньої ємності та внутрішнього опору в результаті регулярного заряджання та розряджання. У моделі враховуються такі параметри, як глибина розряду, швидкість заряджання, а також кількість повних та часткових циклів. Наприклад, батареї, що працюють на неповних циклах розряду, демонструють довший термін служби порівняно з батареями, що піддаються глибоким розрядам. Крім того, часте швидке заряджання може збільшити внутрішню температуру батареї, що пришвидшує її деградацію [3-4]. Цей підхід дозволяє отримати більш точну картину залишкового ресурсу батарей у реальних умовах експлуатації. Наприклад, це дозволяє оптимізувати використання батарей в установках пікового навантаження.

Для врахування випадкових впливів, таких як нерівномірне навантаження, зміни температури чи змінна частота використання, застосовано стохастичні методи моделювання. Це дозволяє врахувати варіабельність у поведінці батарей, що є типовим для їхнього використання у вторинних системах [1, 5]. Наприклад, різниця в енергетичних навантаженнях протягом дня чи тижня може суттєво вплинути на термін служби батареї. Використання стохастичних моделей дозволяє враховувати цю невизначеність і створювати сценарії використання, які оптимізують продуктивність та тривалість служби батарей.

Для забезпечення точності прогнозування залишкової продуктивності було запропоновано інтегральний індекс деградації, який об'єднує всі зазначені аспекти – календарне старіння, циклічне старіння та стохастичні впливи [4-5]. Цей індекс дозволяє врахувати комплексний вплив різних факторів на деградацію батарей, що робить прогнозування більш надійним і точним. Наприклад, інтегральний індекс може оцінювати не лише кількість залишкових циклів, а й залишкову ємність батареї в конкретних умовах експлуатації. Це є надзвичайно корисним для оптимізації використання вторинних батарей у системах зберігання енергії та управління енергетичними потоками.

Таким чином, застосування комплексного підходу, що поєднує різні методи аналізу та моделювання, дозволяє отримати більш точні дані про залишковий ресурс батарей. Це сприяє ефективнішому управлінню енергетичними ресурсами, підвищенню надійності енергосистем та скороченню витрат на їхнє обслуговування.

Таблиця 1. Порівняння ефективності нових і вторинних батарей

Параметр	Нові батареї	Вторинні батареї
Початкова ємність (%)	100	80
Термін служби (роки)	10-12	5-10
Вартість (\$/кВт·год)	150-240	70-90
Кількість залишкових циклів	5000	2500-3500
Енергетична ефективність (%)	95	90

Аналіз показує, що вторинні батареї можуть бути економічно вигідним рішенням для підтримки стійкості енергосистем. Використання прогнозової оцінки залишкового терміну служби сприяє зменшенню витрат на заміну батарей та оптимізує їхнє використання в різних енергетичних сценаріях. Зокрема, у системах балансування пікових

навантажень або інтеграції з відновлюваними джерелами енергії вторинні батареї демонструють потенціал для підвищення ефективності та надійності енергосистем. Це також створює передумови для зменшення викидів CO₂ завдяки зниженню потреби у виробництві нових батарей.

Висновки. Інтеграція моделей прогнозування залишкового ресурсу вторинних літій-іонних батарей електротранспорту є важливим кроком до підвищення ефективності енергетичного менеджменту. Ці моделі дозволяють енергоменеджерам оптимізувати процес інтеграції батарей у системи та мінімізувати витрати на їх обслуговування, а також витрати на заміну батарей у розподілених системах на 15-20% залежно від умов експлуатації. Використання вторинних батарей відповідає принципам циркулярної економіки, спрямованої на раціональне використання ресурсів та мінімізацію впливу на довкілля. Таким чином, інтеграція цих технологій має стати ключовою частиною енергетичних стратегій України у найближчому майбутньому.

Список використаних джерел:

1. Kostenko G, Zaporozhets A. Transition from Electric Vehicles to Energy Storage: Review on Targeted Lithium-Ion Battery Diagnostics. *Energies*. 2024; 17(20):5132. <https://doi.org/10.3390/en17205132>
2. Kostenko, G., & Zaporozhets, A. (2024). World Experience Of Legislative Regulation For Lithium-Ion Electric Vehicle Batteries Considering Their Second-Life Application In Power Sector. *System Research in Energy*, (2 (77), 97-114. <https://doi.org/10.15407/srenergy2024.02.097>
3. Li R., Hassan A., Gupte N., Su W., Zhou X. Degradation Prediction and Cost Optimization of Second-Life Battery Used for Energy Arbitrage and Peak-Shaving in an Electric Grid. *Energies*. 2023. Vol. 16. Iss. 17. 6200. <https://doi.org/10.3390/en16176200>
4. Костенко, Г., & Запорожець, А. (2024). Інтегральний показник деградації вторинних батарей електромобілів в системах зберігання енергії: урахування календарного та циклічного старіння. *Системні дослідження в енергетиці*, (2а (78), 31-33. вилучено із <https://systemre.org/index.php/journal/article/view/848>
5. Kostenko, G. (2024). Accounting Calendar And Cyclic Ageing Factors In Diagnostic And Prognostic Models Of Second-Life EV Batteries Application In Energy Storage Systems. *System Research in Energy*, (3 (79), 21-34. <https://doi.org/10.15407/srenergy2024.03.021>

ЦИРКУЛЯРНА ЕКОНОМІКА ТА ЕНЕРГЕТИЧНИЙ МЕНЕДЖМЕНТ: ВТОРИННІ БАТАРЕЇ ЕЛЕКТРОТРАНСПОРТУ ЯК ЕЛЕМЕНТ СТІЙКОЇ ЕНЕРГОСИСТЕМИ

Вступ. Стрімке впровадження електротранспорту створює нові можливості для оптимізації енергетичних систем у контексті циркулярної економіки [1-2]. Вторинні батареї відіграють ключову роль у цьому процесі, знижуючи екологічний вплив та забезпечуючи гнучкість енергопостачання. При цьому зростання кількості електромобілів створює не лише виклики, пов'язані з виробництвом літій-іонних батарей, але й відкриває нові можливості для їх повторного використання. Після завершення експлуатації в автомобілях такі батареї ще мають значний залишковий потенціал, який можна використовувати у стаціонарних енергетичних системах, сприяючи підвищенню ефективності та стійкості енергосистем [3-5]. Використання вторинних батарей як елемента циркулярної економіки дозволяє знизити залежність від видобутку первинних ресурсів, мінімізувати кількість відходів та створити нові економічні можливості. На Рис. 1 представлено прогнозну оцінку доступності вторинних батарей електротранспорту [6].

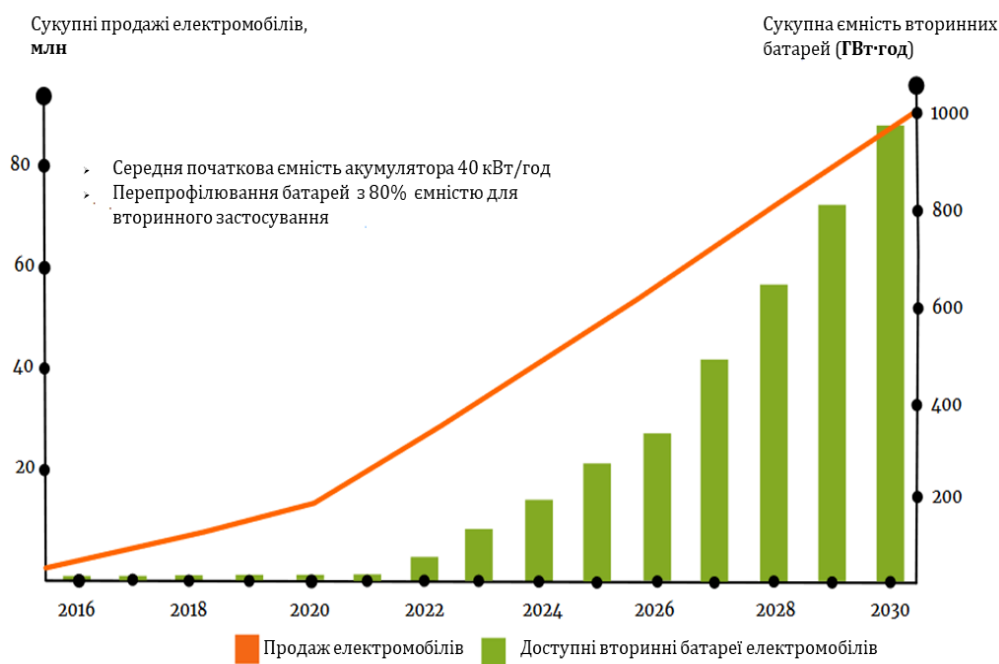


Рисунок 1 – Прогнозні оцінки доступності вторинних батарей електротранспорту для використання в енергетичному секторі [6]

Принципи управління життєвим циклом ресурсів стають ключовим аспектом у досягненні цілей сталого розвитку. Інтеграція вторинних батарей у системи енергетичного менеджменту є прикладом того, як концепції циркулярної економіки можуть бути впроваджені в енергетичний сектор. Це включає повторне використання, відновлення та переробку батарей, що не лише знижує екологічне навантаження, але й відкриває нові ринкові можливості для бізнесу.

Метою даного дослідження є визначення ролі вторинних батарей електротранспорту у розвитку стійких енергосистем з урахуванням принципів циркулярної економіки.

Матеріал та результати дослідження.

У дослідженні застосовано інтегральний та сценарний підходи, засновані на аналізі життєвого циклу вторинних батарей електротранспорту, з метою оцінки їхньої економічної доцільності, екологічного впливу та технічної ефективності. Сценарії моделювання враховують адаптацію вторинних батарей до різних умов експлуатації, підкреслюючи їхню економічну та технічну доцільність. Розглянуті сценарії створюють нові можливості для інвестицій у сталий енергетичний сектор.

У Таблиці 1 розглянуто сценарії використання вторинних батарей електротранспорту за ключовими показниками, такими як енергетична ефективність у різних умовах експлуатації, строк служби батарей, а також індикатори економічної та екологічної ефективності.

Таблиця 1. Аналіз сценаріїв застосування вторинних батарей в енергетичному секторі

Застосування вторинних батарей	Енергетична ефективність (%)	Середній строк служби (роки)	Економічна вигода (зниження витрат, %)	Екологічний вплив (зменшення CO ₂ , тонн/рік)	Бізнес-можливості (прибутковість, %)
Балансування пікових навантажень	85	5-7	20	15	10-15
Інтеграція з ВДЕ	80	6-8	25	20	12-18
Резервне живлення критичних об'єктів	90	7-10	30	10	8-12
Віртуальні електростанції (VPP)	88	6-9	28	18	15-20
Стаціонарні системи накопичення	87	8-10	22	17	10-14

Розвиток електромобільності та відновлюваних джерел енергії значною мірою впливає на структуру та функціонування енергетичних систем, сприяючи переходу до циркулярної економіки. Використання вторинних батарей дозволяє створювати дешевші та ефективніші накопичувачі енергії, що сприяє зниженню вуглецевого сліду енергетичних систем та збільшенню їхньої стійкості. Рисунок 2 наочно ілюструє взаємозв'язок між електромобільністю, відновлюваними джерелами енергії та повторним використанням батарей, підкреслюючи їхній внесок у формування стійких енергетичних систем.



Рисунок 2 – Синергія між електромобільністю, відновлюваними джерелами енергії та повторним використанням батарей в умовах циркулярної економіки

Як видно з рисунка 2, поєднання електромобільності, відновлюваних джерел енергії та вторинних батарей створює замкнутий цикл використання ресурсів, що відповідає принципам циркулярної економіки. Застосування повторно використаних батарей сприяє оптимізації витрат на зберігання енергії, підвищенню надійності систем електропостачання та скороченню екологічних ризиків, пов'язаних із виробництвом нових батарей. Таким чином, інтеграція цих елементів дозволяє досягти значного прогресу у впровадженні сталих рішень в енергетичному секторі, підвищуючи його адаптивність до глобальних викликів та підтримуючи цілі сталого розвитку.

Висновки та обговорення

Інтеграція вторинних батарей електротранспорту у сучасні енергетичні системи є важливим компонентом впровадження принципів циркулярної економіки. Це дозволяє суттєво знизити залежність від первинних ресурсів, зменшити екологічний вплив виробництва нових батарей і створити нові бізнес-можливості. Використання таких батарей у різних сценаріях, як балансування пікових навантажень, резервне живлення чи інтеграція з відновлюваними джерелами енергії, є економічно доцільним і технічно ефективним.

Результати моделювання підтверджують, що вторинні батареї мають значний потенціал у створенні стійких енергетичних систем. Зокрема, сценарії їхнього використання демонструють здатність знижувати витрати, оптимізувати споживання енергії та сприяти досягненню цілей сталого розвитку. Інтеграція вторинних батарей сприяє гнучкості енергосистем, забезпечуючи при цьому екологічну стійкість та економічну ефективність.

Окрім екологічних та економічних переваг, реалізація принципів циркулярної економіки через повторне використання батарей створює передумови для нових ринків і бізнес-моделей. Це включає ринки віртуальних електростанцій, послуги резервного живлення та автономні енергосистеми, що є привабливими для інвесторів та технологічних розробників.

Для максимального використання потенціалу вторинних батарей в Україні важливо

забезпечити ширше впровадження цифрових технологій для моніторингу їхнього життєвого циклу, а також створити нормативно-правову базу, що стимулюватиме інновації у сфері переробки та повторного використання. Це дозволить забезпечити не лише екологічну, а й енергетичну стійкість, що є критично важливим у сучасних умовах.

Список використаних джерел:

1. Г.П. Костенко. Ситуаційний аналіз перспектив розвитку електротранспорту та його інтеграції до енергосистеми України. «Енергетика: економіка, технології, екологія», №1 (2023). <https://doi.org/10.20535/1813-5420.1.2023.276185>
2. GP Kostenko, OV Zgurovets, MM Tovstenko. SWOT analysis of electric transport and V2G implementation for power system sustainable development in the terms of Ukraine. 2023 IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 1254 012030 <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1254/1/012030>
3. C. H. Illa Font, H. V. Siqueira, J. E. Machado Neto, J. L. F. d. Santos, S. L. Stevan Jr, A. Converti, and F. C. Corrêa, “Second life of lithium-ion batteries of electric vehicles: A short review and perspectives,” *Energies*, vol. 16, no. 2, p. 953, 2023.
4. Kostenko G, Zaporozhets A. Transition from Electric Vehicles to Energy Storage: Review on Targeted Lithium-Ion Battery Diagnostics. *Energies*. 2024; 17(20):5132. <https://doi.org/10.3390/en17205132>
5. Kostenko, G., & Zaporozhets, A. (2024). World Experience Of Legislative Regulation For Lithium-Ion Electric Vehicle Batteries Considering Their Second-Life Application In Power Sector. *System Research in Energy*, (2 (77), 97-114. <https://doi.org/10.15407/srenergy2024.02.097>
6. Kostenko, G. (2024). Accounting Calendar And Cyclic Ageing Factors In Diagnostic And Prognostic Models Of Second-Life EV Batteries Application In Energy Storage Systems. *System Research in Energy*, (3 (79), 21-34. <https://doi.org/10.15407/srenergy2024.03.021>

ДИНАМІКА ТЕПЛОПРОВІДНОСТІ ПІНОПОЛІУРЕТАНОВОЇ ІЗОЛЯЦІЇ ОГОРОДЖУВАЛЬНОЇ КОНСТРУКЦІЇ БУДІВЛІ

Вступ. Сучасний стан енергетики України підкреслює важливість дослідження теплофізичних характеристик зовнішніх огорожувальних конструкцій (ОК) стін, особливо в контексті енергоефективності та зменшення енергетичних втрат у будівлях. Оскільки країна стикається з нестабільністю електропостачання та обмеженням ресурсів, ефективне використання енергії в будівлях набуває критичного значення.

В умовах дефіциту енергоресурсів і складнощів в енергосистемі, покращення теплоізоляції та дослідження теплових властивостей стінових ОК сприятимуть значному зменшенню енерговитрат на опалення та охолодження приміщень. Це допоможе мінімізувати залежність від зовнішніх джерел енергії, зменшити навантаження на електромережі, які вже працюють на межі можливостей, та підвищити стійкість до можливих енергетичних криз. Тому, дослідження теплофізичних характеристик ОК є ключовим напрямком для підвищення енергоефективності будівель та забезпечення більш раціонального використання енергетичних ресурсів в умовах їх обмеженості.

Мета роботи. Дослідити вплив терміну експлуатації на коефіцієнт теплопровідності теплоізоляційного матеріалу (поліуретан) ОК.

Об'єкт дослідження. Для дослідження було обрано будівлю, що потребує термореновації. Це триповерхова громадська споруда, введена в експлуатацію в 1973 році, збудована за типовим проектом № 416-3-3/70 (1966 р.) під назвою "Універсальна 3-поверхова споруда розміром 18х60 м для інженерних корпусів, проектно-конструкторських бюро та адміністративних приміщень". Термомодернізація була проведена шляхом заміни старих вікон у приміщеннях на сучасні склопакети та влаштування теплоізоляційних покриттів з різних видів матеріалів на частині площі зовнішньої поверхні огорож на північному фасаді будівлі (рисунок 1).



Рисунок 1 – Схема утеплення ОК верхнього поверху корпусу № 1 ІТТФ НАН України

Для експериментального визначення впливу погодних умов на температурний стан будівельних конструкцій з утеплювачем було використано вимірювальний комплекс, що включає датчики, вторинні прилади і персональний комп'ютер [1].

Методика дослідження. Основною теплофізичною характеристикою теплоізоляційних матеріалів є коефіцієнт теплопровідності. Згідно з [2, 3], фактичні теплоізоляційні властивості можна оцінити методом теплових випробувань у натурних умовах. Цей метод полягає у вимірюванні фактичних параметрів у сталому тепловому режимі за певних температурно-вологісних умов по обидва боки ОК. Зокрема:

- поверхневої густини теплового потоку через конструкцію та температур внутрішньої і зовнішньої поверхонь на термічно однорідних ділянках за допомогою контактних вимірювальних засобів;
- температур внутрішнього і зовнішнього повітря, що оточує конструкцію.

На основі отриманих даних розраховують коефіцієнт теплопровідності відповідно до розрахункових формул [2].

Результати дослідження. Експериментальні дані були зібрані за січень-лютий 2024 року. Для розрахунку був обраний період часу з 18:00 7 січня 2024 року по 6:00 8 січня 2024 року, так як це нічний період часу за якого температурний напір не менший ніж 15 К ($\Delta T_{\text{НС}} \geq 15\text{K}$) [4], відсутній вплив сонячного випромінювання і персоналу.

Далі було проведено розрахунок коефіцієнта теплопровідності теплоізоляційного матеріалу, експлуатаційний період якого 11 років, відповідно до розрахункових формул [2].

На рисунку 2 відображено часову динаміку зміни експериментально-розрахункових значень коефіцієнта теплопровідності поліуретану. Дані за попередні роки взяті з[5, 6].

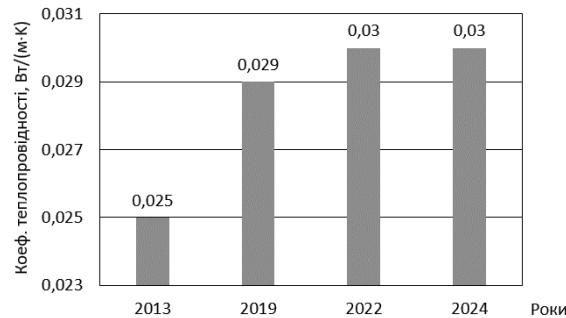


Рисунок 2 – Динаміка зміни коефіцієнта теплопровідності поліуретану за 11 років експлуатації.

На рисунку спостерігається поступове зростання коефіцієнта теплопровідності в перші роки експлуатації. З 2013 року до 2019 року коефіцієнт теплопровідності поліуретану зріс з 0,025 Вт/(м·К) до 0,029 Вт/(м·К). Це свідчить про зниження теплоізоляційних властивостей матеріалу з часом, ймовірно, через старіння, вплив зовнішніх факторів (температури, вологи, УФ-випромінювання) або деградацію структури.

Після 2019 року спостерігається відносна стабільність коефіцієнта теплопровідності на рівні 0,03 Вт/(м·К). Це може свідчити про те, що після початкового періоду старіння матеріал досяг стабільного стану і його подальша деградація сповільнюється або зупиняється. Найбільший приріст теплопровідності відбувся між 2013 та 2019 роками (на 0,004 Вт/(м·К), або 16%). У період з 2019 по 2024 рік зміна склала лише 0,001 Вт/(м·К), тобто 3,4%. Це підтверджує гіпотезу про нелінійну динаміку деструкції та нелінійне «старіння» теплофізичних параметрів поліуретану.

Висновки. Отримані результати дозволяють зробити висновок про те, що в перші роки експлуатації, спостерігається поступове збільшення теплопровідності поліуретану, що може свідчити про деградацію теплофізичних параметрів та деструкцію структури матеріалу під впливом експлуатаційних умов. Однак, в останні роки цей показник стабілізувався, що може вказувати на досягнення матеріалом стабільного стану. Це свідчить про належні теплоізоляційні властивості поліуретану та про те, що цей матеріал є ефективним теплоізолятором. Отримані результати є важливими для прогнозування довговічності та ефективності поліуретанових матеріалів у теплоізоляційних застосуваннях та демонструють важливість довгострокових експериментальних досліджень для оцінки змін теплофізичних властивостей матеріалів у реальних умовах експлуатації.

Список використаних джерел:

1. Б.І. Басок, Б.В. Давиденко, С.М. Гончарук. Інститут технічної теплофізики НАН України, Різноваріантна термомодернізація огорожувальних конструкцій частини поверху існуючої адміністративної будівлі та моніторинг тепловтрат при її тривалій експлуатації. Київ. Наука та інновації. 2013. Т. 9. № 2. С. 18-21.
2. ДСТУ Б В.2.6-101:2010 Метод визначення опору теплопередачі огорожувальних конструкцій. Чинний з 20.01.2010. Київ: Мінрегіонбуд України, 2010. 84с.
3. МВВ № 081/24-0778-11 Метрологія. Опір теплопередаванню крізь огорожувальні конструкції будівель і споруд різного призначення. Методика виконання вимірювань комбінованим тепловізійно-тепловиметричним методом. ІТТФ НАНУ, 2011.
4. Гончарук С. М. Експериментальне визначення тепловтрат з поверхонь огорожувальних конструкцій адміністративної будівлі. Промышленная теплотехника. 2011. Т. 33, № 8. С. 175–180
5. БАСОК Б. І., ПРИЙМАК О. В., ГОНЧАРУК С. М., ПАСІЧНИК П. О. Дослідження впливу терміну експлуатації на теплофізичні властивості різних типів теплоізоляції стінових огорожувальних конструкцій. Технології та інжиніринг, № 1(12), 2023. С. 18-25.

6. Borys BASOK, Svitlana GONCHARUK, Maryna MOROZ, Hanna VEREMIICHUK. EXPERIMENTAL RESEARCH OF HEAT TRANSFER THROUGH HEAT-INSULATED WALL ENCLOSURE STRUCTURES. *Journal of New Technologies in Environmental Science*, 2023-3-1. pp. 77-82.

СВІТОВИЙ ДОСВІД ОРГАНІЗАЦІЇ КЕРУВАННЯ КЛАСТЕРАМИ МІКРОМЕРЕЖ

Інтеграція джерел відновлюваної енергії в традиційну енергосистему є складним процесом через розподілене розташування цих ресурсів і їх нестабільну генерацію.

На рівні розподілу мережі традиційно працювали як пасивні системи. Проте, інтеграція розподілених ресурсів генерації перетворює ці мережі на активні системи з розподіленим управлінням та двонаправленими потоками енергії. Саме тому потрібні нові концепції для розширення активних розподільних мереж, де однією з найперспективніших структур мереж є мікромережі.

Концепція мікромереж може бути розширена до більших масштабів, коли дві чи більше мікромережі працюють взаємопов'язано, таким чином утворюючи кластер мікромереж. Мікромережі кластеру можуть під'єднуватись до розподільних мереж (режим підключення до мережі) та від'єднуватись від мережі (ізолюваний режим)[1].

У літературі представлено широкий спектр досліджень, що фокусуються на контролі та управлінні мікромережевими кластерами, пропонуються різні стратегії управління та алгоритми для забезпечення оптимальних режимів роботи та підвищення економічної ефективності. Ці стратегії управління можуть бути реалізовані за такими архітектурами:

- централізованою [2, 3], яка є простою схемою з низькими експлуатаційними витратами. Присутня єдина точка відмови, порушення функціонування якої призводить до виходу із ладу всього кластеру; мають місце проблеми з масштабуванням; існує потреба у надійних каналах зв'язку між центральним та локальними контролерами;

- децентралізованою [2, 3], яка надає повну автономність кожній мікромережі, що входить до кластеру, але відсутність комунікаційних зв'язків між мікромережами не може гарантувати оптимальну роботу всього кластеру, а на загальну ефективність негативно впливає конкуренція між окремими блоками; керування ускладнене через відсутність центрального контролера;

- розподіленою [3, 4], яка забезпечується координацією між окремими мікромережами, що дозволяє досягнути максимальної ефективності всього кластеру; але існує потреба у надійних каналах зв'язку;

- ієрархічною [2], в якій управління мережею поділяється на шари (рівні) із різними завданнями та цілями для кожного шару; являє собою економічно ефективне рішення з відносно простою реалізацією та низькими експлуатаційними витратами; але має чутливість до збоїв через жорсткі зв'язки між шарами управління;

- технологією мультиагентного управління [5, 6], яка вирішує проблему скоординованого керування за допомогою автономних та інтелектуальних агентів. Удосконалені агенти керування можуть вирішувати значно більш складні проблеми координації задля досягнення загальної (або індивідуальної) мети [6]; Цей підхід забезпечує високу масштабованість мережі; всі агенти управління взаємопов'язані, що вимагає наявності каналів зв'язку для взаємодії агентів;

- структура «система систем» [7, 8], яка об'єднує та координує декілька систем, утворюючи більш велику і складну, що дозволяє вирішити задачі, які не можуть бути вирішені однією системою або групою нескоординованих систем; має високі операційні витрати.

Важливим завданням для забезпечення стабільного функціонування мікромережових кластерів є організація балансування та розподілу електроенергії між мікромережами кластеру, тобто, наявність системи купівлі та продажу електричної енергії. Концепція кластерів мікромереж може відігравати важливу роль у сценарії, де мікромережі з

надлишком енергії співпрацюють з мікромережами з дефіцитом енергії шляхом обміну надлишковою енергією. Для полегшення цієї енергетичної торгівлі між окремими системами розглядається впровадження внутрішнього енергетичного ринку, що забезпечить прозорість торгівельних пропозицій між продавцями та покупцями. Цей ринок може бути як централізованим, так і децентралізованим.

В літературі розглядаються такі основні ринкові моделі:

- P2G (prosumer-to-grid) модель – структурована модель, що спирається на оператора ринку, який являє собою центральний суб'єкт, що контролює всі контракти та встановлює ціни та обсяги на ринку для кожного торгового періоду відповідно до заявок і пропозицій, зроблених учасниками;

- P2P (peer-to-peer) модель – децентралізований ринковий підхід, при якому центральний оператор ринку не потрібен, і кожен споживач чи постачальник вступає в торгівлі відносини безпосередньо з іншим споживачем чи постачальником [9]. Можлива реалізація із несиметричним пулом (вимагаються заявки від гравців ринку із зазначенням кількості енергії зі сторони попиту або пропозиції) та симетричним пулом (вимагаються заявки від гравців ринку із зазначенням кількості енергії як зі сторони попиту, так і зі сторони пропозиції) [12];

- гібридна модель, яка об'єднує моделі P2P и P2G. Така модель складається з груп споживачів/постачальників, що спираються на центрального оператора ринку, в свою чергу, ці групи та інші учасники ринку можуть торгувати електроенергією один із одним в режимі P2P [10,11].

Висновки. Інтеграція розподілених джерел енергії в традиційну енергосистему та впровадження систем кластерів мікромереж надає як споживачам так і постачальникам електроенергії можливість доступу до енергетичного ринку. При цьому ключова роль в роботі кластерів відводиться системам управління, що мають бути адаптовані до архітектури кожної конкретної мережі. Вибір відповідної архітектури управління являє собою комплексну задачу, що повинна враховувати багато факторів, а саме топологію побудови кластеру мікромереж, тип ліній передачі, технологію організації з'єднань, вимоги до стабільності й надійності, способи організації захисту, тощо.

Список використаних джерел:

- [1] Kargarian A, Falahati B, Fu Y, Baradar M. Multiobjective optimal power flow algorithm to enhance multi-microgrids performance incorporating IPFC. In: Proceedings of the IEEE PES general meeting, San Diego, California, USA; 2012.
- [2] Mao M, Wang Y, Chang L, Du Y. Operation optimization for multi-microgrids based on centralized-decentralized hybrid hierarchical energy management. In: Proceedings of the 2017 IEEE energy conversion congress and exposition. Cincinnati, Ohio, USA: ECCE; 2017.
- [3] Kou P, Liang D, Gao L. Distributed EMPC of multiple microgrids for coordinated stochastic energy management. Appl Energy 2017;185:939–52.
- [4] Zhang W, Xu Y. Distributed optimal control for multiple microgrids in a distribution network. IEEE Trans Smart Grid 2019;10(4):3765–79.
- [5] Ng EJ, El-Shatshat RA. Multi-microgrid control systems (MMCS). In: Proceedings of the IEEE PES general meeting, providence. USA: Rhode Island; 2010.
- [6] Zheng G, Li N. Multi-agent based control system for multi-microgrids. In: Proceedings of the 2010 international conference on computational intelligence and software engineering. Wuhan: RPC; 2010.
- [7] Marvasti AK, Fu Y, DorMohammadi S, Rais-Rohani M. Optimal operation of active distribution grids: a system of systems framework. IEEE Trans Smart Grid 2014;5(3):1228–37.
- [8] Zhao B, Wang X, Lin D, Calvin MM, Morgan JC, Qin R, Wang C. Energy management of multiple microgrids based on a system of systems architecture. IEEE Trans Smart Grid 2018;33(6):6410–21.
- [9] Wang N, Xu W, Xu Z, Shao W. Peer-to-Peer energy trading among microgrids with multidimensional willingness. Energies 2018;11(12).
- [10] Parag Y, Sovacool BK. Electricity market design for the prosumer era. Nat Energy 2016;1
- [11] Prosumers' role in the future energy system. Centre for Sustainable Energy Studies; 2018. Available online: <https://fmezen.no/wp-content/uploads/2019/06/CenSES-position-paper-prosumer-FINAL-Language-checked.pdf>.
- [12] Souza ACZ, Castilla M. Microgrids design and implementation. Springer International Publishing; 2019.

ВИБІР АРХІТЕКТУРИ ІНФОРМАЦІЙНОГО КОМПЛЕКСУ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ РЕЖИМІВ ФУНКЦІОНУВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ СПІЛЬНОТ

Ефективне функціонування енергетичних спільнот, що включають розосереджені на відновлювальні джерела живлення, залежить від надійної та масштабованої інформаційної інфраструктури. В даному дослідженні представлено архітектуру такого інформаційного комплексу, необхідного для збору, обробки, аналізу та візуалізації даних з різноманітних джерел, що дає змогу оптимізувати процеси генерації, споживання та розподіл електроенергії. Актуальність цього розгляду зумовлена зокрема інтеграцією розосереджених джерел енергії, таких як сонячні та вітрові електростанції, систем зберігання енергії та інтелектуального управління споживанням, що вимагає ефективних рішень для обробки великих обсягів даних. Крім цього впровадження таких інформаційних комплексів забезпечить прозорість роботи енергетичної спільноти, надаючи членам спільноти, адміністраторам та операторам доступ до актуальних даних та ключових показників функціонування всіх джерел енергії, систем її накопичення та розподілу.

Розглянемо ключові компоненти інформаційного комплексу що включають: апаратне забезпечення (датчики, комунікаційна інфраструктура), програмне забезпечення (модулі збору, обробки та аналізу даних, інтерфейси користувача), а також питання безпеки та захисту даних (рис. 1).

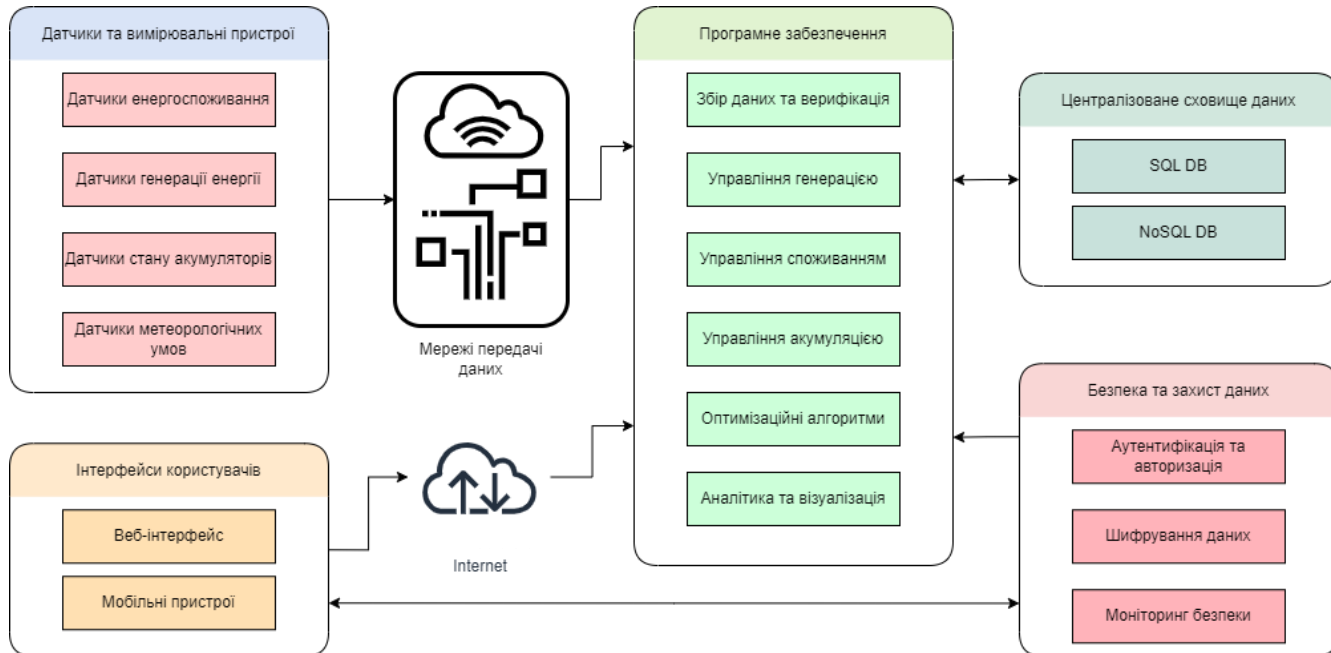


Рисунок 1 – Структура інформаційного комплексу енергетичної спільноти

Інформаційний комплекс представляє собою багаторівневу систему, що об'єднує різноманітне обладнання та програмне забезпечення. В основі лежить розподілена мережа датчиків, які збирають дані про такі показники як споживання енергії як генерацію енергії, стан систем зберігання енергії (рівень заряду акумуляторів), метеорологічні умови (сонячна інсоляція, швидкість вітру та інші фактори, що впливають на генерацію). Для зв'язку з

датчиками використовуються промислові протоколи, зокрема бездротові - Zigbee, Z-Wave, LoRaWAN та провідні - Modbus, DNP3.

Зібрані дані передаються до централізованого сховища через комунікаційну мережу (LAN та Інтернет-з'єднання) за допомогою IoT-шлюзів. Сховище даних, реалізоване на базі серверів з SQL/NoSQL базами даних, забезпечує надійне зберігання та обробку великих обсягів інформації.

Наступний рівень – спеціалізоване програмне забезпечення, що включає:

- модулі збору даних, які агрегують інформацію з різних джерел, використовуючи API доступу до первинних даних датчиків;
- аналізатори якості даних, які виконують функції контролю достовірності та цілісності даних;
- модулі керування, які реалізують алгоритми керування генерацією, споживанням та накопиченням енергії. В якості таких алгоритмів можуть використовуватися зокрема алгоритми представлені в [1];
- модулі оптимізації, які використовують алгоритми прогнозування та моделювання для визначення оптимальних режимів роботи. В якості моделей оптимізації можуть використовуватися як однокритеріальні так і багатокритеріальні моделі [2].

Рівень відображення включає панелі моніторингу, а також звіти та аналітичні дашборди, що дають змогу оцінити ефективність системи в режимі реального часу та в історичній перспективі. Інтуїтивні веб-інтерфейси забезпечують доступ до функціоналу для операторів, адміністраторів та користувачів. Приклад сторінки з відображеннями результатів оптимізації режимів функціонування джерел енергії енергетичної спільноти показано на рис. 2.

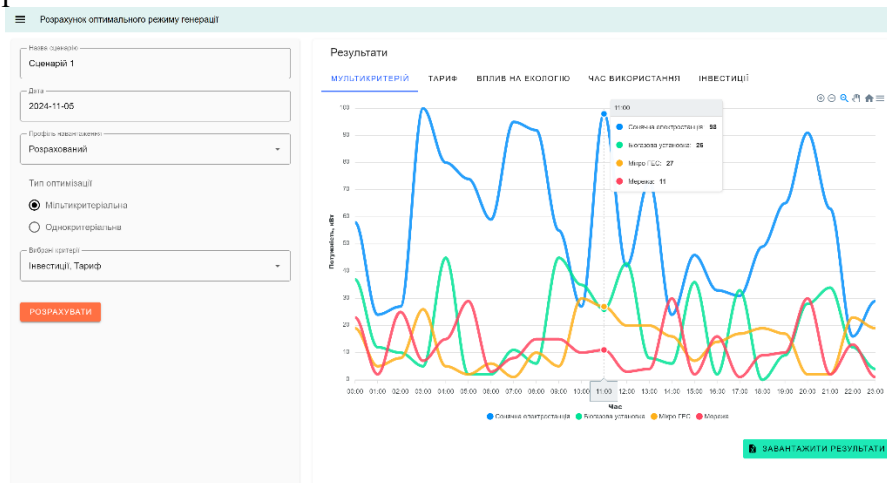


Рисунок 2 – Результати розрахунку оптимальних режимів функціонування джерел енергії

Іншим ключовим компонентом інформаційного комплексу є комплексна система безпеки, що включає аутентифікацію, авторизацію, шифрування та моніторинг безпеки, забезпечує захист даних та цілісність системи. Ефективна взаємодія всіх представлених компонентів забезпечує надійне та оптимальне функціонування енергосистеми енергетичної спільноти, сприяючи сталому та економічно вигідному використанню енергоресурсів.

Висновки. В результаті проведеного аналізу представлено архітектуру інформаційного комплексу для оптимізації енергетичних спільнот. Комплекс, що базується на багаторівневій системі збору та обробки даних дає змогу оптимізувати генерацію, споживання та розподіл енергії за допомогою модулів керування та оптимізації, включаючи алгоритми прогнозування та моделювання. Запропоноване рішення повинне сприяти

сталому та економічно вигідному використанню енергоресурсів в енергетичних спільнотах.

Список використаних джерел:

1. Veremiichuk Y., Yarmoliuk O., Pustovyi A., Mahnitko A., Zicmane I., Lomane T. Features of electricity distribution using energy storage in solar photovoltaic structure. *Latvian journal of Physics and Technical Sciences*. 2020. No. 5. Pp. 18–29. DOI: <https://doi.org/10.2478/lpts-2020-0024>.
2. Веремійчук Ю.А., Опришко В.П., Притискач І.В., Ярмолюк О.С. Оптимізація процесів розподілу електроенергії в системі електропостачання енергетичної спільноти. *Праці Інституту електродинаміки Національної академії наук України*. 2023. Вип. 66. С. 77–83. DOI: <https://doi.org/10.15407/publishing2023.66.077>.

РОЗДІЛ 2: СУЧАСНІ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА СИСТЕМИ

УДК 621.311

А.О.Омельчук¹, канд. техн. наук, ORCID 0009-0007-3964-497X.

В.В.Заколюдажний¹, асистент, ORCID ID: 0000-0001-8277-4170.

М.О.Лозова², студентка.

¹Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

²Київського національного університету імені Тараса Шевченка.

ЕКОНОМІЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЕНЕРГООЩАДНИХ ЗАХОДІВ В РОЗПОДІЛЬЧИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ

Вступ. Прикладом ефективних практичних дій з енергозбереження є роботи по нормалізації потоків реактивної потужності і її компенсації – це сприятиме зниженню втрат електроенергії в електричних мережах, що еквівалентно спорудженню додаткових генеруючих потужностей, але з меншими затратами.

Питання компенсації реактивної потужності розглядається авторами багатьох публікацій [3, 4, 5], але сучасні умови роботи електричних мереж та чинні нормативно-технічні вимоги вимагають нових підходів до найефективнішого енергозберігаючого заходу в електричних мережах.

Мета роботи: обґрунтування алгоритму роботи регульованих КУ; визначення впливу компенсації реактивної потужності на оплату за реактивні перетікання з мереж електропостачальних організацій; визначення впливу компенсації реактивної потужності на пропускну спроможність електричних мереж.

Основний зміст. Змодельовавши режим роботи регульованої конденсаторної установки, отримали графіки реактивних навантажень і ввімкненої потужності КУ (рис.1) та графіки реактивних перетікань з мережі живлення до її компенсації і після її компенсації (рис.2).

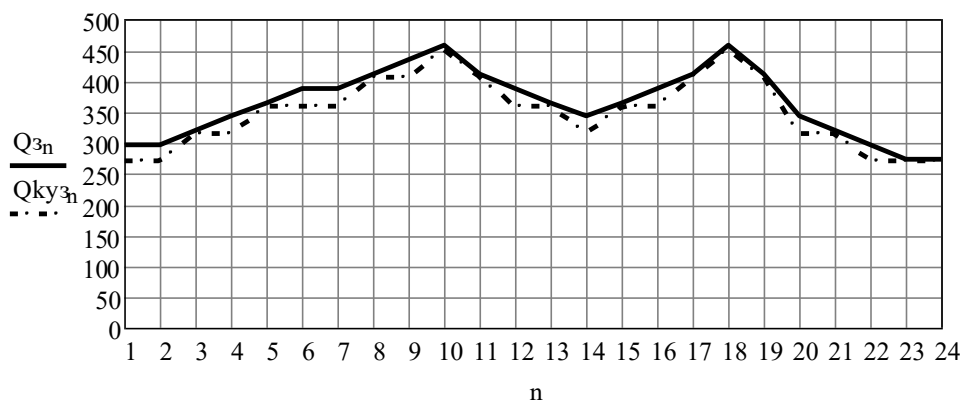


Рисунок 1 - Графіки реактивних навантажень Q_z (суцільна лінія) і ввімкненої потужності КУ $Q_{зку}$ (штрих-пунктирна лінія) для зимового періоду.

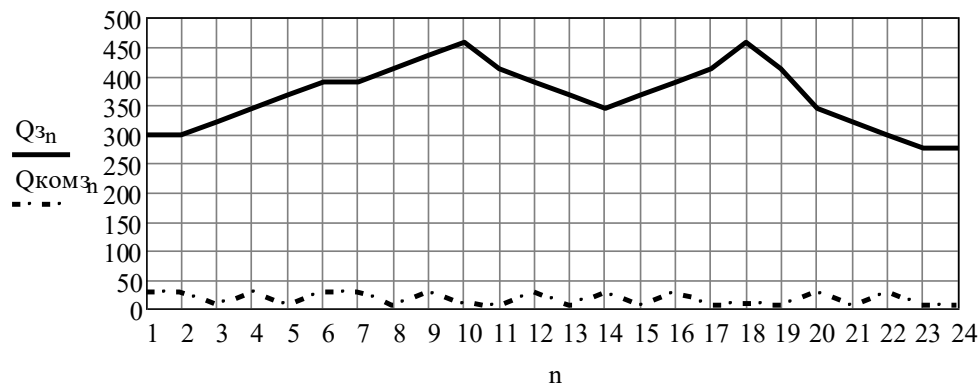


Рисунок 2 - Графіки споживання реактивної потужності з мережі живлення до її компенсації (суцільна лінія) і після її компенсації (штрих-пунктирна лінія) для зимового періоду.

Сумарна середньомісячна величина заощадженої електроенергії за рахунок зниження втрат при компенсації реактивної потужності складає $\delta W_{\text{mic}}=4443$ кВт-год. Вартість заощадженої за місяць електроенергії складає $\Pi_w=19\,110$ грн.

Розрахунок оплати за реактивні перетікання після їх компенсації показав наступні результати: $\Pi_{1k}=1873$ грн, $\Pi_{2k}=0$, $\Pi_k=1873$ грн.

Отже, зниження щомісячної плати за реактивні перетікання при їх компенсації складає:

$$\Delta\P=\Pi-\Pi_k=70100,97-1873=68230\text{ грн.}$$

Економічну ефективність компенсації реактивної потужності на шинах 0,4 кВ ЗТП-10/0,4 наглядно ілюструє щомісячний m чистий дисконтований дохід (рис.3) [2]:

В дослідженнях прийняті наступні значення коефіцієнтів $E_a=0,05$; $E_e=0,07$.

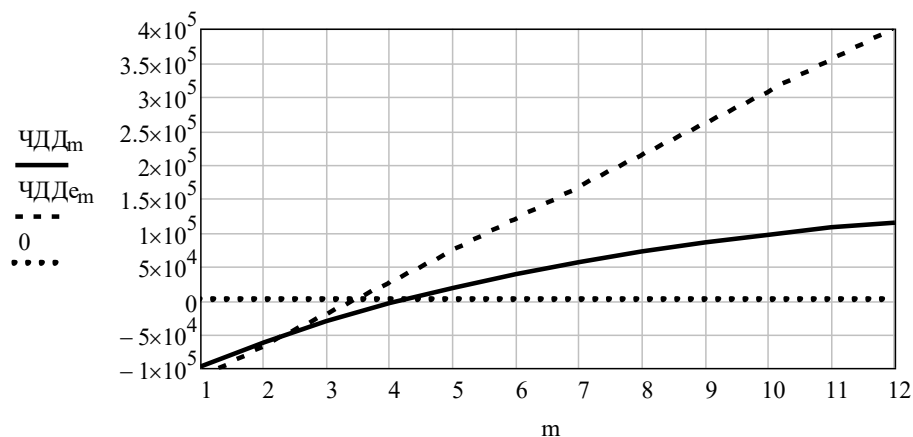


Рисунок 3 - Зміна чистого дисконтованого доходу від компенсації реактивної потужності протягом двох років експлуатації: ЧДД (суцільна лінія) - при придбанні КУ за власні кошти споживача; ЧДД_{кр} (штрих-пунктирна лінія) - при придбанні КУ за запозичені кошти.

Висновки.

Окрім зменшення втрати електроенергії в розподільчій мережі та плати споживачем за реактивні перетікання з мережі електропостачальної організації, компенсація реактивної потужності розвантажує електричну мережу живлення ЗТП, зокрема і саму підстанцію (рис.3): як приклад, для зимового періоду зниження повного навантаження підстанції протягом доби складає 20...26% розрахункового навантаження. В цілому це підвищує пропускну здатність електричної мережі, особливо в умовах перевантаження її елементів – кабелів, силових

трансформаторів. При цьому, коефіцієнт потужності добового навантаження зростає від 0,78 до 0,998-1,0.

Отримані результати дослідження показали, що сумарний дисконтований дохід за 1 рік експлуатації досліджуваної КУ складає $ЧДД_e=115200$ грн - при придбанні КУ за запозичені кошти (з урахуванням $e=0,15$) і $ЧДД_z=402700$ грн - при придбанні КУ за власні кошти споживача.

Як видно із графіків на рис.3, , для тимчасового збільшення пропускної здатності підстанції 10/0,4 кВ без її реконструкції доцільно застосувати компенсацію реактивної потужності за допомогою регульованої КУ потужністю 450 кВ*Ар вартістю 150000 грн.

Список використаної літератури

1.Методика обчислення плати за перетікання реактивної електроенергії / Наказ Міненерго та вугільної промисловості № 87 від 06.02.2018//Офіційний вісник України від 27.04.2018. - № 33. - с. 172.

2.Визначення економічної ефективності капітальних вкладень в енергетику. Методика. Енергосистеми і електричні мережі: ГКД 340.000.002-97. -К.: Міненерго України, 1997.-54 с.

3.Омельчук А.О. Енергозберігаючі режими в системах електропостачання: Навч. посібник / А.О.Омельчук. - К.: ЦП «КОМПРИНТ», 2016. - 257 с.

4.Лежнюк, П. Д. Формування умов оптимальності компенсації реактивної потужності в електричних мережах споживачів і енергопостачальних компаній : монографія / П. Д. Лежнюк, О. М. Нанака. – Вінниця : ВНТУ, 2015. – 148 с.

5.Рогальський Б. С. Обґрунтування переходу плати за споживання реактивної електроенергії на плату за реактивну потужність / Б. С. Рогальський, Л. Н. Добровольська, О. М. Нанака // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2008. – № 3. – С. 42–45.

SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF RENEWABLE ENERGY SOURCES AS A KEY TO STRENGTHENING UKRAINE'S ENERGY INDEPENDENCE

Annotation. In the conditions of modern challenges, such as armed conflicts and global climate changes, the issue of Ukraine's energy security is gaining special importance in state policy. Renewable energy sources (RES), which include solar, wind energy and biomass, can significantly strengthen Ukraine's energy independence. The development of RES not only reduces dependence on imported energy resources, but also contributes to the creation of new jobs and economic growth.

The main factor in the development of RES is state support through the implementation of legislative initiatives and financial programs. Ukraine has significant potential in the fields of solar and wind energy, which allows reducing greenhouse gas emissions and reducing the negative impact on the environment. According to the data of the Ministry of Energy of Ukraine, by 2030 it is planned to significantly increase the share of RES in the overall energy balance.

The need to transition to RES is also emphasized by Ukraine's international obligations, in particular the association agreement with the EU, which provides for the integration of energy systems and the introduction of clean technologies. Investments in RES open up new opportunities for technological development and reduction of energy costs in the long term.

Thus, the development of renewable energy sources is a decisive factor for improving Ukraine's energy security, ensuring energy independence and economic stability in the face of global challenges.

Keywords: RES (renewable energy sources), energy security, energy independence, solar energy, wind energy.

Introduction. Today, in the conditions of the global energy crisis and climate change, the development of renewable energy sources is of strategic importance for Ukraine. The use of natural resources, such as the sun, wind, water and biomass, not only contributes to environmental sustainability, but also significantly reduces the state's dependence on traditional sources of energy, especially imported ones. Renewable energy makes it possible to diversify the country's energy resources, strengthening its energy security and independence.

The purpose and tasks of research . The main goal of the study is to analyze the potential of renewable energy sources in Ukraine and determine their role in ensuring Ukraine's energy security. Research tasks include:

- about the current state of development of renewable energy sources in Ukraine.
- finding legislative, economic and technical conditions for the introduction and stimulation of the use of renewable energy.
- in the definition of scientific novelty, in particular, in the context of strategic approaches to the integration of renewable sources into the general energy system of Ukraine.
- proposals for optimizing the development of renewable sources, which will ensure the reliability and sustainability of the energy system in the long term.

Material and research results . *Scientific novelty .* The scientific novelty consists in a comprehensive approach to considering renewable energy as a key element of the state's energy security. For the first time, the study emphasizes the importance of integrating renewable sources into the energy system through infrastructure modernization and the creation of flexible and efficient energy markets.

Assessment of the state of development . Ukraine has significant potential for the use of renewable energy sources. For example, the potential of wind energy, especially in the coastal areas of the Black and Azov seas, is one of the highest in Europe. Solar energy, due to its spread, is also promising, especially in the southern regions of the country. However, the level of use of this potential still remains at a low level due to various factors, such as an imperfect legal framework, lack of investment, insufficient energy infrastructure.

Economic and technical aspects . To ensure the effective development of renewable energy, it is necessary to create a favorable environment for investors, in particular with the help of state incentives and "green" tariffs. In addition, it is necessary to carry out research on the introduction of modern energy storage technologies and improving the efficiency of electricity transmission.

Conclusions . The development of renewable energy sources is an important component of Ukraine's energy security. It helps reduce dependence on imported fuel, reduce greenhouse gas emissions, and create new jobs. The state needs to develop a long-term strategy that will provide for the consistent introduction of renewable technologies and their integration into the overall energy system. Only a comprehensive approach to the development of renewable energy will be able to provide Ukraine with stability and independence in the energy sector, which is the basis for the country's sustainable economic development.

References

1. World Bank. (2023). "Ukraine: Energy Sector Overview".
2. US Agency for International Development (USAID). (2021). "Ukraine Energy Security: An Analysis of the Current Situation and Future Opportunities.
3. European Bank for Reconstruction and Development (EBRD). (2022). "Energy Transition in Ukraine: Progress and Challenges.

Когтін Артем Анатолійович, головний інженер проекту
Державне підприємство "Державний інститут по проектуванню
підприємств коксохімічної промисловості" (ДП "ГИПРОКОКС"),
аспірант кафедри технологій переробки нафти, газу та твердого палива
e-mail: kogtin.giprokoks@gmail.com

Мірошніченко Денис Вікторович, докт. техн. наук, проф.,
завідувач кафедри технологій переробки нафти, газу та твердого палива
Національний Технічний Університет «Харківський Політехнічний Інститут»,
e-mail: dvmir79@gmail.com

ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ УСТАНОВОК СУХОГО ГАСІННЯ КОКСУ ШЛЯХОМ ВИКОРИСТАННЯ НАДЛИШКОВОГО ЦИРКУЛЮЮЧОГО ГАЗУ

Питанням енергоефективності в коксохімічній галузі приділяється велика увага. Так на коксохімічних виробництвах (КХВ) реалізується комплекс заходів по максимально повному використанню наявних вторинних енергетичних ресурсів (ВЕР), що дозволяє окрім економії природних енергоресурсів, знизити витрати на сировину, первинне паливо, електроенергію та інші ресурси, які в значній мірі впливають на собівартість основних продуктів, а отже і на економічну ефективність виробництва в цілому.

Технологія сухого гасіння коксу рекомендована [1] до застосування при будівництві нових та модернізації існуючих коксових батарей, як одна з найкращих доступних технологій для використання ВЕР та мінімізації викидів забруднюючих речовин при виробництві коксу.

Ця технологія має безліч переваг над мокрим гасінням [2].

В теперешній час внаслідок подорожчання енергоресурсів інтерес до технології сухого гасіння значно зріс. Тому підвищення ефективності технології сухого гасіння коксу є актуальною задачею.

Відомо, що в процесі сухого гасіння коксу циркулюючим газом утворюється деяка кількість надлишкового газу ($\geq 80 \text{ нм}^3$ на 1 т погашеного коксу), який необхідно безперервно виводити з циклу. Цей газ зазвичай не використовується та скидається в атмосферу. Це призводить до безповоротних втрат цього теплоносія та забруднення навколишнього середовища.

Надлишковий газ, що скидається, має доволі високу температуру і містить у своєму складі значний вміст горючих компонентів. Так на установках сухого гасіння коксу (УСГК) конструкції ДП «ГИПРОКОКС» (за сталого технологічного режиму) циркулюючий газ може містити у своєму складі: CO до 12 %, H_2 до 3 %, CH_4 до 0,6 %; витрата газу залежить від режиму роботи і, наприклад, для блоку потужністю 180 т/год по гасінню коксу може становити до $15\,000 \text{ нм}^3/\text{ч}$, температура газу до 180°C .

Тому скидання надлишкового циркулюючого газу в атмосферу, призводить не лише до втрати цінного теплоносія, а й до значного забруднення навколишнього середовища.

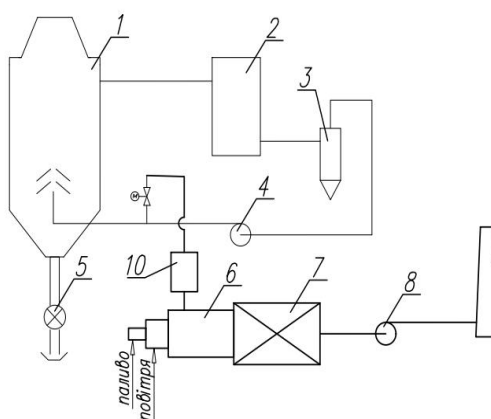
Використання надлишкового циркулюючого газу дозволяє підвищити енергетичну ефективність процесу, знизити шкідливий вплив на довкілля, додатково поліпшити якісні показники коксу та знизити його втрати (угар) [3].

Використання надлишкового циркулюючого газу УСГК можливо наступними способами:

- доспалювання надлишкового циркулюючого газу УСГК в спеціальному котлі-утилізаторі з додаванням коксового газу. В результаті може бути отримано значну кількість водяної пари енергетичних параметрів;

- використання надлишкового газу УСГК, як паливного. Передбачається передача попередньо охолодженого та очищеного (від коксового пилу) надлишкового циркулюючого газу в газопровід доменного газу. Технологія передбачає підвищення калорійності надлишкового циркулюючого газу в результаті його змішування з газом більш високої калорійності (природним або коксовим).

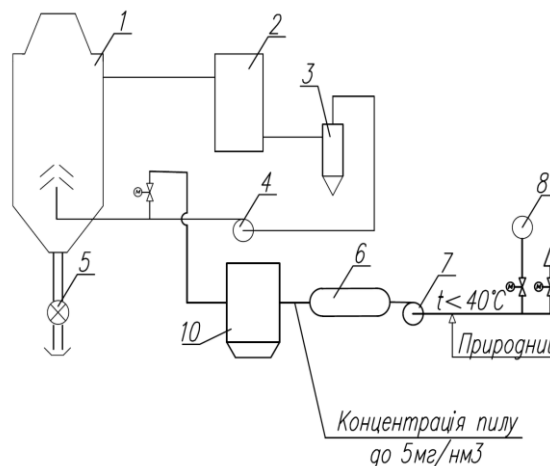
Принципові схеми таких установок зображені на рис.1 та 2.



На схемі представлено:

- а) обладнання УСГК: 1 - камера гасіння коксу; 2 – котел-утилізатор УСГК; 3 – пиловловлююче обладнання (циклони або мультициклон); 4 – циркуляційний вентилятор (димосос); 5 – розвантажувальний пристрій;
б) обладнання вузла утилізації: 6 – реактор; 7 – поверхні нагрівання котла-утилізатора; 8 – димосос; 9 - димова труба; 10 – пиловловлюючий пристрій.

Рис.1. Принципова схема утилізації надлишкового циркулюючого газу УСГК шляхом спалювання у спеціальному котлі-утилізаторі



На схемі представлено:

- а) обладнання УСГК: 1 - камера гасіння коксу; 2 – котел-утилізатор УСГК; 3 – пиловловлююче обладнання (циклони або мультициклон); 4 – циркуляційний вентилятор (димосос); 5 – розвантажувальний пристрій;
б) обладнання вузла утилізації: 6 – охолоджувач; 7 – димосос; 8 – газопровід доменного газу; 9 – аварійне скидання; 10 – фільтр.

Рис.2. Принципова схема передачі надлишкового циркулюючого газу УСГК у газопровід доменного газу

Використання вузла утилізації надлишкових циркулюючих газів (рис.1) забезпечує додатково вироблення пари до 14 т/год (параметри: тиск 4,0 МПа, температура 440 °С), яка може бути використана для видобутку електроенергії або на технологічні потреби підприємства, а також суттєво знизити концентрацію шкідливих речовин у скидних газах.

Передача в газопровід доменного газу (рис.2) дозволяє повністю виключити викиди надлишкового циркулюючого газу УСГК в атмосферу, а також забезпечити економію у перерахунку на природний газ у кількості до 4 997 тис.нм³/рік за рахунок використання його у теплових установках за межами УСГК.

Висновки

Досвід впровадження установок доводить можливості ефективно утилізувати надлишкові циркулюючі гази УСГК: забезпечити виключення викидів СО та пилу через «холодні свічки» УСГК та реалізувати ефективне використання хімічного тепла, що міститься в надлишкових циркулюючих газах.

Використання установок дозволяє підвищити енергоефективність УСГК, а також забезпечити екологічну безпеку процесу.

Список використаної літератури

1. Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Iron and Steel Production, 2013.
2. Справочник коксохимика. В 6-ти томах. Том 2. Производство кокса / Под общ. ред. В.И. Рудыки, Ю.Е. Зингермана. – Харьков: издательский дом «ИНЖЕК», 2014. – 728 с.
3. Кравченко С.О., Мирошніченко Д.В. Утилізація надлишкового газу УСГК // Вуглехімічний журнал. – 2023. - №2.

References

1. Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Iron and Steel Production, 2013.
2. Directory of coke chemist. In 6 volumes. Volume 2. Coke production / Ed. ed. V.I. Rudyka, Yu.E. Zingerman. – Kharkov: publishing house “INZHEK”, 2014. – 728 p.
3. Kravchenko S.A., Miroshnichenko D.V. Coke dry cooling plant excess gas utilization // Journal of Coal Chemistry. – 2023. - №2.

АНАЛІЗ ЗАСТОСУВАННЯ СУШАРКИ НА БАЗІ ТЕРМОСИФОНІВ В ЛІНІЇ СУШІННЯ ЗЕРНА

У сучасних умовах зростаючого споживання енергії, дефіциту енергетичних ресурсів, гостро ставляться питання раціонального використання енергії в усіх процесах харчової технології, включаючи сушіння. У багатьох харчових технологіях використовується в 2...3 рази більше енергії, ніж її фізично необхідно на процес. Процеси сушіння відносяться до найбільш енергоємних, і в багатьох випадках частка енергії в собівартості продукції становить до 30 %.

При сушінні зерна використовують в основному шахтні конвективні сушарки, енерговитрати яких становлять 5 МДж/кг видаленої вологи і вище, при необхідному фізичному мінімумі на випаровування вологи 2,5 МДж/кг. ККД сучасних конвективних сушарок становить всього 40 % [1].

Енергоаудит є ключовим етапом оцінки ефективності використання енергії на підприємствах. Він дозволяє виявити нераціональні втрати енергії та запропонувати технічні заходи для їх зменшення.

Аграрна компанія НІБУЛОН є одним з найбільших українських експортерів і виробників сільськогосподарської продукції. На головному перевантажувальному терміналі цієї компанії, що базується у м. Миколаєві, встановлено 4 сучасні американські модульні газові сушарки шахтного типу від компанії Mathews Company серії Legacy з різним числом зон сушіння.

Як об'єкт для енергоаудиту було вибрано ділянку сушіння зерна. Аналіз господарської діяльності підприємства і його технологічних процесів показав, що саме на цій ділянці в технологічній схемі можна істотно змінити техніко-економічні показники виробництва. При проведенні аудиту використовувались технічні показники сушарки Legacy 1250.

З бункера сирого зерна сировина через конвеєр йде на норію, а з норії - безпосередньо на сушіння. Після сушіння зерно конвеєром надходить в бункер сухого зерна.

Питомі енерговитрати (на кілограм продукції) лінії представлені в таблиці 1.

Таблиця 1

Питомі енерговитрати лінії сушіння

Обладнання	Э, кВт	Q, кВт	Э _{пит} , кДж/кг
Стрічковий конвеєр КЛС-1	3.5		1.05
Норія ковшова Н-10	1.1		0.33
Сушарка Legacy 1250	22.2	1464	445.9
Стрічковий конвеєр КЛС-1	3.5		1.05
Норія ковшова Н-10	0.75		0.23
Сумарні енерговитрати лінії			448.5

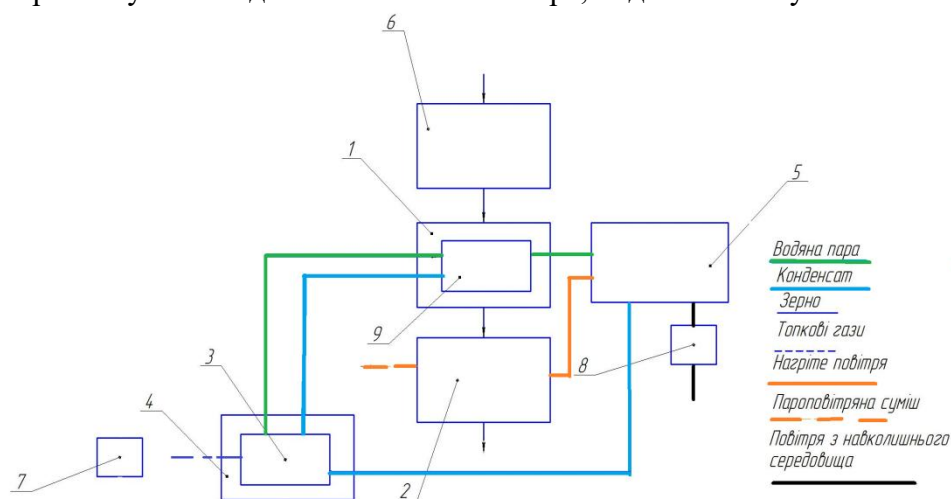
Ефективність апарата визначається кількістю енергії, що витрачається на процес для досягнення необхідного технологічного ефекту. У таблиці: Э, кВт – кількість електричної енергії, споживаної установками, Q, кВт – кількість теплової енергії, споживаної установками, Э_{пит}, кДж/кг – питомі витрати енергії на виробництво продукції.

Після аналізу даних видно, що найбільший сегмент – сушіння – складає 445,9 кДж/

(кг продукції).

На кафедрі процесів, обладнання та енергетичного менеджменту ОНТУ була запропонована та розроблена конструкція зерносушарки на базі термосифонів, яка здатна зробити вагомий внесок в оптимізацію енерговитратних процесів на українських виробництвах.

Сушарка містить шаровий підігрівник 1, сушильну камеру 2, випарник 3 шарового підігрівника, який знаходиться в газоході теплогенератора 4, а конденсатор 9 всередині шарового підігрівника 1, термосифонний калорифер 5, норію 6 для завантаження продукту, вентилятор 7, вентилятор 8. У корпусі сушильної камери виконані канали для відводу пароповітряної суміші за допомогою вентилятора, з'єднаного із сушильною камерою.



1 - шаровий підігрівник, 2 - сушильна камера, 3 – випарник шарового підігрівника, 4 - теплогенератор, 5 - термосифонний калорифер, 6 – норія, 7 – вентилятор, 8 – вентилятор, 9 – конденсатор шарового підігрівника

Мал.1. Блок-схема зерносушарки

Сушарка працює у наступний спосіб. При згорянні палива у теплогенераторі 4 утворюються гази згорання, що нагрівають випарник 3. Всередині випарника утворюється водяна пара, яка поступає у конденсатор 9. Зерно подається норією 6, зіштовхується з нагрітою поверхнею конденсатора 9 й нагрівається до температури сушіння. Водяна пара віддає теплоту і конденсується, конденсат під дією гравітаційних сил повертається у випарник 3. Зерно у шаровому підігрівнику 1 і сушильній камері 2 рухається щільним гравітаційним шаром.

Гази згорання, що пройшли через випарник 3, направляються до термосифонного калорифера 5, де теплота передається до повітря з навколишнього середовища, яке подається вентилятором 8. Підігріте повітря подається до сушильної камери 2, насичується вологою із продукту і видаляється через канали на корпусі камери. Зниження енерговитрат досягається за рахунок використання принципів адресної доставки енергії до продукту та автономності системи.

Розрахунки показали, що питомі витрати конструкції на базі термосифонів складають 3,6 МДж/(кг видаленої води), що значно краще за 7,8 МДж/(кг видаленої води) в сушарці Legasy 1250.

Питомі енерговитрати на сушіння можливо буде зменшити до 209,6 кДж/ (кг продукції).

Створений зразок зерносушарки на базі термосифонів продуктивністю 12 т/год можливо буде застосовувати для обробки: малих партій насіння, селекційного насіння, зерна безпосередньо у виробника.

Впровадження енергоефективних технологій сушіння на підприємствах забезпечує

зниження енергоємності виробництва, покращує якість продукції та сприяє екологічній безпеці. Подальші дослідження спрямовані на вдосконалення конструкцій сушарок і розширення сфер їх застосування.

Література

1. Бурдо О. Г. Еволюція сушильних установок: монографія / О. Г. Бурдо. — Одеса: Поліграф, 2010. — 368 с. — ISBN 978-966-8788-98-7.

СУЧАСНІ ПІДХОДИ ДО ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ЕЛЕКТРИФІКАЦІЇ МІСЬКОГО РЕЙКОВОГО ТРАНСПОРТУ

Зростання цін на енергоносії та потреба в зменшенні викидів ставлять перед міським транспортом завдання зниження енергоспоживання. Використання двигунів постійного струму (ПС), зокрема PMDC (Permanent Magnet DC Motors), дозволяє підвищити енергоефективність через вдосконалення систем керування.

PMDC двигуни використовують постійні магніти замість обмоток збудження, що зменшує теплові втрати і підвищує ефективність. Це забезпечує високу щільність енергії, компактність та зниження ваги, що є важливим для міського транспорту з частими зупинками. PMDC двигуни мають високий коефіцієнт корисної дії, зменшують втрати на нагрівання і покращують довговічність обладнання.

Широтно-імпульсна модуляція (ШІМ): Використовується для регулювання швидкості обертання ротора, змінюючи середню напругу живлення, що дозволяє оптимізувати енергоспоживання та адаптувати потужність під змінні умови роботи. Середня напруга визначається як:

$$V_{avg} = V_{max} \times D$$

де V_{max} — максимальна напруга, а D — коефіцієнт заповнення.

Двигуни постійного струму та PMDC можуть працювати у режимі рекуперативного гальмування, повертаючи до 25% кінетичної енергії у систему. Рекуперована енергія розраховується за формулою[5]:

$$W = \frac{1}{2}mv^2$$

де m — маса транспорту, а v — його швидкість. Енергія може бути збережена в накопичувачах або передана в електромережу.

Для забезпечення стабільності роботи двигунів використовується система зворотного зв'язку за струмом. Регулювання напруги здійснюється за формулою:

$$V_{out} = R \cdot I + L \frac{dt}{dt},$$

де V_{out} — вихідна напруга, R — опір, I — струм, L — індуктивність.

Що дозволяє уникати пікових навантажень і мінімізувати теплові втрати.

Використання методів математичного моделювання, зокрема методів кінцевих елементів (FEM), дозволяє прогнозувати навантаження і споживання енергії, оптимізувати режими керування двигунами. Загальне енергоспоживання розраховується як:

$$E = \sum_{i=1}^n (V_i \cdot I_i \cdot t_i)$$

де V_i та I_i — напруга і струм на інтервалі часу t_i .

Це забезпечує точне налаштування режимів роботи для зменшення витрат енергії.

Оптимізація керування двигунами постійного струму, зокрема PMDC, через використання ШІМ, рекуперацію та контроль струму забезпечує підвищення енергоефективності міського рейкового транспорту. Це дозволяє не тільки знизити витрати на електроенергію, але й зменшити екологічний вплив, сприяючи сталому розвитку міської інфраструктури.

Практичні приклади та результати

Нові магнітні матеріали: Використання нових матеріалів для постійних магнітів збільшує термін служби PMDC двигунів на 30% .

Методи ШІМ: Нові методи регулювання ШІМ дозволяють зменшити втрати на комутацію на 25%, збільшуючи ефективність систем[1].

Рекуперативні системи: У Лондонському метро впровадження систем рекуперації енергії дозволило знизити загальне енергоспоживання на 10-20%.

Інновації в області інверторів: Використання сучасних інверторів на основі IGBT-транзисторів дозволяє підвищити ефективність перетворення енергії на 10-15%.

Висновки

Застосування двигунів постійного струму з постійними магнітами (PMDC) у міському рейковому транспорті сприяє підвищенню енергоефективності та зниженню витрат на електроенергію. Використання сучасних методів керування, таких як ШІМ, контроль струму та рекуперація енергії, дозволяє досягти значного скорочення втрат і підвищити загальну продуктивність транспортних систем. Математичне моделювання забезпечує точне налаштування режимів роботи двигунів, що сприяє сталому розвитку міської транспортної інфраструктури та зниженню екологічного впливу.

Список літератури

1. M. Niasati and A. Gholami, "Overview of stray current control in DC railway systems", Proc. IET Int. Conf. Railway Eng. (ICRE), pp. 1-6, 2008
2. Електропостачання електричного транспорту: навч. посіб./В. Х. Далека, В. К. Нем, В. І. Скуріхін; Харк. нац. акад. міськ. госп-ва. – Х.: ХНАМГ, 2012. – 168 с.
3. Мокін Б. І., Мокін О. Б. Ідентифікація параметрів моделей та оптимізація режимів системи електропривода трамвая з тяговими електродвигунами електродвигунами постійного струму. Монографія. – Вінниця: Універсум 2008. – 92с.
4. Кухта О. О. Аналіз методів підвищення ефективності енергії рекуперації рейкового електротранспорту / Олександр Олександрович Кухта. // Вісник Хмельницького національного університету.. – 2024. — №4. – С. 397–405.
5. Кухта О. О. Моделювання режиму рекуперативного гальмування у системі тягової підстанції / Олександр Олександрович Кухта. // Вісник Хмельницького національного університету.. – 2024. – №3. – С. 342-348.

АНАЛІЗ СПОСОБІВ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

У сучасних електромережах проблема гармонічних спотворень стає дедалі актуальнішою через зростання кількості нелінійних навантажень. Це призводить до втрат енергії, погіршення роботи обладнання та зниження якості електроенергії, важливої для стабільності промислових і побутових споживачів. Для боротьби зі спотвореннями використовують фільтрокомпенсуючі пристрої, розділові трансформатори, тиристорні компенсатори та активні компенсатори, але їх ефективність і застосування є досить обмеженими.

Гармонічні спотворення в електромережах, спричинені сучасними електронними пристроями, зокрема перетворювачами частоти та нелінійними навантаженнями, призводять до енергетичних втрат, зниження ефективності обладнання та збоїв у роботі чутливих пристроїв, що впливає на стабільність мереж.

Одним із основних методів компенсації гармонік є використання фільтрокомпенсуючих пристроїв (ФКП). Найбільшого поширення набули ФКП трьох видів: пасивні, активні та гібридні. Кожен із типів ФКП має як свої переваги, так і недоліки. В роботах [1-3] розглянуті переваги й недоліки використання пасивних фільтрів, серед яких однією з основних є висока надійність і довговічність. Пасивні фільтри, завдяки простій конструкції з конденсаторів та індуктивностей, забезпечують тривалу стабільну роботу без частого обслуговування. Вони економічно вигідніші за активні фільтри й підходять для застосувань із помірними вимогами до фільтрації. Вони здатні ефективно фільтрувати певні гармоніки в стабільних навантаженнях і простих системах, де не потрібно враховувати великі зміни в спектрі гармонік [4,5].

Пасивні фільтри мають недоліки: великі габарити, обмежену ефективність за складних спектрів спотворень, потребу в точному налаштуванні й обмеження у придушенні кількох гармонік.. Ризик резонансу між конденсаторами й трансформаторами може спричинити перегрів і пошкодження обладнання, що впливає на стабільність і безпеку мереж. Активний фільтр є пристроєм, який використовує електронні компоненти для поліпшення якості електричної енергії. Його головною перевагою є здатність адаптуватися до змінних умов роботи та компенсувати різні гармоніки одночасно [6].

Активний фільтр завдяки гнучкому управлінню пригнічує гармоніки, коригує коефіцієнт потужності та зменшує перехідні процеси. Він компактніший і ефективніший за пасивні системи, а також має триваліший термін служби, оскільки не залежить від старіння компонентів.

Однак недоліками активного фільтра є його висока вартість та складність у налаштуванні [7,8]. Використання сучасних напівпровідникових елементів і складних систем управління значно збільшує початкові витрати. Окрім цього, активні фільтри споживають додаткову енергію для свого функціонування, що знижує загальну ефективність системи. Чутливість до якості живлення та ризик перегріву чи виходу з ладу електронних компонентів можуть впливати на надійність. Інжекція електромагнітних шумів, яку створюють активні фільтри, також потребує додаткових заходів для її мінімізації.

Таким чином, виникає гостра потреба у розробці ефективних, економічно доцільних методів компенсації гармонічних спотворень, які забезпечать гнучкість, надійність, енергоефективність і простоту впровадження для покращення якості електроенергії в сучасних мережах.

Список використаної літератури

1. Волков І. В., Подольний С. В., Маруня Ю. В. Порівняльний аналіз пасивних, активних та гібридних фільтрів гармонік струму для частотно-регульованого електроприводу // Технічна електродинаміка. – 2020. – №3. – С. 40–45.
2. Бортник К. Я. Інноваційні технології в енергозбереженні по компенсації реактивної потужності // Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво. – 2014. – №14. – С. 124–127.
3. Якунін О. А., Калугіна О. С., Беляк Є. С. Попереджувальне керування пристроями компенсації реактивної потужності та фільтрації гармонік // Комунальне господарство міст. Серія: Технічні науки та архітектура. – 2015. – №121. – С. 95–98.
4. Czornik J., Haltof M. Wpływ filtrów harmoniczných na poprawę parametrów energii elektrycznej w punkcie przyłączenia // Przegląd Elektrotechniczny. – 2020. – Vol. 96, Iss. 3. – С. 1–5. DOI: <https://doi.org/10.15199/48.2020.03.11>
5. Azebaze Mboving C. S. Investigation on the work efficiency of the LC passive harmonic filter chosen topologies // Electronics. – 2021. – Vol. 10, Iss. 8. – С. 896.
6. Катюха А. А., Сілі І. І. Методи та пристрої компенсації вищих гармонік струму // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. – 2013. – Т. 13, №2. – С. 178–182.
7. Чорна В. О., Кудряшов О. О. Порівняльний аналіз ефективності пасивного та активного фільтрів вищих гармонік в мережі з нелінійним навантаженням // Вісник Приазовського Державного Технічного Університету. Серія: Технічні науки. – 2024. – №48. – С. 83–91.
8. Lam C. S., Wong M. C. Design and Control of Hybrid Active Power Filters. – Springer, 2014. – 217 с.

References

1. Volkov, I. V., Podolnyi, S. V., & Marunia, Yu. V. (2020). Comparative analysis of passive, active, and hybrid harmonic filters for frequency-controlled electric drives. *Tekhnichna Elektrodynamika*, (3), 40–45.
2. Bortnyk, K. Ya. (2014). Innovative technologies in energy saving for reactive power compensation. *Computer-Integrated Technologies: Education, Science, Production*, (14), 124–127.
3. Yakunin, O. A., Kaluhina, O. S., & Belyak, Ye. S. (2015). Predictive control of reactive power compensation devices and harmonic filtering. *Municipal Economy of Cities. Series: Technical Sciences and Architecture*, (121), 95–98.
4. Czornik, J., & Haltof, M. (2020). The influence of harmonic filters on improving the parameters of electric energy at the connection point. *Przegląd Elektrotechniczny*, Vol. 96, Iss. 3, pp. 1–5. DOI: <https://doi.org/10.15199/48.2020.03.11>
5. Azebaze Mboving, C. S. (2021). Investigation on the work efficiency of the LC passive harmonic filter chosen topologies. *Electronics*, 10(8), 896.
6. Katiukha, A. A., & Sili, I. I. (2013). Methods and devices for higher current harmonics compensation. *Proceedings of the Tavria State Agrotechnological University*, (13, Vol. 2), 178–182.
7. Chorna, V. O., & Kudriashov, O. O. (2024). Comparative analysis of the efficiency of passive and active harmonic filters in a network with nonlinear loads. *Bulletin of the Pryazovskyi State Technical University. Series: Technical Sciences*, (48), 83–91.
8. Lam, C. S., & Wong, M. C. (2014). *Design and Control of Hybrid Active Power Filters*. Springer, 217 p.

ОГЛЯД СИСТЕМ ПОКРАЩЕННЯ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

Вступ. Якість електроенергії є одним із ключових чинників ефективності роботи сучасних енергосистем. Останніми роками спостерігається погіршення якості електричних мереж через низку факторів [1-6]:

- Збільшення кількості напівпровідникових пристроїв. Інвертори, частотні перетворювачі, блоки живлення для сучасної техніки і побутових приладів створюють значні гармонійні викривлення, негативно впливаючи на стабільність роботи мережі.
- Зростання обсягів споживання енергії. Інтенсивне використання новітнього обладнання призводить до перевантажень у мережах.
- Підключення відновлюваних джерел енергії. Сонячні і вітрові електростанції, через свою нестабільність, спричиняють коливання напруги та частоти.
- Старіння енергетичної інфраструктури. Значна частина українських мереж побудована ще в середині минулого століття і не пристосована до сучасних навантажень.
- Відсутність автоматизованого контролю. Недостатнє використання сучасних систем моніторингу параметрів електромережі ускладнює ідентифікацію та ліквідацію проблем.

Ці чинники створюють серйозні виклики для енергетичної системи, потребуючи впровадження нових рішень для стабілізації параметрів мережі згідно зі стандартами ДСТУ EN 50160:2014 [4].

В умовах війни енергетична система України зазнала значних пошкоджень, але це також створює можливості для модернізації мереж.

Мета роботи. Аналіз сучасних методів покращення якості електроенергії, зокрема шляхом використання SVG (Static Var Generator), та оцінка їх перспектив впровадження в енергосистемах України.

Матеріал і результати дослідження. Для забезпечення високої якості електроенергії використовуються як традиційні, так і новітні методи. Розглянемо їх особливості, ефективність і недоліки.

До традиційних методів відносяться конденсаторні батареї (основне призначення - компенсація реактивної потужності, зменшення втрат енергії) та пасивні фільтри гармонік (основне призначення – усунення викривлень синусоїдальної форми напруги та струму.) Такі методи є малоефективними для покращення якості електричної енергії та підвищення електромагнітної сумісності, оскільки жорсткі вимоги висуваються стандартами на якість електричної енергії.

На рівні підстанцій можливо регулювання напруги для забезпечення стабільності напруги у мережі, недоліком є залежність від стану мережі, висока ймовірність втрат на передачу енергії.

Сучасні методи ґрунтуються на використанні активних фільтрів, статичних генераторів реактивної потужності, коректорів коефіцієнта потужності та активних випрямлячів.

Проведено порівняльний аналіз (табл.1).

Порівняльна характеристика показала, що статичні генератори реактивної потужності Static Var Generator (SVG) є одним з найкращих пристроїв покращення електричної енергії

Основне призначення статичних генераторів реактивної потужності є динамічна компенсація реактивної потужності, зменшення гармонійних спотворень, підвищення стабільності напруги.

Переваги:

- Швидкодія: Реакція на зміни навантаження за кілька мілісекунд.
- Гнучкість: Можливість адаптації до будь-якого типу навантаження.
- Універсальність: Використання в різних типах мереж (промислових, комерційних, житлових).

▪ Зменшення втрат: Оптимізація потужності та підвищення пропускної здатності мережі.

Недоліки: Висока початкова вартість обладнання, проте вона швидко окуповується завдяки зменшенню втрат і підвищенню ефективності.

Таблиця 1 – Порівняльний аналіз методів покращення якості електричної мережі

Метод	Швидкість реакції	Ефективність боротьби з гармоніками	Гнучкість	Вартість
Конденсаторні батареї	Низька	Неефективні	Обмежена	Низька
Пасивні фільтри гармонік	Помірна	Обмежена частотами	Обмежена	Середня
Активні фільтри гармонік	Висока	Висока	Висока	Висока
Статичні генератори реактивної потужності (SVG)	Дуже висока	Висока	Дуже висока	Висока

Згідно з публікацією в IEEE Power and Energy Magazine (2022) [6], впровадження SVG у промислових мережах Китаю та Німеччини дозволило зменшити втрати енергії на 15-20%, покращити стабільність напруги на 30% і знизити гармонійні викривлення до нормативного рівня. Для України ці результати вказують на великий потенціал впровадження SVG у промислових, міських і сільських мережах.

Висновки.

Проведено огляд систем покращення якості електричної енергії, проведено їх порівняння

Впровадження SVG дозволить:

- Зменшити втрати енергії та підвищити стабільність постачання.
- Забезпечити відповідність параметрів електроенергії міжнародним стандартам ДСТУ EN 50160:2014.
- Інтегрувати відновлювані джерела енергії в надійну систему.

Список використаних джерел:

5. Касаткіна І.В., Бойко С.М., Вишневецький С.Я. "Аспекти якості електроенергії в мережах живлення". – Вінниця: ВНТУ, 2020. – С. 45–52.
6. Лесько В.О., Кулик В.В., Нетребський В.В. "Оптимізація режимів роботи енергосистем". – Вінниця: ВНТУ, 2020. – С. 138–145.
7. Сінчук І., Котякова М. "Підхід до покращення якісних показників електроенергії залізничних підприємств". – Журнал КНУ, Том 21, №2, 2023. – С. 67–75.
8. ДСТУ EN 50160:2014. Характеристики напруги електропостачання в електричних мережах загальної призначеності. – Київ: Мінекономрозвитку України, 2014. – С. 10–15.
9. IEEE Power and Energy Magazine. "Міжнародний досвід застосування SVG". – Листопад/Грудень 2022. – С. 30–35.

GENERAL OVERVIEW OF CHALLENGES IN THE OPERATION OF DC CONVERTERS IN INVERTERS OF PHOTOVOLTAIC POWER PLANTS UNDER VARIABLE LOAD CONDITIONS

In the context of the global transition to renewable energy, photovoltaic power plants (PVPPs) have become crucial as an efficient means of generating clean electricity. However, effective conversion of solar energy into usable electrical current requires specialized devices capable of adapting the output parameters of solar panels. DC-DC converters play a pivotal role by stabilizing and regulating output voltage and current for optimal PVPP operation, ensuring maximum energy utilization. They adjust the output voltage based on requirements, performing two critical tasks: integrating renewable energy sources into the grid and identifying the Maximum Power Point (MPP) on the I-V curve using suitable MPPT algorithms. Ideally, DC-DC converters operating in switching mode have 100% efficiency, but in practice, conduction and switching losses reduce this. Voltage waveforms exhibit characteristic switching patterns requiring filtering through capacitors and inductors. Thus, DC-DC converter circuits always include at least one power switch with these components. When paired with inverters in PVPPs under variable load conditions, several issues can arise, potentially compromising the system's overall efficiency and stability.

DC-DC converters regulate current and voltage according to load requirements, ensuring stable power delivery for devices or inverters, which is crucial for reliable operation. This capability allows systems to maintain optimal performance even under variable load conditions. In solar energy systems, DC-DC converters are vital for the stable operation of panels and connected devices. They maintain voltage and current at the Maximum Power Point (MPP) to maximize energy extraction. By stabilizing the output, DC-DC converters ensure that inverters efficiently convert DC from panels into AC for grid integration. The primary DC-DC converter control schemes used in modern systems are illustrated in Figure 1.

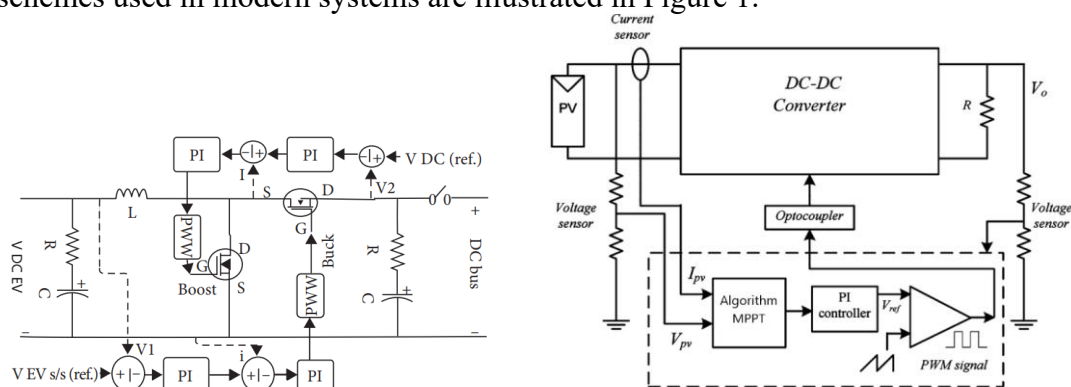


Figure 1 - Voltage and current control scheme of the DC-DC converter.

The circuits and algorithms shown in the figure [1,2] are used in modern converters for photovoltaic power stations. However, they may not function correctly under varying load conditions. This is important because poor adaptation to load changes can lead to voltage and current fluctuations, power reduction, and deterioration in inverter performance, ultimately lowering the system's productivity and reliability. When considering the operation of solar power plants under dynamic loads, where power requirements change rapidly, several issues can arise

that may affect system stability. Changes in load can lead to a decrease in the stability of output voltage and current if the system fails to adapt quickly, causing voltage fluctuations. This impacts the efficiency of the inverter, which converts DC from panels into AC for grid use. Additionally, the MPPT algorithm, responsible for finding the Maximum Power Point, may struggle under rapid load changes, reducing energy efficiency and overall performance.

Dynamic load variations present significant challenges to the operation of photovoltaic power stations, especially concerning inverter efficiency and system stability. Rapid load changes can disrupt the inverter's ability to adapt, resulting in power losses and diminished performance. Switching processes under dynamic loads introduce current and voltage ripples, increasing electromagnetic interference and reducing energy quality. Voltage spikes destabilize critical components like inverters and DC-DC converters, while the deviation from the Maximum Power Point (MPP) decreases energy capture efficiency.

Additionally, abrupt changes in load and solar intensity create difficulties for MPPT algorithms, delaying their response and reducing the system's ability to sustain optimal energy conversion. These fluctuations often lead to decreased overall stability and the inability to maintain maximum output from the solar panels.

To address these challenges, integrated control systems combining DC-DC converters, advanced MPPT algorithms, and robust inverters are essential. These systems rapidly adapt to changing conditions, maintaining stable voltage and current levels. This approach ensures better adherence to the MPP, enhances energy output, and stabilizes the overall performance of photovoltaic stations even under fluctuating load conditions.

Список літератури

1. Omar, N., Tiwari, A., Seethalekshmi, K., & Shrivastava, N. (2022). A Novel Controller Design for Small-Scale Islanded Microgrid Integrated with Electric Vehicle-Based Energy Storage Management. *International Transactions on Electrical Energy Systems*, 2022. <https://doi.org/10.1155/2022/5059215>
2. Al-Hanahi, B., & Akin, B. (2018). MPPT controlled DC-DC converter design and application for three stages battery charger [Book]. 2018/06/25.

ІНТЕГРАЦІЯ ПРОЦЕСУ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ТЯГОВИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ В КОМПЛЕКСИ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО КЕРУВАННЯ ЕНЕРГОПОТОКАМИ ПІДЗЕМНИХ РУДНИКІВ

Розвиток інтелектуальних систем енергопостачання відкриває нові можливості для управління процесом енергоспоживання на гірничодобувних підприємствах взагалі та з підземними способами видобутку залізної руди зокрема. Важливим складовим елементом інфраструктури СЕП підземних рудників є система електропостачання електровозної відкатки. Електровозний транспорт є одним із ключових складових технології видобутку залізної руди і застосовуються для перевезення руди та інших матеріалів у підземних умовах. При цьому відсоток споживання ЕЕ цим видом транспорту в умовах рудників сягає 10-12% від загального обсягу. Тому логічно, що система тягового електропостачання як складова СЕП аналізованого виду виробництва повинна формуватись в варіанті підготовленої до подальшої інтеграції в загальний комплекс інтелектуального керування енергопотоками підземних рудників. Інтеграція їх у таку структуру має на увазі використання централізованого керування, що дозволяє враховувати поточну потребу в електроенергії, регулювати навантаження та, за необхідності, перерозподіляти ресурси, що в перспективі дозволить забезпечити їхнє раціональне використання, а також призведе до скорочення витрат та підвищення надійності роботи підземного електровозного транспорту. В умовах підземних рудників це особливо важливо, оскільки робота в них потребує постійного та надійного енергопостачання. Технологія інтелектуальних систем енергопостачання забезпечує активне управління енергосистемою, включаючи контроль за споживанням та генерацією, обмін даними в режимі реального часу, прогнозування навантаження та гнучкість у роботі з відновлюваними джерелами енергії [1].

При інтеграції системи тягового електропостачання в єдину інтелектуальну систему керування СЕП даних видів підприємств необхідно врахувати низку специфічних технічних та економічних особливостей цієї структури. Насамперед це значні початкові витрати на створення інфраструктури, включаючи встановлення пристроїв для моніторингу поточних рівнів споживання ЕЕ. Також потрібна адаптація і оновлення наявних мереж живлення, включаючи контактні мережі, що забезпечують роботу транспорту у підземних умовах. Одним із викликів є надійна комунікація - передача даних в умовах підземних перешкод та обмеженої пропускної спроможності зв'язку. Специфічні умови функціонування рудникових електровозів в підземних умовах викликають необхідність у розробці надійного і функціонального програмного забезпечення, реалізації алгоритмів прогнозування навантаження та управління електропостачанням.

Інфраструктура Microgrid, яка об'єднує системи живлення з компонентами моніторингу та керування дає технічну можливість впровадження у роботу сучасних адаптивних схем живлення, що автоматично змінюються відповідно до режимів роботи як окремо взятих так і всіх електровозів та поточних навантажень на тягову електричну мережу [1, 2]. Це сприяє оптимізації розподілу потоків енергії, мінімізуючи ризики перевантажень і забезпечуючи більш стабільну роботу за умов нерівномірного розподілу енергетичних потужностей або у разі виникнення аварійних ситуацій. Крім того, зберігається перспектива підвищення загального рівня безпеки роботи електровозної відкатки у підземних умовах завдяки постійному моніторингу стану електробезпеки тягових підстанцій, контактної мережі та електрообладнання електровозів. Дана система може попереджати про можливі несправності та негайно реагувати на відхилення у роботі обладнання. Це значно знижує ризики аварій та сприяє більш ефективному технічному

обслуговуванню транспорту, оскільки інформація про стан обладнання доступна в режимі реального часу. Завдяки можливості аналізувати актуальні дані про роботу електричного обладнання тягового комплексу електровозів, профільними спеціалістами підприємства може здійснюватись коригування дорожньої карти та роботи електровозів під конкретні умови виробництва, що дозволяє оптимальніше використовувати технічний ресурс локомотивів і зменшити відповідні експлуатаційні витрати.

Окремо розглядається можливість інтеграції джерел з відновлюваними ресурсами в структуру енергопостачання – СЕП з розподіленою генерацією ЕЕ гірничовидобувного підприємства. При побудові таких гібридних рішень, для живлення рудникової електровозної відкатки можна використовувати як традиційні, так і альтернативні джерела, в тому числі накопичувальні системи. Це забезпечить гнучкість системи, дозволяючи підприємству покривати свої пікові навантаження за рахунок альтернативних джерел і забезпечувати стабільну роботу електровозів навіть у разі перебоїв зовнішнього енергопостачання [2].

Список використаної літератури

1.Nasr S. Optimisation d'un réseau ferroviaire à l'aide de solutions smart-grids : thesis. 2016. URL: <http://www.theses.fr/2016SACLC026/document> (дата звернення: 12.11.2024).

2.Nasr S., Iordache M., Petit M. Smart micro-grid integration in DC railway systems. 2014 *IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Conference Europe (ISGT-Europe)*, м. Стамбул, Турція, 12–15 жовт. 2014 р. URL: <https://doi.org/10.1109/isgteurope.2014.7028913> (дата звернення: 13.11.2024).

References

1. S. Nasr, “Optimisation d'un réseau ferroviaire à l'aide de solutions smart-grids”, thesis, Univ. Paris-Saclay (ComUE), 2016. [Online] Available: <http://www.theses.fr/2016SACLC026/document>. Accessed on: 12.11. 2024

2. S. Nasr, M. Iordache та M. Petit, “Smart micro-grid integration in DC railway systems”, у 2014 *IEEE PES Innovative Smart Grid Technol. Conf. Europe (ISGT-Europe)*, Istanbul, Turkey, October 12-15, 2014. [Online] Available: <https://doi.org/10.1109/isgteurope.2014.7028913>. Accessed on: 13.11.2024

ОРГАНІЧНИЙ ЦИКЛ РЕНКІНА ЯК АЛЬТЕРНАТИВА ДЛЯ РЕЗЕРВНОГО ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ

Вступ. Внаслідок військової агресії росії в Україні від жовтня 2022 року значно ускладнилося забезпечення електропостачання об'єктів критичної інфраструктури, зокрема дахових котелень у новобудовах. Ця проблема вимагає ефективного вирішення для підтримання стабільної роботи систем теплопостачання. У сучасній науковій літературі обговорюються різні підходи до резервного електроживлення, серед яких когенераційні установки, дизель-генератори та акумулятори резервного живлення. Проте вони мають суттєві обмеження, особливо в умовах вже збудованих об'єктів.

Мета та завдання: обґрунтувати доцільність використання блоку генерації електроенергії на основі органічного циклу Ренкіна як альтернативного способу резервного електроживлення дахових котелень. Проаналізувати основні варіанти забезпечення резервного живлення дахових котелень. Оцінити термодинамічну ефективність системи ORC для умов новобудов в Україні. Визначити вплив використання теплової потужності котелень для генерації електроенергії на стабільність теплопостачання.

Матеріал і результати досліджень. Розглянуто варіанти резервного живлення. Традиційні підходи включають 1. Когенераційні установки. Дозволяють одночасно виробляти електроенергію та теплову енергію, але потребують значних витрат на модернізацію системи газопостачання та реконструкцію об'єкта, що унеможливило їх застосування в існуючих будівлях. 2. Дизель-генератори мають обмеження через потребу в регулярному поповненні запасів палива та його тривалому зберіганні. 3. Акумулятори резервного живлення характеризуються обмеженою ємністю, яка потребує адаптації до тривалості перебоїв електропостачання.

Альтернативною концепцією є використання органічного циклу Ренкіна. Блок ORC базується на використанні у якості робочої речовини рідин з низькою температурою кипіння (холодильний агент). В системі ORC тепло, що генерується котельною, перетворюється на механічну енергію, а потім на електричну. Основною з переваг щодо впровадження системи в існуючі об'єкти є те, що блок ORC може бути приєднаний до теплопостачання без суттєвих змін у конструкції існуючих котелен.

Для оцінки ефективності ORC розглянуто дахову котельню з тепловим навантаженням 2 МВт та електричною потужністю власних потреб 17 кВт. Проведено термодинамічні розрахунки для різних температурних графіків (80-60 °С, 90-70 °С, 95-70 °С, 105-70 °С, 50-30 °С). Для кожного з температурних графіків було використано кілька робочих речовин в блоку органічного циклу Ренкіна (ізобутан, R245fa, R1233zdE, R134a). Додатково проаналізовано залежність теплового навантаження котельні від температури зовнішнього повітря та зміни температури в приміщеннях. Результати показали: 1. Ефективність ORC залежить від вибраного температурного графіка; 2. Потреба в тепловій потужності для блоку ORC становить 160-200 кВт, що еквівалентно 8-10% від загальної потужності котельні; Витрата теплової потужності для генерації електроенергії не впливає на теплопостачання будівель при зовнішній температурі до -18 °С.

Інтеграція блоку ORC у систему теплопостачання дозволяє забезпечити часткове повернення електроенергії для власних потреб котельні, зменшуючи залежність від зовнішніх джерел живлення. Це сприяє підвищенню енергетичної незалежності, але при впровадженні слід враховувати особливості кожного об'єкта.

Висновки Використання ORC дозволяє інтегрувати систему в існуючу котельню без

необхідності значних технічних змін. Потреба в тепловій потужності для ORC не порушує стабільність теплопостачання навіть у морозні періоди. Подальші дослідження слід спрямувати на вибір оптимальних робочих рідин для ORC та їх адаптацію до різних температурних графіків котелень.

Література.

1. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення та вентиляція та кондиціонування. [Чинний від 2014-01-01]. Вид. офіц. Київ, 2013. 141 с.

2. ДСТУ-Н Б В.1.1–27:2010. Будівельна кліматологія [Дата введення 2011-11-01]. / Мінрегіонбуд України. – К.: Укрархбудінформ, 2011. – 123 с.

УДК 621.316.122.5

Федірко Михайло Миколайович к.е.н., доцент

Кошпаренко Олександр Андрійович студент групи ЕЛЕА-21;

Західноукраїнський національний університет, Тернопіль, Україна

МЕТОДИЧНІ ПІДХОДИ ДО ВИЗНАЧЕННЯ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ СПОЖИВАНОЇ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ НАСОСНИХ АГРЕГАТИВ МЕРЕЖІ ЦЕНТРАЛІЗОВАНОГО ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ В КОНТЕКСТІ ПРОВЕДЕННЯ ЕНЕРГОАУДИТУ

Вступ. Електроприводи на базі асинхронних електродвигунів є основними споживачами електроенергії [1], зокрема на підприємствах комунальної теплоенергетики. Насосні агрегати мереж централізованого теплопостачання виділяються своєю енергоемністю, при цьому вони працюють в режимах змінного навантаження, що знижує їхню енергоефективність. Наслідком цього є зниження коефіцієнта корисної дії, та коефіцієнта потужності електроприводів насосних агрегатів. Дослідження, що стосуються цієї проблеми розглядаються в основному системах водопостачання, тоді як вказані вище проблеми, електроприводів насосних агрегатів в мережі централізованого теплопостачання залишаються недостатньо вивченими. Аналіз практики проведення енергоаудиту показує, що при проведенні енергоаудиту електроприводів систем централізованого теплопостачання враховується споживання активної електроенергії, в той час як споживання реактивної електроенергії залишається поза увагою енергоаудиторів.

Мета роботи. Розробка методичних підходів до визначення споживання реактивної потужності структурними елементами електроприводів насосних агрегатів у мережах централізованого теплопостачання та надання рекомендацій щодо їх застосування в процесі проведення енергоаудиту.

Матеріал і результати роботи. З огляду на те, що метою нашої роботи є визначення структури споживання реактивної енергії електроприводами насосних агрегатів мережі централізованого теплопостачання, ми будемо визначати реактивну енергію споживану як перетворювачем частоти, так і приводним електродвигуном. Методи розрахунку споживаної реактивної енергії споживаної електродвигуном є належним чином розробленими, в той час як методи розрахунку реактивної потужності споживаної частотним перетворювачем в структурі електроприводу залишається недостатньо обґрунтованими. Для розрахунку реактивної потужності на вході частотного перетворювача скористаємося формулами його мережових характеристик, отриманих у припущенні відсутності вищих гармонік у кривих струмів та напруг перетворювача, електричних втрат у вентилях випрямляча та напівпровідникових силових елементах інвертора напруги, а також втрат у сталі реакторів. При цих припущеннях реактивна потужність на вході частотного перетворювача визначається за формулою

$$Q = \frac{18}{\pi^2} \omega_0 \epsilon L_{p.bx} i_b^2 \quad (1)$$

Формула (1) показує, що реактивна потужність Q залежить від величини вихідного струму випрямляча i_B та індуктивного опору $X_{p.vx} = \omega_{0c} L_{p.vx}$ комутувального реактора.

Вихідний струм випрямляча визначає струм частотного перетворювача як складового елемента електроприводу насосного агрегату і залежить від циклу роботи насоса. Типовий цикл роботи насоса, визначений регламентом Євросоюзу [3] і поділений на 4 режими. Особливістю циклу є те, що більшу частину часу насос працює з витратою набагато меншою за номінальну. Наприклад, з витратою 25 % від номінального значення насос працює відносний час $t_i / t_{\Sigma} = 44 \%$, де t_{Σ} – сумарний час роботи, прийнятий рівним 24 годинам, t_i – час роботи насоса в даному режимі. Цей профіль навантаження є типовим для насосних систем із потребою у зміні витрати в широких межах.

Показники які стосуються споживання активної та реактивної енергії електроприводом насосних агрегатів в мережі централізованого теплопостачання розраховуємо із врахуванням методики та технічних даних елементів електроприводу розробленої нами і опублікованої у роботах[4,5] для електроприводу мережевого насосного агрегату. Результати розрахунків наведено у таблиці (1).

Таблиця 1
Параметри частотно регульованого електроприводу насосного агрегату мережі централізованого теплопостачання.

№	Режим роботи	P_1 , кВт	$\cos \varphi$	Q , в. о.	S , кВт*А	I_1 , А	M , в. о.
1	Режим: $k_{зав} = 0,25$	7,3	0,7	0,04	10,4	16	0,05
2	Режим: $k_{зав} = 0,5$	31,6	0,8	0,15	39,5	63,2	0,24
3	Режим: $k_{зав} = 0,75$	82,2	0,81	0,31	101,4	164,4	0,55
4	Режим: $k_{зав} = 1$	192,3	0,86	0,59	223,6	384,6	0,98

Примітки: Розраховано для електроприводу насосного агрегату з електродвигуном $P_{ном} = 200$ кВт а $N_{ном} = 1450$ об/хв. Реактивна потужність віднесена до $P_{ном}$, а момент до $M_{ном}$.

Висновки. Дослідження показують, що структура споживаної реактивної потужності електроприводом насосного агрегату складається з реактивної потужності електродвигуна та перетворювача частоти. Основна частка припадає на електродвигун і залежить від його завантаження та моменту, тоді як частка перетворювача частоти є незначною. Зменшення споживаної реактивної потужності можна досягти шляхом оптимізації режимів роботи двигуна, вирівнювання його завантаження та компенсації реактивної енергії. Запропонований підхід допомагає енергоаудитору оцінювати обсяг споживаної реактивної енергії за номінальними характеристиками двигуна, а подальші дослідження мають уточнити параметри для різних потужностей електроприводів.

Література:

1. Закладний, О. М. Енергозбереження засобами промислового електропривода: навчальний посібник [текст] / О. М. Закладний, А. В. Праховник, О. І. Соловей, - К: Кондар, 2005. – 408 с.

2. Федірко М. М. Модернізація електроприводу насосних агрегатів мережі централізованого теплопостачання в контексті підвищення їх енергоефективності // Федірко М. М., Бруханський Р. Ф., Брич В. Я., Олішинська Р. Р.. // Енергозбереження. Енергетика Енергоаудит. – 2023. - № 5-6. – С. 27–40.
<http://eee.khpi.edu.ua/issue/view/17283>
3. *Commission Regulation (EC) No 641/2009* of July 22, 2009 implementing Directive 2005/32/EC of the European Parliament and of the Council with regard to ecodesign requirements for glandless standalone circulators and glandless circulators integrated in products, amended by Commission Regulation (EU) No 622/2012 of July 11, 2012
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A32009R0641>
4. Федірко М. М. / Частотне регулювання електроприводу насосних агрегатів мережі централізованого теплопостачання на базі асинхронних двигунів з короткозамкненим ротором / Федірко М. М., Брич В. Я., Горлачук М. А., Завитій О. П., Головка Р. В. / "Енергозбереження. Енергетика. Енергоаудит". – 2023. – № 7-8 (185-186). – С. 22-32. / <https://repository.kpi.kharkov.ua/items/fdf80c4e-2867-4a53-a582-79054de5b181>
5. Федірко М.М. / Термодинамічні імперативи модернізації електроприводу насосних агрегатів мережі централізованого теплопостачання в контексті підвищення енергоефективності. / Федірко М.М., Головка Р.В. / Журнал «Енергетика: економіка, технології, екологія». – 2023. - №1. С. 43 – 49 <http://energy.kpi.ua/article/view/297523>

Ніна Філімоненко, к.т.н, доц., ORCID 0000-0003-1867-3812
Східноукраїнський національний університет ім. Володимира Даля
Костянтин Філімоненко, к.т.н, доц., ORCID 0000-0001-9264-4767
Східноукраїнський національний університет ім. Володимира Даля
Наталія Смиринська, начальник відділу, ORCID 0000-0001-5373-2625
Національний університет "Одеська Морська Академія"
В'ячеслав Левандовський, конструктор, розробник, ORCID 0000-0003-0033-0694
Борис Якутович директор ТОВ «Філіт-глобал», ORCID

ВИПРОБУВАЛЬНИЙ СТЕНД СПРОЩЕНОЇ КОНСТРУКЦІЇ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ КРИТЕРІАЛЬНИХ РІВНЕЙ УРАЖЕННЯ РАДІОЕЛЕКТРОННИХ КОМПОНЕНТІВ ПРИ ВПЛИВІ ПОТУЖНИХ ІМПУЛЬСІВ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ ЕНЕРГІЇ

Безпроводна передача електроенергії в повітряному просторі неминує впливає на радіоелектронні засоби (РЕЗ) літальних апаратів (ЛА), БПЛА, та наземних безпілотних транспортних засобів, що може призвести до пошкодження, або критичного збою радіоелектронних компонентів цих РЕЗ. Оскільки більшість вказаних технічних засобів використовують елементну базу на COTS-технологіях (Commercial off-the-shelf) вірогідність пошкодження, або критичного збою в роботі РЕЗ тільки збільшується. Цілком очевидно, що технології безпроводної передачі електроенергії в повітряному просторі, та технології безпілотних транспортних засобів вже перешкоджають одна одній.

Вплив на РЕЗ потужного електромагнітного випромінювання здійснюється як безпосередньо, так і у якості імпульсних напруг та струмів, які наводяться ПЕМІ в антенно-хвильових пристроях і лініях зв'язку, що прямують у підсумку на чутливі елементи входів РЕЗ. Основні напрями впливу ПЕМІ – «пряме», через антенно-хвильовий тракт і «зворотній» через отвори та щілини в захисному екрані РЕЗ [6]. Стійкість сучасних РЕЗ до впливу ЕМЗ можливо визначити двома показниками: стійкістю різноманітних елементів до впливу електричних і магнітних полів та стійкістю до імпульсних струмів і напруги, що наводяться. ПЕМІ здатен призвести до деградаційних ефектів у чутливих елементах РЕЗ. Ступінь і характер деградацій, що виникають, визначається на базі існуючих теплових та термоелектричних моделей оцінки електромагнітної стійкості РЕЗ до впливу ПЕМІ, найбільш відомими з яких є класична тепла модель Вунша- Белла (W - B), моделі Таска, ААГР, об'ємна тепла модель Дваєра-Франкліна-Кемпбелла, модель пошкодження розшарованих структур. Умови застосування кожної з моделей визначаються характеристиками ПЕМІ, генерованого ПЕМВ, і параметрами об'єкта, що піддається впливу [7, 8, 11].

Таким чином, на сьогодні відсутні універсальні методики та підходи, щодо визначення критеріальних рівней ураження радіоелектронних компонентів під час впливу ПЕМІ на існуючі та перспективні безпілотні транспортні засоби в різноманітних умовах експлуатації цих засобів.

Метою цієї роботи – є дослідження технічної можливості впровадження на малих і середніх підприємствах – виробниках безпілотних транспортних засобів нескладних та недорогих стендів для орієнтовного визначення критеріальних рівней ураження РЕЗ при впливі ПЕМІ в реальних умовах.

Виклад основного матеріалу дослідження

Відповідно до нормативних документів [12-14] виробник повинен виконувати перевірку РЕЗ та їх елементної бази виключно на базі сертифікованих лабораторних центрів, що є майже неможливим для більшості дрібних виробників, та представників середньої ланки цієї галузі. Частотний діапазон вказаний у нормативних документах [12-14] обмежений частотою 18 ГГц, хоча ще з 60-х років минулого століття активно використовується діапазон «вікна прозорості» 34-40 ГГц. Наприклад, для перевірки РЕЗ за вимогами ДСТУ 3681-98 використовуються вибухомагнітні генератори (ВМГ), в умовах спеціалізованої лабораторії.

Наприклад, фахівці Одеської Морської Академії ВМСУ виконували серії експериментів з ВМГ використовуючи високовольтний генератор NSG 3060, фірми TESEQ (Швейцарія) для перевірки ліній електроживлення на електромагнітну стійкість [16]. Схему експеримента зображено на Рис.1.

Треба відзначити, що в Україні існує спеціалізований дослідницький центр - Експериментальна база дослідно-випробувального полігона Науково-дослідного та проектно-конструкторського інституту «Молнія» Національного технічного університету „Харківський політехнічний інститут” [17]. Цей полігон займає площу 270000 м². Просте підтримання в робочому стані цього дослідницького центру вимагає великих коштів.

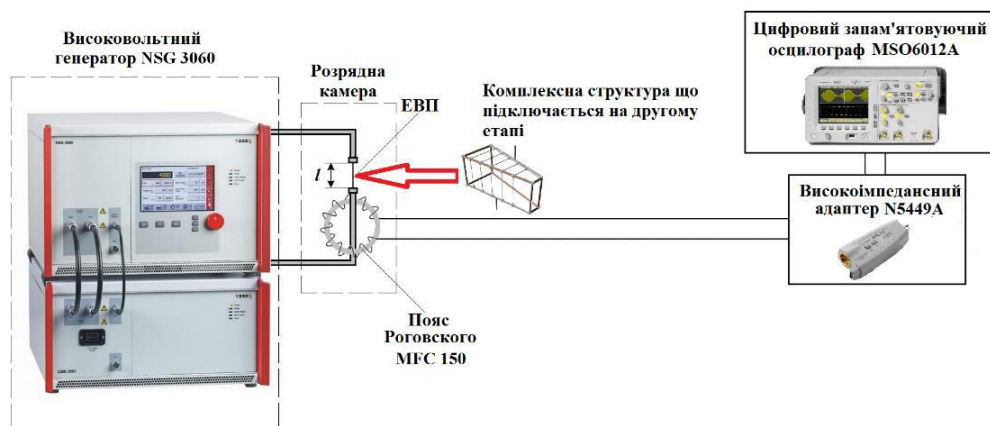


Рис.1 Схема експериментальних досліджень з ВМГ і високовольтним генератором NSG 3060 [16]

Треба відзначити що приватні виробники в розвинутих країнах будують такі випробувальні центри за власні кошти, або за підтримки держави, наприклад випробувальний центр фірми SAAB (Швеція), метою якого була власне не імітація ПЕМІ ядерного вибуху, а вплив мікросекундних і наносекундних ПЕМІ в НВЧ-діапазоні [19]. Наскільки потужним може бути такий вплив ПЕМІ на елементи РЕЗ наочно ілюструє зображення з публікації [19].

Для перевірки РЕЗ в умовах польових випробувань автори пропонують нескладний у виготовленні стенд з НВЧ генератором наносекундних ПЕМІ на базі серійного імпульсного магнетронного генератора, наприклад МИ-241 (МИ-514 частота 14570-15420 МГц, потужність 150 кВт) з пристроєм часової компресії, стисненням мікрохвильового імпульсу до тривалості $10\text{-}30 \cdot 10^{-9}$ сек, потужністю 1-1,5 МВт.

Стиснення мікрохвильового імпульсу — загалом це перетворення довготривалого імпульсу мікрохвильової потужності в імпульс з меншою тривалістю і більшою амплітудою. Опис вказаної методики стиснення імпульсу наведено в джерелах [20, 21, 22]. Схематично будову випробувального стенду показано на Рис.2. Стенд містить джерело живлення магнетронів (на схемі умовно не показано), магнетрони - 1, хвилеводи - 2, обертові зчленування хвилеводів - 3, компресор стиснення мікрохвильового імпульсу - 4, лінзову (параболічну) антену - 5, цапфи кріплення антени до лабораторного штатива (тримача) - 6. Будова компресора імпульсів на довжині хвилі 22 мм (МИ-241 - частота $\sim 13,64$ ГГц) в цілому відповідає конструкції наведеної в [20] і показана на Рис.2а.

За підрахунками авторів маса стенду не перевищує 8 кг, габарити складають 0,5х0,5х0,8 м (без джерела первинного – потужністю до 15 кВт, та вторинного живлення потужністю до 10 кВт).

При використанні магнетронів IP Mag-457 (Рис.3, Рис.3а) компанії Insight Product Co, (США) [23] в діапазоні 34-38 ГГц і компресора стиснення мікрохвильового імпульсу цілком можливо отримати імпульсну потужність на рівні 10-15 МВт, що дає можливість проводити випробування РЕЗ в польових умовах. Фактично ці пристрої є продукцією ВАТ «Плутон» м. Москва, тому автори пропонують використати більш доступну альтернативу – магнетрон МИ-514М потужністю 150 кВт.

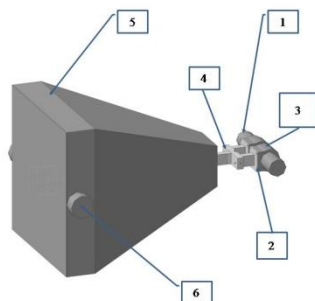


Рис.2

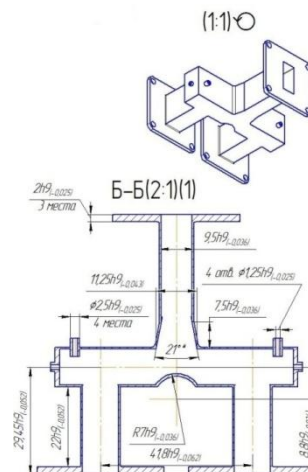


Рис.2а

Висновки:

1. Показана можливість побудови компактного, нескладного стенду для випробувань РЕЗ виконаних на COTS-технологіях на стійкість до ПЕМІ в наносекундному діапазоні тривалості імпульсу,
2. Використання магнетронів потужністю 150 кВт, та простого пристрою часової компресії, стисненням мікрохвильового імпульсу до тривалості $10\text{-}30 \cdot 10^{-9}$ сек, дає можливість забезпечити потужність НВЧ-випромінювання при випробовуваннях РЕЗ на рівні 1-1,5 МВт.

Список використаних джерел:

1. Индекс прозрачности энергетики - 2022. Аналітичний продукт ГО "DiXi Group", 2023. – 31 с. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://index.ua-energy.org/assets/files/dixi_index_2022_final.pdf.



Рис.3 магнетрон IP Mag-457 [23]

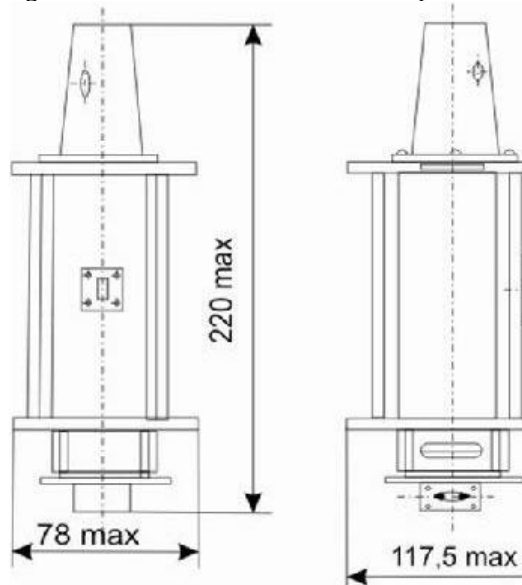


Рис.3 а магнетрон IP Mag-457 [23]

Список використаних джерел

- [1] <https://www.mil.gov.ua/news/2024/02/01/rustem-umerov-na-zustrichi-z-virobnikami-bpla/>;
- [2] 30 MW space solar plant designed to send electricity to Earth by 2030 <https://interestingengineering.com/energy/30-mw-space-solar-plant-designed-to-send-electricity-to-earth-by-2030> ;
- [3] https://www-meteo-vesti-ru.translate.google.com/news/63483645358-troposfera-darit-elektroenergiyu-chelovechestvu?x_tr_sl=ru&x_tr_tl=en&x_tr_hl=en&x_tr_pto=sc&x_tr_hist=true ;
- [3] Experiments with Alternating Currents of Very High Frequency and Their Application to Methods of Artificial Illumination, AIEEE, Columbia College, N.Y., May 20, 1891 <http://www.tfcbooks.com/tesla/1891-05-20.htm>.
- [4] Altaeros Energies, Inc. – Buoyant Airborne Turbine (BAT) https://lynceans.org/wp-content/uploads/2024/11/Altaeros-Energies_BAT.pdf ;
- [5] <https://www.cnbc.com/2019/03/15/china-plans-a-solar-power-play-in-space-that-nasa-abandoned-long-ago.html>;
- [6] Критерии функционального поражения современных радиотехнических систем электромагнитным оружием, Кузнецов Д. В. Евразийский Союз Ученых (ЕСУ) №4 (13), 2015;
- [7] Wunsch D.S, Bell R.R. Determination of threshold failure level of semiconductor diodes and transistors due to pulse voltage // IEEE Trans. on Nuclear Sci., Vol.15, N6, 1968.-p.244-259.;
- [8] Д.Б. Кучер, Л. В. Литвиненко, Н. Б. Смиринська, Модель накопичення пошкоджень інтегральними елементами інформаційних систем при поліімпульсному впливі наносекундної тривалості, Системи обробки інформації: збірник наукових праць / ХУПС ім. І. Кожедуба. – Харків, 2017. – №4(150). – С. 11 – 15 <https://doi.org/10.30748/soi.2017.150.02>.
- [9] Dwyer V.M., Franklin A.J., Campbell D.S. Thermal failure in semiconductor devices // Solid State Electronics.-1990.-Vol.33, p.553-560.
- [10] Dwyer V.M., Franklin A.J., Campbell D.S. Electromagnetic discharge thermal failure in semiconductor devices // IEEE Trans. on Electr. Dev. Vol.37, N11, 1990.- p.2381-2387.
- [11] Радиоэлектронная борьба. Силовое поражение радиоэлектронных систем / В.Д. Добыкин, А.И. Куприянов, В.Г. Пономарев, Л.Н. Шустов; под ред. А.И. Куприянова. – М.: Вузовская книга, 2007. – 487 с.;
- [12] ДСТУ 3681-98 Сумісність технічних засобів електромагнітна. Стійкість до дії грозових розрядів. Технічні вимоги та методи випробувань;

[13] ДСТУ EN 61000-4-24:2012 Електромагнітна сумісність. Частина 4-24. Методики випробування та вимірювання. Методики випробування пристроїв захисту від електромагнітного імпульсу висотного ядерного вибуху та інших кондуктивних збурень. Базова публікація ЕМС;

[14] ДСТУ EN 61000-4-23:2012 Електромагнітна сумісність. Частина 4-23. Методики випробування та вимірювання. Методики випробування пристроїв захисту від електромагнітного імпульсу висотного ядерного вибуху та інших випромінюваних збурень;

ФОРМУВАННЯ ОДНОРАНГОВИХ СТРУКТУР МІКРОЕНЕГОСИСТЕМ З ПОЛІГЕНЕРАЦІЄЮ

Швидке впровадження відновлюваних джерел енергії та формування децентралізованих систем електрозабезпечення територіальних громад призвели до пошуку нових рішень для побудови технологічних структур, здатних, за потреби, функціонувати в острівному режимі. Неконтрольоване виникнення дефіциту потужності та трансформація ринку електричної енергії протягом останніх років відкрила можливості для формування децентралізованих генеруючих установок.

Впровадження елементів енергетичних бірж дає кінцевим користувачам та енергетичним спільнотам можливість для досягнення самодостатності, коли перехід у острівний режим може стати економічно доцільним варіантом.

На рівні мікроенергетичних ринків з'явилися нові учасники - активні споживачі (прос'юмери). Залежно від свого юридичного статусу прос'юмери можуть укласти контракти з агрегаторами для формування децентралізованих базових генеруючих потужностей для покриття попиту обраної групи споживачів електроенергії (рис.1).

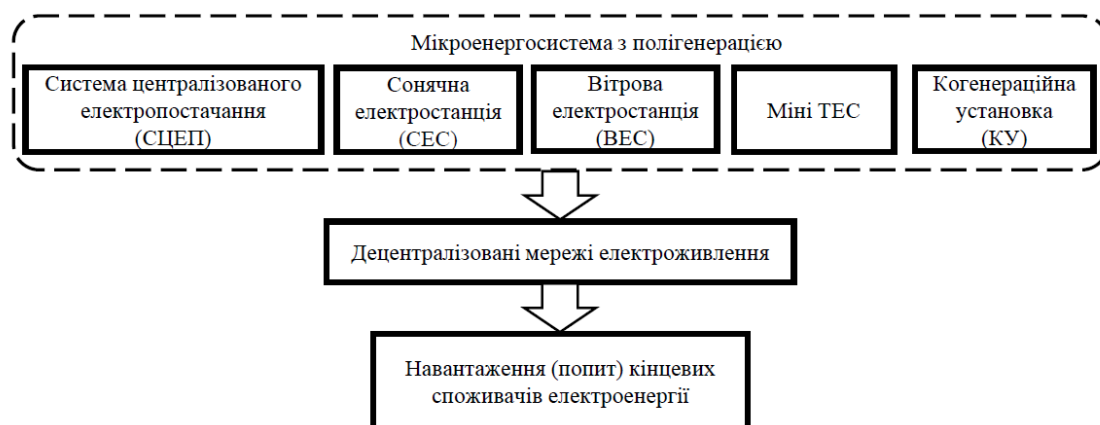


Рис.1. Структура мікроенергосистеми з полігенерацією

Актуальним є одноранговий розподіл електроенергії в межах локальної мікроенергосистеми для більш ефективного використання джерел у домогосподарствах. На рис.2 показаний варіант формування структур надання послуг з енергозабезпечення в умовах енергонезалежних островів з новими показниками надійності та прогнозованою енергоефективністю. Саме формування загального енергетичного балансу такої мікроенергосистеми відкриває можливості для пошуку оптимальних сценаріїв управління енергоефективністю на основі прогнозування поточних витрат на енергозабезпечення.



Рис.2. Приклад формування технологічних структур енергозабезпечення в умовах енергонезалежного острова

У загальному випадку цільова функція для вибору i -ї технологічної структури мікроенергетичної системи матиме вигляд:

$$\min obj_i = \sum_{t=1}^T (g_{\text{СЕС}} \cdot W_{\text{СЕС}}^e + g_{\text{ВЕС}} \cdot W_{\text{ВЕС}}^e + g_{\text{МТЕС}} \cdot W_{\text{МТЕС}}^e + g_{\text{КУ}}^e \cdot W_{\text{КУП}}^e + g_{\text{СЦЕП}}^e W_{\text{СЦЕП}}^e) \quad (1)$$

де g^e , грн/кВт·год – питома собівартість електроенергії для кінцевих користувачів; $W^e = E \cdot t$, кВт·год – кількість електроенергії, яка генеруватиметься джерелами мікроенергосистеми для покриття графіка навантаження; $E \cdot t$ – енергія взаємної конверсії первинних палив у електроенергію для покриття попиту кінцевого користувача.

Розглянемо розрахунок питомих вартостей електроенергії g^e в мініТЕС. Скористаємось спрощеним розрахунком за формулами (для i -го місяця):

$$g_{\text{мініТЕС}}^e = \frac{A_i + B_i + C_i + D_i}{W_i^h} \cdot \eta^e (\%); \quad (2)$$

де A_i – питомі капітальні видатки, віднесені на весь розрахунковий період експлуатації; B_i – витрати первинного палива на технологічний цикл за календарний місяць; C_i – річні накладні витрати; D_i – непередбачувані витрати, викликані зупинкою енерговиробництва; $\eta_i(\%)$ – коефіцієнт використання базової потужності агрегата мініТЕС для виробництва електроенергії і тепла у місячному циклі.

Такий ринковий механізм між прос'юмерами та кінцевими користувачами базується на технічних можливостях балансування мікроенергосистеми з декількома джерелами (базовими і маневровими) і ще більше стимулює децентралізацію, надаючи споживачам можливість мати більший контроль над використанням енергії, виробленої у межах енергетичної спільноти.

Список використаних джерел:

1. L. Thomas, Y. Zhou, C. Long, J. Wu, and N. Jenkins, "A general form of smart contract for decentralized energy systems management," *Nature Energy*, vol. 4, no. 2, pp. 140–149, Feb. 2019, ISSN: 2058-7546.
2. D. Han, C. Zhang, J. Ping, and Z. Yan, "Smart contract architecture for decentralized energy trading and management based on blockchains," *Energy*, vol. 199, p. 117 417, 2020, ISSN: 0360-5442.
3. T. Morstyn and M. D. McCulloch, "Multiclass energy management for peer-to-peer energy trading driven by prosumer preferences," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 34, no. 5, pp. 4005–4014, 2019.

4. U. Cali and O. Çakir, “Energy policy instruments for distributed ledger technology empowered peer-to-peer local energy markets,” *IEEE Access*, vol. 7, pp. 82 888–82 900, 2019.

МОНІТОРИНГ ТРИФАЗНИХ ЧОТИРИПРОВІДНИХ МЕРЕЖ У СИСТЕМІ ДИНАМІЧНОГО ЕНЕРГЕТИЧНОГО МЕНЕДЖМЕНТУ

Стратегії розвитку електроенергетичної інфраструктури в більшості країн містять нові тенденції, які базуються на розподіленому виробництві енергії. Це означає, що мікроенергосистеми будуть мати локальні децентралізовані джерела, розташовані поблизу споживачів енергії. Важливим, пов'язаним з цим завданням, є розроблення загальної гнучкої та ієрархічної стратегії управління енергоефективністю низьковольтних електротехнічних комплексів, в які будуть інтегровані пристрої для динамічного моніторингу параметрів та керування мережею (первинний контроль показників якості електроенергії, регулювання напруги та реактивної потужності, оцінювання рівня мережевих втрат електроенергії і ін).

Для реалізації такого підходу можна застосувати алгоритм прогнозування «рідкісних подій» в системі енергетичного менеджменту. Для розроблення і застосування цього алгоритму в чотирипровідній внутрішній електромережі у межах доби треба мати інформацію для наступних часових проміжків у реальному часі:

- момент t_{ap} переходу системи у режим з показниками якості електроенергії, які відповідають нормативним;
- момент t_{pa} переходу системи електроживлення у режим, з показниками якості електроенергії, які не відповідають нормативним;
- тривалість періоду часу $[t_{ap}, t_{pa}]$ між вказаними моментами переходів з одного стану в інший.

Постановку задачі прогнозування моментів t_{ap} або t_{pa} формально можна описати так.

Вважаємо, що за умови наявності результатів моніторингу параметрів деякої системи на інтервалі $T_{obs} = [t_0, t_k]$ має місце подія, яка відбувалася n разів $\xi_i, i = 1, 2, \dots, n$. Для реалізації такої процедури необхідний достатній обсяг статистичного матеріалу, при наявності якого інтервал T_{obs} можна буде розділити на n інтервалів:

$$T_{obs} = [t_0, t_{s_1}, \dots, t_{s_{i-1}}, t_{s_i}, \dots, t_{s_{n-1}}, t_{s_n}], \quad (1)$$

де t_{s_i} є момент настання i -ї події.

Таке розбиття логічне з огляду на вказані припущення, що для $[t_{s_{i-1}}, t_{s_i}]$ інтервалу подія ξ_i відбулася лише один раз. Далі, кожен інтервал $[t_{s_{i-1}}, t_{s_i}]$ ділиться на l ще більш вузьких інтервалів $\Delta t' = [t'_{j-1}, t'_j] = const, j = 1, 2, \dots, l$ і в його вузлах відбувається контроль параметрів, які діють на об'єкт та виконуються заміри параметрів поточного стану самого об'єкта.

Таким чином, у нашому випадку ми маємо множину з n моментів настання подій $\xi_i, i = 1, 2, \dots, n$. Метою цього етапу моделювання є прогноз $(n+1)$ -го моменту часу коли може настати подія $\xi_{(n+1)}$, яка і є саме моментом «in-out» t_{ap} або t_{pa} .

Узагальнений алгоритм прогнозування моментів «in-out» t_{ap} або t_{pa} можна описати за допомогою рівняння регресії наступним чином:

$$\begin{aligned}
y_f = f\{ & x_{1(0)}, x_{1(-1)}, \dots, x_{1(-\tau_1)}, \\
& x_{2(0)}, x_{2(-1)}, \dots, x_{2(-\tau_2)}, \\
& \dots \\
& x_{m(0)}, x_{m(-1)}, \dots, x_{m(-\tau_m)}, \theta_f \},
\end{aligned}
\tag{2}$$

де y_f – вихідне (прогнозне) значення, $x_i, i = 1, 2, \dots, m$ – аргументи, τ_i – «запізнення» кожного аргументу, який приймається до уваги, θ_f – це вектор оцінюваних параметрів.

Більш компактна модель (2) може бути представлена:

$$f(\cdot) = y_f = (X, \theta_f) . \tag{3}$$

Збір статистичних даних та моніторинг показників якості трифазної чотирипровідної мережі проводився за допомогою приладу SATEC PM180.

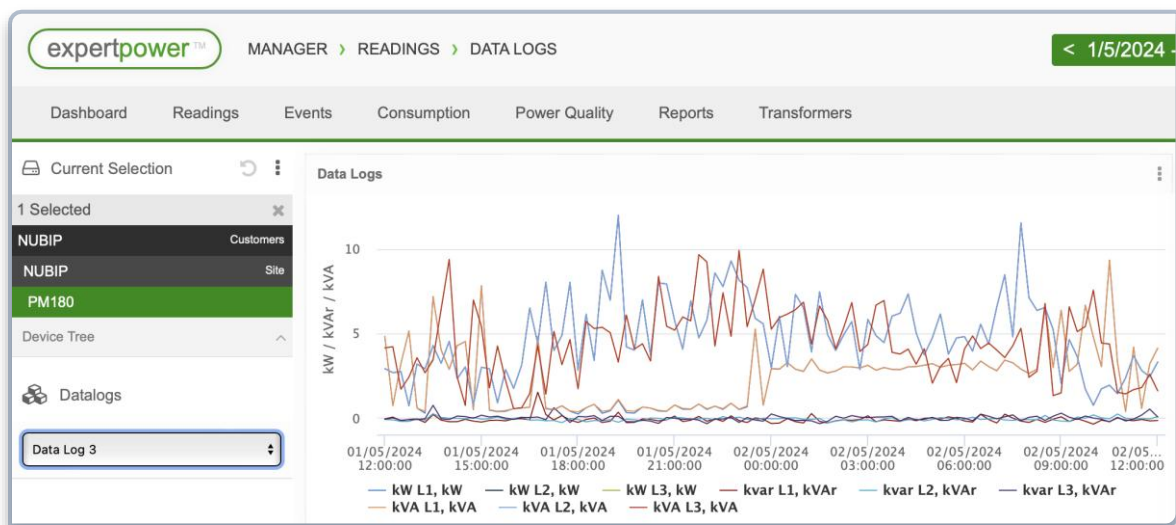


Рис. 1. Результати моніторингу змін активної, реактивної та повної потужності впродовж приладу SATEC PM180 та хмарного сервісу ExpertPowerPluse

Дослідження розкриває можливості подальшого застосування методу визначення небалансної потужності для якісної та кількісної оцінки додаткових (нетехнологічних) втрат електроенергії, яких можна уникнути шляхом використання додаткових технічних засобів у системах енергоменеджменту. Саме пошук шляхів управління енергоефективністю низьковольтних мереж на основі регулювання їх неактивних потужностей та компенсації вищих гармонік може стати предметом подальших досліджень.

Список використаної літератури

1. Ivakhnenko A.G., R. Madala. Inductive Learning Algorithms for Complex Systems Modeling. CRC Press, Boca Raton, 1994. 350 p.
2. Каплун В.В., Осипенко В.В., Штепа В.М., Макаревич С.С. Управління енергоефективністю локальних систем електроживлення з полігенерацією. К.: НУБіП України, 2020. 318 с.
3. Артеменко М. Ю., Каплун В. В., Бобровник В. М. Визначення складових повної потужності трифазної чотирипровідної системи електроживлення за відомими активними та реактивними потужностями окремих фаз. Вчені записки Таврійського національного університету ім. В. І. Вернадського, Серія: Технічні науки. 2019. Вип. №30(69) Том №4. С. 17 – 22.

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ ЕНЕРГЕТИЧНІ СИСТЕМИ SMART GRID

З розвитком сучасної енергетики все більшого значення набувають інноваційні технології, які дозволяють забезпечити ефективне, надійне та екологічно чисте енергопостачання. Одним із найперспективніших підходів у цій сфері є впровадження концепції Smart Grid, або розумних мереж, що базуються на інтеграції передових інформаційних та комунікаційних технологій в електроенергетичні системи. Технології Smart Grid забезпечують двосторонній обмін інформацією між виробниками, споживачами та розподільчими системами електроенергії, дозволяючи гнучко управляти потоками енергії та підвищувати енергоефективність. Впровадження Smart Grid відкриває нові можливості для оптимізації енергетичних процесів, що включають прогнозування споживання, автоматичне балансування виробництва та попиту, а також інтеграцію децентралізованих генераторів на основі відновлюваних джерел енергії, таких як сонячні панелі та вітрові турбіни.

Однією з ключових переваг Smart Grid є оптимізація розподілу електроенергії завдяки автоматизованим системам управління, які дозволяють динамічно реагувати на зміну споживання енергії, що, в свою чергу, знижує втрати в мережах та підвищує загальну ефективність енергосистеми. Ця технологія також сприяє максимальному використанню відновлюваних джерел енергії, які є нестабільними через зміну погодних умов, завдяки інноваційним підходам до прогнозування та інтеграції розподілених систем зберігання енергії. Це дозволяє ефективно балансувати попит і пропозицію, що особливо важливо в умовах зростаючої частки ВДЕ у світовому енергобалансі.

Ще однією важливою перевагою Smart Grid є можливість зниження навантаження на електромережу шляхом використання інтелектуальних лічильників і систем управління енергією. Такі пристрої дають змогу споживачам контролювати та оптимізувати своє енергоспоживання, сприяючи переходу на більш раціональні моделі поведінки. Крім того, завдяки впровадженню технологій розподіленого зберігання енергії можливо зменшити пікові навантаження, що забезпечує стабільність роботи енергосистеми навіть у періоди високого попиту. У результаті Smart Grid створює умови для підвищення енергоефективності на всіх етапах виробництва, передачі та споживання енергії.

Проте, впровадження розумних мереж пов'язане з певними викликами, серед яких слід відзначити питання кібербезпеки. У зв'язку з використанням великої кількості цифрових технологій у Smart Grid, ризики кіберзагроз значно зростають, що потребує розробки ефективних протоколів захисту для запобігання потенційним атакам на енергетичну інфраструктуру. Ще однією проблемою є високі початкові витрати на створення інфраструктури розумних мереж, що може стримувати темпи впровадження таких рішень, особливо у країнах з обмеженими фінансовими ресурсами. Додатковим викликом є забезпечення інтероперабельності систем, тобто можливості сумісного використання обладнання та програмного забезпечення різних виробників, що вимагає уніфікації стандартів та протоколів обміну даними.

Отже, впровадження технологій Smart Grid є важливим кроком на шляху до побудови стійкої та ефективної енергетичної системи майбутнього. Ця концепція дозволяє не лише забезпечити максимальне використання потенціалу відновлюваних джерел енергії, але й суттєво знизити викиди вуглекислого газу в атмосферу, що сприяє боротьбі зі змінами клімату. У той же час подальші дослідження мають бути спрямовані на підвищення надійності системи, зниження вартості впровадження та забезпечення безпеки функціонування розумних мереж. Smart Grid – це не просто інновація, а фундаментальна

трансформація підходів до управління енергетичними ресурсами, що змінює наше уявлення про можливості сучасної енергетики.

СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ І РЕМОНТУ ПОВІТРЯНИХ ЛІНІЙ

Вступ. Сьогодні як ніколи актуальне питання технічного обслуговування та ремонту повітряних ліній. Повітряна лінія електропередачі являє собою досить складне інженерне спорудження. Як відомо повітряні лінії електропередачі і їхні елементи проектується на термін служби до 40 років. Всі конструктивні частини повітряних ліній працюють у досить жорстких умовах експлуатації, які змінюються в широкому діапазоні.

Мета. Провести комплексний аналіз існуючих методів технічного обслуговування та ремонту повітряних ліній як в Україні, так і за кордоном.

Завдання. Дослідити методи технічного обслуговування та ремонту повітряних ліній, що дозволять у подальшому їх вдосконалити.

Матеріал і результати дослідження

На сьогоднішній день у всьому світі досить розвинена тенденція до проведення технічного обслуговування і ремонту повітряних ліній під напругою. Це стосується як високих, так і надвисоких напруг. Цьому питанню присвячений ряд міжнародних конференцій як світового рівня – ESMO (Engineering in Safety, Maintenance and Operation), так і європейських – ICOLIM (International Conference on Live Maintenance).

На таких конференціях розглядається широке коло питань, серед яких: розвиток методів організації робіт ПРН у різних країнах, в окремих енергосистемах і підприємствах; забезпечення комфорту і безпеки робіт ПРН; застосовувані методи і засоби проведення робіт ПРН; ефективність методів ПРН порівняно з традиційними методами виконання робіт; розроблення сучасних методів і засобів для проведення робіт ПРН; вивчення впливу і розроблення засобів захисту персоналу від впливу електромагнітних полів під час проведення робіт ПРН; закони, інструкції та правила, що регламентують проведення робіт ПРН.

На сьогоднішній день найбільш розповсюдженими методами ТО ліній є періодичні та позачергові огляди. Періодичні огляди ПЛ (6 – 750) кВ проводиться електромонтерами не рідше одного разу в 6 місяців. Проте ПЛ, які проходять у населених пунктах, промислових районах, місцях сильного забруднення, рекомендується оглядати більш частіше один раз на 3 місяці. Під час огляду обхідник пересувається по краю траси, уважно оглядаючи всі елементи ліній і одночасно трасу. Лінія, що оглядається, у всіх випадках вважається такою, що перебуває під напругою.

Найпоширеніші дефекти: проводів і тросів (розтягування, провисання, розрив); ізоляторів і арматури (механічні пошкодження ізоляторів, тріщини в шапках, перекриття гірлянд, забруднення ізоляторів, сильні відхилення підтримуючих гірлянд ізоляторів); трубчастих розрядників (незадовільне кріплення розрядників, забруднення, пошкодження лакової плівки, відсутність показників спрацювання); опор і фундаментів (тріщини, осідання і висмикування фундаментів, ослаблення і пошкодження натяжок опор, деформація частин металевих опор, наявність загнивання, обгорання і розщеплювання деталей дерев'яних опор, нахили опор); трас і просік (наявність в охоронній зоні матеріалів, небезпечних в пожежному відношенні, наявність на краю просік дерев, які можуть загрожувати падінням на проводи, відсутність сигнальних знаків біля автомобільних доріг тощо).

Висновки: Проаналізувавши світовий та вітчизняний досвід технічної експлуатації та ремонту ліній електропередач постає питання про їх удосконалення. Даному питанню і будуть присвячені подальші дослідження авторів.

Список використаних джерел:

1. Казанський С.В. Експлуатація електричних систем: Обслуговування електричних мереж під робочою напругою: навч. посіб. / С.В. Казанський. – Київ.: НТУУ «КПІ», 2016. – 237 с. – Бібліогр.: с. 236-237.

2.Друбецька Т.І., Козаченко Є.М., Панасенко Д.К. Підвищення якості технічного обслуговування і ремонту обладнання тягових підстанцій. Енергетика: економіка, технології, екологія. 2024. № 1. С. 51-56.

РОЗДІЛ 3: ХІММОТОЛОГІЧНА НАДІЙНІСТЬ ТА ТЕХНОЛОГІЇ ЕНЕРГООЩАДНОСТІ В ЕНЕРГЕТИЦІ ТА ТРАНСПОРТІ

УДК 620.92

Бойченко С.В., д-р техн. наук, проф.
Дубовик В.Г., ст. викладач
Босак А.В., доцент
Бернацький В.В., студент
Національний технічний університет
України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

МОЖЛИВОСТІ ГЕОІНЖЕРІЇ ДЛЯ ЗМІНИ КЛІМАТУ ЗЕМЛІ

У статті розглянуто основні положення Паризької угоди по клімату, зобов'язання, які беруть на себе країни при її підписанні, динаміка зростання викиді, а також показано, що можна штучно змінити атмосферу Землі, щоб вона відбивала більше сонячного світла і тим самим сприяла охолодженню клімату планети. Для цього можна в атмосферу ввести частинки сірки, використовувати пилинки алмазів.

Ключові слова: Паризька угода; парникові гази; зміна клімату.

На завершення 21-ї Конференції зі зміни клімату 12 грудня 2015 остаточний текст Паризької угоди був погоджений консенсусом всіх 195 країн-підписантів Рамкової конвенції та Європейського Союзу з метою зменшення викидів, як частини зусиль зі зменшення незв'язаних обсягів парникових газів. Угода набрала чинності 4 листопада 2016 року. У 2020 році США стали першою країною, що вийшла з угоди. На відміну від Кіотського протоколу, Паризька кліматична угода передбачає, що зобов'язання зі скорочення шкідливих викидів в атмосферу беруть на себе всі держави, незалежно від ступеня їхнього економічного розвитку. Головна ціль Паризької угоди – не допустити зростання глобальної середньої температури більше 2°C відносно показників доіндустріальної епохи, які переважали до приходу промислової революції в період з 1750 по 1850 роки.

Головною метою Паризької угоди є:

- а) стримання зростання глобальної середньої температури значно нижче 2°C понад доіндустріальні рівні і обмеження зростання температури до 1,5°C;
- б) підвищення здатності адаптуватися до несприятливих наслідків зміни клімату таким чином, щоб не ставити під загрозу виробництво продовольства;
- в) забезпечення узгодженості фінансових потоків[1].

Існує багато ідей про те, як можна штучно змінити атмосферу Землі, щоб вона відбивала більше сонячного світла і тим самим сприяла охолодженню клімату планети з використанням методів геоінженерії. Для зупинки глобального потепління вчені запропонували метод упорскування величезної кількості дрібних частинок у стратосферу – другий шар атмосфери – для відхилення сонячного світла та створення ефекту охолодження. Введення аерозолу в стратосферу включає частинки сірки або іншої речовини.

Введення в атмосферу частинок сірки вже обговорюється багато років. Щось подібне відбувається і внаслідок природних процесів на Землі, таких як виверження вулканів. Оскільки діоксид сірки може призвести до кислотних дощів та пошкодити озоновий шар, ця ідея є спірною. Такі дослідження, результати якого були опубліковані в журналі *Geophysical Research Letters*, відносяться до галузі геоінженерії - науки, яка займається спробами зменшити негативні наслідки зміни клімату шляхом маніпулювання

природними процесами. Не всі методи однаково безпечні. Традиційне використання діоксиду сірки для охолодження атмосфери може призвести до зворотного ефекту, викликати та спровокувати потепління стратосфери. Дослідження показали, що є різні частки речовин, які здатні відбивати сонячне світло і, таким чином, сприяти охолодженню клімату. З ряду речовин - алмазу, алюмінію і кальцієвого компонента - кальциту, в кінцевому підсумку найкраще себе показав алмазний пил у відображенні сонячного випромінювання. Частинки сірки посіли друге місце у цьому експерименті. Через високу вартість алмазного пилу найкращим варіантом, як і раніше, вважається сірка. В природі достатньо і її частинки можна швидше розподілити в атмосфері літаками. Вплив частинок сірки на навколишнє середовище в даний час краще вивчити в реальних умовах, оскільки вони природно вивільняються під час вивержень вулканів.

По результатах комп'ютерного моделювання для відновлення клімату протягом 45 років та оцінці впливу різних частинок для боротьби із глобальним потеплінням запропоновано використання алмазного пилу. Як пише видання IFLScience, план передбачає викид в атмосферу 5 мільйонів тонн цих частинок щорічно. Якби все вдалося, це могло знизити глобальну температуру на 1,6 °C. Для порівняння, світ вже близький до перевищення межі 1,5 °C, встановленої Паризькою угодою. Викид такого значення маси алмазного пилу в стратосферу не буде дешевим, пише Science та може супроводжуватися своїм набором ризиків. Для розсіювання алмазного пилу необхідно літати частіше і поступово розповсюджувати його в стратосферу, щоб уникнути утворення згустків, також доведеться масово збільшити виробництво синтетичних алмазів. Однак є одна серйозна проблема: за однією з оцінок, у період з 2035 по 2100 рік таке охолодження коштуватиме \$175 трлн. Це величезні витрати, особливо якщо врахувати, що світовий ВВП у 2023 році становив лише 105 трильйонів доларів. Використання частинки сірки було б набагато дешевшим. При ціні \$500 000 за тонну алмазний пил буде в 2400 разів дорожчим за сірку [2].

Грунтуючись на роботі, що розглядає альтернативні платформи (McClellan et al 2012), Сміт та Вагнер представили специфікації для стратосферного літака з аерозольним інжектором (SAIL) першого покоління з чотирма двигунами, порожньою вагою (OEW) 50 тонн та максимальним корисним навантаженням 25 тонн (Smith and Wagner 2018). Удосконалена конструкція літака, називається SAIL-1. Це менший літак із шістьма двигунами, OEW 38,2 тонни та корисним навантаженням 15,7 тонни (Bingaman et al 2020). У той час як для програми SAIL-1 буде потрібно приблизно на 60% більше циклів, щоб підняти ту ж масу, що і SAIL, літак буде підніматися і опускатися набагато швидше і летіти лише 10 хвилин, скорочуючи час циклу вдвічі. Таким чином, загальні витрати відповідають тим, які були раніше представлені, але істотно різняться в залежності від обраної категорії. У табл. узагальнено основні припущення про параметри літаків для всіх трьох категорій SAI.

Таблиця. Основні припущення параметрів літаків

Параметри літаків	SAIL-1	SAIL-2	SAIL-3
Максимальна злітна вага, тонн	59,2	81,1	83,7
Експлуатаційна порожня вага, тонн	38,2	51,6	51,6
Запас палива (у режимі розпилювання)	5,4	8,3	6,7
Вантажопідйомність, тонн	15,7	21,2	25,4
Кількість двигунів на літак	6	4	4
Час циклу, год.	0,7	1,5	1,8
Щоденне використання, год.	4,2	7,5	7,2
Кількість днів роботи на рік	330	330	330
Використання льотного часу, %	75	90	90
Економічний термін служби, років	20	30	30

SAIL-1, швидше за все, розроблятиметься у невизначеній політичній обстановці, де громадське прийняття SAI не може бути гарантовано. Зіткнувшись з матеріальною ймовірністю того, що літак ніколи не полетить або його мандат може бути відкликаний передчасно та раптово, фінансовий план SAIL-1 мінімізує вартість розробки за рахунок більш високих експлуатаційних витрат. Шлях сертифікації просто гарантує, що літак безпечний і придатний для польотів, але мало грошей буде витрачено на оптимізацію ваги, паливних характеристик або вартості обслуговування, як це було б зроблено із комерційним авіалайнером. Такий підхід скоротить як виробничий цикл програми використання літака SAIL-1, так і корисний економічний термін служби кожного літака (20 років).

Однак, якщо SAIL-1 доведе бажаність і ефективність SAI, то його наступник SAIL-2 буде мати набагато більший бюджет на розробку (10 мільярдів доларів проти менше 2,5 мільярда). Новий бюджет передбачає, що SAIL-2 матиме нові розроблені двигуни та набагато ефективнішу конструкцію планера. SAIL-2 планується ввести в експлуатацію на 16-й рік програми SAI (2050), після чого ніяких додаткових SAIL-1 поставлятися не буде, хоча всі літаки розглянутих категорій продовжуватимуть літати до кінця свого 20-річного терміну служби. Літаки категорії SAIL-2 на 35% мають більші показники OEW (51,6 тонни) і корисного навантаження (21,2 тонни), також матимуть чотири суттєво потужніших двигуна, що дозволить йому спалювати на 20% менше палива. Однак час циклу збільшиться до 2 годин через зміни аерозольного корисного вантажу (див. табл.). SAIL-2 буде основою авіаційного флоту розгортання до 2070 року, коли SAIL-3 увійде в експлуатацію, обмежуючи виробництво літаків SAIL-2 та починаючи їх поступове виведення з експлуатації після 20-річного терміну служби. SAIL-3 має бюджет розробки, що дорівнює бюджету SAIL-2. Він не спричиняє збільшення OEW, але збільшує корисне навантаження ще на 20% (25,4 тонни) і зменшує витрату палива. Час циклу збільшується пропорційно до збільшення корисного навантаження. До 2100 авіаційний флот SAI складатиметься повністю із SAIL-3, а останній із SAIL-2 досягне кінця свого економічного терміну служби роком раніше [3].

Вчені визнають, що при такому високому значенні маси алмазного пилу ще потрібно вирішити безліч питань. Наприклад, чи можливо взагалі відправити тверді частинки в атмосферу без ризику їх коагуляції, що може призвести до нагрівання. Технічний термін для цього найгіршого сценарію - репрезентативний шлях концентрації (RCP)

Міжурядова група експертів зі зміни клімату вперше використала RCP при підготовці своєї п'ятої доповіді про оцінку, опубліковану у 2014 році. Існує чотири основні RCP: RCP 2.6, RCP4.5, RCP 6.0, RCP 8.5. Ці числа є значеннями радіаційного впливу енергії сонця, яке вловлює атмосфера. Починаючи з 2005 року, прогнози RCPs проєктують траєкторію значень парникового газу до 2100 року. Кожен прогноз містить також припущення про майбутнє населення, економічну активність та використання викопного палива.

У RCP 8.5 ми продовжуємо генерувати вуглекислий газ в атмосферу збільшенням використання вугілля приблизно на 500 відсотків до 2100 року. Крістофер Швальм та його колеги з дослідницького центру Вудс-Хоул опублікували доповідь у журналі *Proceedings of the National Academy of Sciences*, в якому стверджується, що ми дійсно слідуємо траєкторії RCP 8.5. Але інші вчені стверджують, що RCP 8.5 не дає точної картини того, що відбувається зараз і особливо малоймовірний як майбутній сценарій, що переходить у 2100 рік [4].

Висновки. З того часу, як були розроблені RCPs, ми були найближчими до цього найгіршого шляху. За останні 15 років наші викиди парникових газів найбільше точно відповідали прогнозованим у рамках RCP 8.5. Експерти підраховали, що, спираючись на політичні зобов'язання, взяті країнами, ми, швидше за все, на шляху до того, щоб зігріти планету на 3°C наприкінці століття. Однак RCP 8.5 ставить нас на позначку близько 5°C.

Список використаних джерел інформації

1. United Nations Treaty Collection. Chapter XXVII. Environment. 7. d Paris Agreement [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://treaties.un.org/Pages/ViewDetails.aspx?src=TREATY&mtdsg_no=XXVII-7-d&chapter=27&clang=_en
2. The cost of stratospheric aerosol injection through 2100. Yale College, New Haven, CT, United States of America. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aba7e7>
3. IPCC 2018 Summary for Policymakers Global Warming of 1.5 °C. An IPCC Special Report on the Impacts of Global Warming of 1.5 °C above Pre-Industrial Levels and Related Global Greenhouse Gas Emission Pathways, in the Context of Strengthening the Global Response to the Threat of Climate Change, Sustainable Development, and Efforts to Eradicate Poverty (Geneva: IPCC).
4. Weitzman M L 2013 A Voting Architecture for the Governance of Free-Driver Externalities, with Application to Geoengineering Discussion Paper *The Harvard Project on Climate Agreements* pp 13–55
(www.belfercenter.org/sites/default/files/files/publication/weitzman_dp55.pdf)

ВІДНОВЛЮВАЛЬНІ ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ В ВИДОБУВНИЧІЙ ПРОМИСЛОВOSTІ

Видобувні підприємства, зокрема кар'єри, є одними з найбільших споживачів енергії в промисловому секторі та суттєвими джерелами викидів CO₂ (рис 1) [1]. Традиційні джерела енергії, такі як дизельне паливо та електроенергія з централізованої мережі, призводять до значних витрат та мають негативний вплив на довкілля. В умовах сучасних енергетичних викликів, спричинених агресією росії та атакою на критичну інфраструктуру України, питання енергетичної незалежності та стабільності стало надзвичайно актуальним. Використання відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) дозволяє підприємствам досягти автономії, зменшуючи залежність від централізованого енергопостачання.

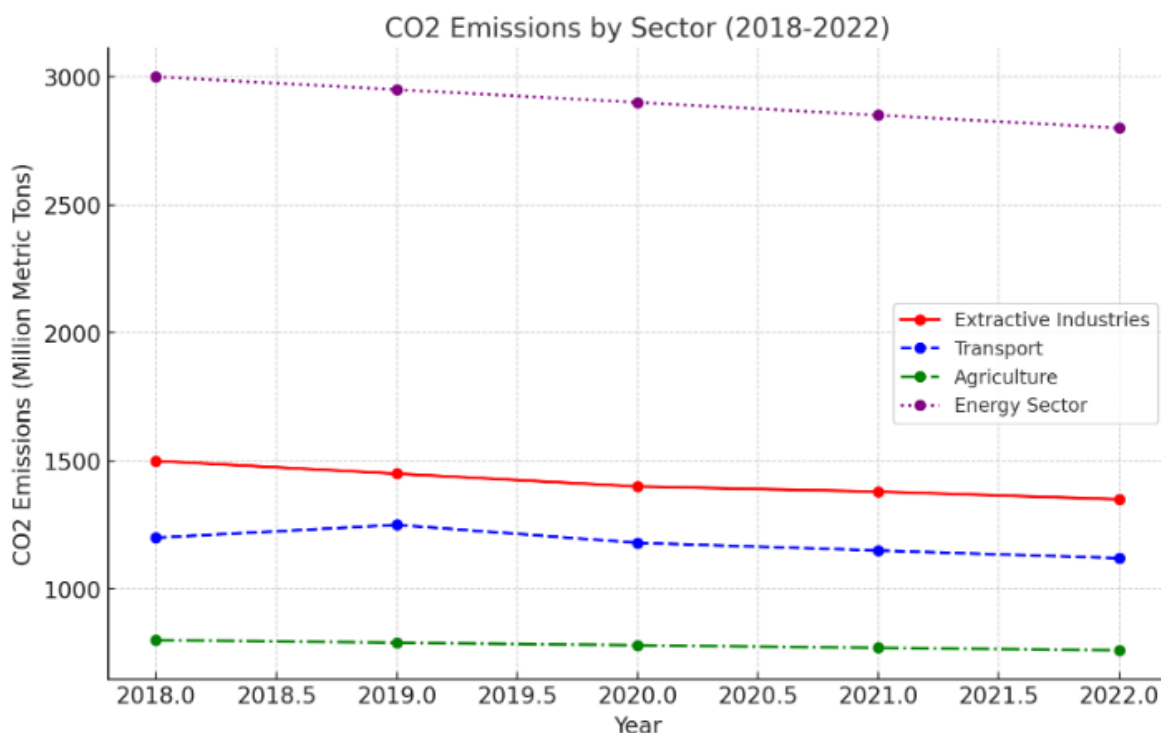


Рисунок 1- викиди CO₂ від різних секторів [1]

Впровадження ВДЕ на кар'єрах відкриває значні можливості для оптимізації енергоспоживання. Використання сонячних панелей та вітрових турбін може забезпечити енергетичну незалежність кар'єрів, що дозволяє знизити експлуатаційні витрати. Наприклад, інтеграція сонячних установок на відкритих ділянках кар'єру або встановлення вітряків на підвищених місцевостях забезпечує стабільну генерацію енергії навіть у віддалених регіонах. Цей підхід є особливо корисним під час війни, коли енергетична інфраструктура піддається атакам, що призводить до перебоїв у постачанні електроенергії.

Перехід на відновлювані джерела енергії також має економічні переваги. Встановлення сонячних панелей і вітрових турбін потребує значних початкових інвестицій, однак окупність цих проєктів може бути досягнута вже протягом 3-5 років завдяки значному зниженню витрат на паливо та електроенергію. Крім того, використання власних джерел енергії допомагає підприємствам захистити себе від коливань цін на енергоресурси та забезпечити стабільність виробництва.

Використання ВДЕ сприяє значному зниженню викидів парникових газів, що є важливим аспектом у боротьбі зі зміною клімату. Кар'єри, які впроваджують "зелені" технології, покращують свій екологічний імідж, що є важливим фактором у сучасному бізнес-середовищі.

Незважаючи на численні переваги, впровадження ВДЕ на кар'єрах має і певні виклики. Значні початкові інвестиції можуть стати бар'єром для підприємств, особливо в умовах економічної нестабільності. Крім того, для інтеграції відновлюваних джерел енергії необхідно адаптувати існуючу інфраструктуру та навчити персонал обслуговуванню нових установок. Різноманітність кліматичних умов в різних регіонах також впливає на ефективність генерації енергії, що потребує ретельного планування і врахування локальних особливостей.

В роботі розглянуто використання ВДЕ для Малинського кар'єру. Виходячи з рельєфу, оточення та інших факторів місцевості найбільш вигідними джерелами ВДЕ визначено біогаз та сонячну енергію. Такий вибір обумовлений наступним:

1) поблизу об'єкта розташована ферма великої рогатої худоби, яка забезпечить стабільне надходження гною для біогазової установки;

2) наявність значної кількості відкритих галявин створює можливості для розміщення сонячних панелей.

Добове споживання електричної енергії кар'єру складає 2500 кВт·год. Ферма з чисельністю худоби в 750 голів виробляє достатньо гною для задоволення потреб малої біогазової установки на 100 кВт, яка в свою чергу зменшить споживання енергії з мережі на 46-52%. Пропонується розміщувати сонячні панелі на закинутих полях, оскільки вони представляють собою рівні площі без лісонасаджень. Припустивши, що для забезпечення потужності в 1 кВт необхідно 5-6 м² площі, то маючи в розпорядженні 1300 м² можна зменшити використання енергії з мережі ще на 30-33%.

Висновки. Інтеграція відновлюваних джерел енергії на видобувних підприємствах є важливим кроком до досягнення енергетичної незалежності та сталого розвитку. Використання ВДЕ на кар'єрах не тільки сприяє зниженню операційних витрат, але й допомагає зменшити вплив на навколишнє середовище. Таким чином, підприємства можуть не лише підвищити свою конкурентоспроможність, але й зробити свій вклад у збереження екології для майбутніх поколінь.

Список використаних жерел

1. <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/global-co2-emissions-by-sector-2019-2022>.
2. Андрійчук, І. В. "Інтеграція відновлюваних джерел енергії у видобувну промисловість: досвід та перспективи". Київ: Технопрогрес, 2023.
3. Борисенко, О. С. "Енергетична незалежність в умовах воєнних загроз: роль ВДЕ в Україні". Харків: Екополіс, 2024.
4. Дубровін, М. П., та Ковальчук, Г. О. "Використання сонячної енергії на видобувних підприємствах". Журнал "Енергоефективність та екологія", вип. 11, 2023, с. 45-53.
5. Іваненко, В. М. "Переваги впровадження відновлюваних джерел енергії в кар'єрах: економічний та екологічний аспекти". Львів: Наукова думка, 2022.
6. Карпенко, А. В. "Вітрові електростанції на гірничодобувних об'єктах: можливості та виклики". Журнал "Енергетика України", вип. 9, 2024, с. 102-110.
7. Петров, О. С., та Смирнов, Д. О. "Перспективи використання ВДЕ для забезпечення енергетичної незалежності видобувних підприємств". Донецьк: Видавництво "Промінь", 2023.
8. Сидоренко, Л. Ю. "Сталий розвиток кар'єрів за рахунок інтеграції відновлюваних джерел енергії". Журнал "Гірнична справа і екологія", вип. 7, 2024, с. 68-75.
9. Федоренко, Н. О. "Застосування гібридних енергетичних систем на кар'єрах: аналіз і перспективи". Одеса: Видавництво "Екоенергія", 2023.
10. Чорний, Р. Г. "Імплементация 'зелених' технологій у видобувну галузь України". Журнал "Промислові інновації", вип. 3, 2023, с. 88-96.
11. Шевченко, І. А. "Аналіз впливу використання ВДЕ на операційну діяльність кар'єрів". Київ: Енергетичний центр, 2022.

References

1. <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/global-co2-emissions-by-sector-2019-2022>
2. Andriychuk, I. V. "Integration of Renewable Energy Sources in the Extractive Industry: Experience and Prospects". Kyiv: Technoprogres, 2023.

3. Borysenko, O. S. "Energy Independence in the Context of Military Threats: The Role of RES in Ukraine". Kharkiv: Ecopolis, 2024.
4. Dubrovin, M. P., & Kovalchuk, H. O. "Utilization of Solar Energy in Extractive Enterprises". *Journal of Energy Efficiency and Ecology*, vol. 11, 2023, pp. 45-53.
5. Ivanenko, V. M. "Benefits of Implementing Renewable Energy in Quarries: Economic and Environmental Aspects". Lviv: Scientific Thought, 2022.
6. Karpenko, A. V. "Wind Power Plants in Mining Sites: Opportunities and Challenges". *Journal of Energy of Ukraine*, vol. 9, 2024, pp. 102-110.
7. Petrov, O. S., & Smirnov, D. O. "Prospects for the Use of RES to Ensure Energy Independence of Extractive Enterprises". Donetsk: Promin Publishing, 2023.
8. Sydorenko, L. Yu. "Sustainable Quarry Development through Renewable Energy Integration". *Journal of Mining and Ecology*, vol. 7, 2024, pp. 68-75.
9. Fedorenko, N. O. "Application of Hybrid Energy Systems in Quarries: Analysis and Prospects". Odesa: Ecoenergy Publishing, 2023.
10. Chornyi, R. H. "Implementation of 'Green' Technologies in Ukraine's Extractive Industry". *Journal of Industrial Innovations*, vol. 3, 2023, pp. 88-96.
11. Shevchenko, I. A. "Analysis of the Impact of RES on Quarry Operations". Kyiv: Energy Center, 2022.

ДОСЛІДЖЕННЯ НЕЙРОМЕРЕЖЕВИХ РЕГУЛЯТОРІВ В СИСТЕМІ УПРАВЛІННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДА ЛІФТА

Вступ. Зростання кількості багатоповерхових споруд в Україні та світі підвищує потребу в сучасних, енергоефективних та безпечних ліфтових системах. Основою роботи таких систем є автоматизовані системи керування електроприводами, які забезпечують надійне функціонування ліфта та комфорт пасажирів. Модернізація таких систем дозволяє підвищити енергоефективність, зменшити експлуатаційні витрати та покращити безпеку.

Метою роботи є дослідження нейромережевих регуляторів в складі системи управління електроприводу ліфта.

Електропривод ліфта є комплексною системою, що складається з електродвигуна, перетворювача частоти, датчиків положення та системи керування. Традиційні релейно-контакторні схеми мають низьку ефективність, високий рівень споживання електроенергії та складність обслуговування. Сучасні частотно-регульовані приводи та мікропроцесорні системи керування надають можливість плавного розгону та гальмування, підвищують енергоефективність та зменшують знос механічних компонентів.

Робоча гіпотеза полягає в тому, що впровадження систем нейромережевого керування дозволить підвищити ефективність роботи ліфтових систем, підвищити швидкодію електроприводу або спростить налаштування регуляторів в складі системи управління електроприводу. Завдяки алгоритмам машинного навчання нейрорегулятор може автоматично оптимізувати параметри управління у відповідь на зміну умов експлуатації, таких як маса ліфта чи зношення компонентів. Нейрорегулятор не вимагає тривалого ручного налаштування, оскільки його навчання проводиться на експериментальних даних, які формуються під конкретний об'єкт.

Синтезовано модель електропривода ліфта за системою «Перетворювач частоти – асинхронний двигун» в середовищі Matlab/Simulink. Модель містить два контури регулювання – за струмом і за швидкістю. Для усіх випадків було застосовано пропорційно-інтегруючий регулятор струму. Подібні регулятори є стандартним рішенням для реалізації керування контуром струму. Проведено дослідження різних типів регуляторів швидкості для створеної моделі. Були досліджені традиційні П, ПІ та ПІД регулятори, а також нейромережеві регулятори типів Model Reference Controller, Model Predictive Controller та NARMA L2.

Параметри пропорційного та пропорційно-інтегруючого регулятора налаштовані на симетричний оптимум. ПІД регулятор налаштовано методом Зіглера-Нікольса. Для налаштування нейромережевого регулятора сформовано навчальну вибірку – дані, на яких було проведено навчання штучної нейронної мережі (ШНМ). Такі дані представляють собою сигнали з входу і виходу об'єкта управління (ОУ). Для збору навчальних даних для кожного нейрорегулятора було проведено серії ідентифікацій об'єкту управління. Для цього послідовність випадкових ступінчатих сигналів подавалась на вхід об'єкта управління і фіксувалися вихідні сигнали ОУ. Таким чином для кожного моменту часу отримано пару сигналів: вхідний і вихідний. На рис.1. представлено структуру нейромережевого регулятора Model reference controller, та реакцію системи на одиничний ступінчатий вплив для 6 досліджених типів регуляторів.

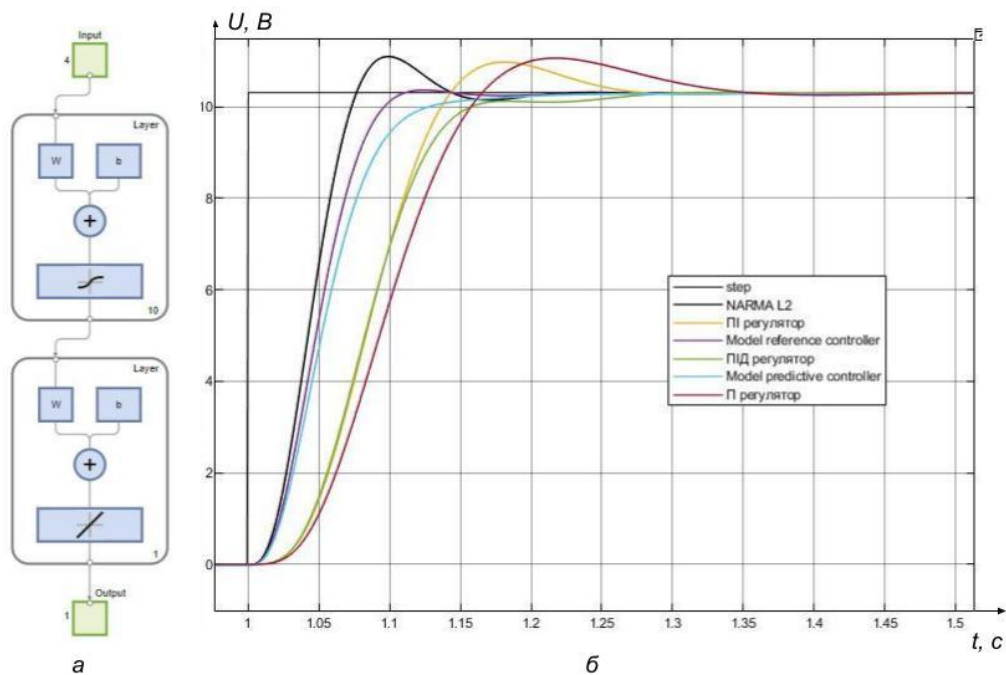


Рис.1. Структура нейромережевого регулятора Model reference controller (а) та реакція системи на одиничний ступінчатий вплив (б)

Висновки. Дослідження синтезованих моделей електроприводів із різними типами регуляторів швидкості дозволяє зробити наступні висновки. Регулятори на основі штучних нейронних мереж демонструють менший час регулювання, ніж традиційні регулятори. Час перехідного процесу при використанні нейромережевого регулятора NARMA L2 в 1,75 рази менший за час перехідного процесу пропорційного регулятора. Нейромережеві регулятори Model reference controller та Model predictive controller демонструють схожий характер наростання регульованого сигналу, швидкість наростання вища за системи із традиційними регуляторами. Із досліджених неромережевих регуляторів найменше перерегулювання показав Model reference controller, час регулювання склав 0,15 с регулятор містить 10 нейронів із тангенційною функцією активації в прихованому шарі та один вихідний нейрон із лінійною функцією активації.

Список використаної літератури

1. Васильєв О.В. "Електроприводи ліфтів: теорія та практика". Київ: Техніка, 2020.
2. Коваленко М.П. "Частотно-регульовані приводи для підйомних механізмів". Харків: Основа, 2019.
3. Smith J. "Elevator Control Systems: Modern Solutions". Springer, 2021.
4. Іванченко С.О. "Інтеграція ліфтових систем з BMS". Одеса: Порто-Франко, 2022.
5. Brown T. "IoT-based Monitoring in Elevator Systems". IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2023.
6. Лисенко І.В. "Енергоефективні системи керування ліфтами". Львів: Політехніка, 2021.

References

1. Vasiliev O.V. "Electric drives of elevators: theory and practice". Kyiv: Technika, 2020.
2. Kovalenko M.P. "Frequency-regulated drives for lifting mechanisms". Kharkiv: Osnova, 2019.
3. Smith J. "Elevator Control Systems: Modern Solutions". Springer, 2021.
4. Ivanchenko S.O. "Integration of elevator systems with BMS". Odesa: Porto-Franco, 2022.
5. Brown T. "IoT-based Monitoring in Elevator Systems". IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2023.
6. I.V. Lysenko "Energy-efficient elevator control systems". Lviv: Polytechnic, 2021.

ОПТИМІЗАЦІЯ ТА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ СИСТЕМ ВИКОРИСТАННЯ ВОДНЮ ТА ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ З ВИДАЛЕННЯМ CO₂

Запаси викопних палив, що забезпечують більшість світового енергоспоживання, виснажуються, а їх використання спричиняє викиди парникових газів, негативно впливаючи на клімат. Тому світ переходить на екологічно чисті, відновлювані джерела енергії, такі як водень, продуктом використання якого є вода.

Водень – універсальне паливо з великим потенціалом для двигунів, паливних елементів і синтетичних палив. Оптимальним є комбіноване виробництво водню та електроенергії в одній установці, що підвищує ефективність системи за рахунок утилізації надлишкового тепла. Для оптимізації цих процесів застосовуються математичне моделювання та інноваційні технології, зокрема паладієві мембрани для виділення водню, що дозволяє значно підвищити енергоефективність.

Мета — оптимізувати енерготехнологічні установки для комбінованого виробництва водню та електроенергії з органічного палива, з урахуванням витрат на видалення CO₂.

Основні завдання:

- Розробка підходів для комплексного дослідження ЕТУ, що використовують водень і електроенергію з видаленням CO₂.
- Створення математичних моделей для процесів ЕТУ на різних видах органічного палива, що враховують системи видалення CO₂.
- Техніко-економічне обґрунтування та оптимізація параметрів ЕТУ для вугілля та природного газу з урахуванням вартості видалення CO₂.

Наукова новизна:

- Вперше розроблено комплексні моделі та оптимізаційні методи для ЕТУ на вугіллі та природному газі з видаленням CO₂, що визначають їх конкурентоспроможність.
- Проведено порівняння ефективності ЕТУ для виробництва водню та екологічно чистих рідких синтетичних палив (СЖТ), з урахуванням затрат на видалення CO₂.

Практична цінність:

- Розроблені моделі дозволяють оцінювати техніко-економічну ефективність ЕТУ водню й електроенергії та приймати оптимальні рішення для їх проєктування.

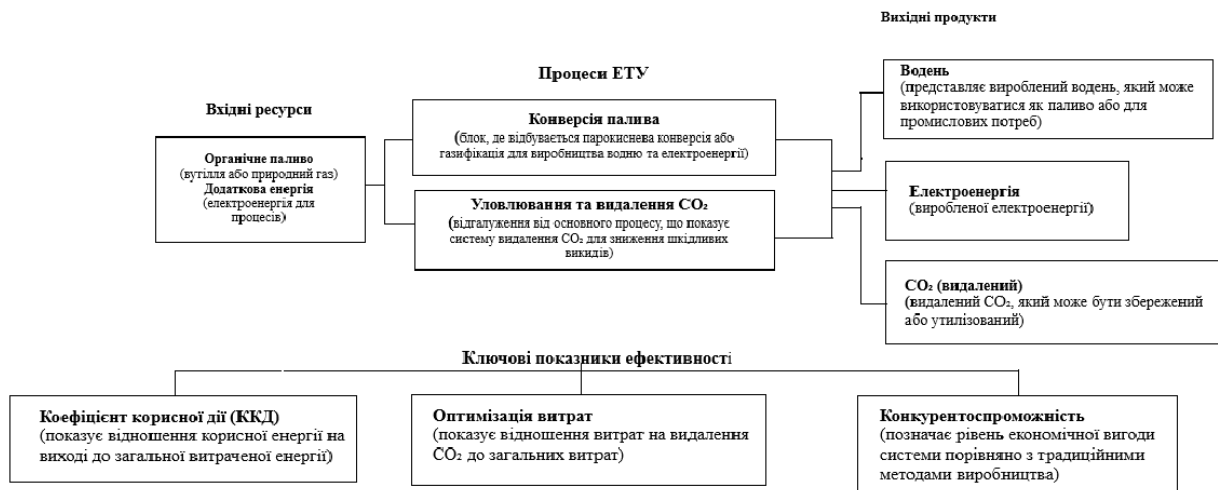


Рисунок 1- Техніко-економічна ефективність енерготехнологічної установки (ЕТУ) для комбінованого виробництва водню та електроенергії з видаленням CO₂.

Впровадження комбінованої енергетичної установки для виробництва водню та електроенергії з видаленням CO₂ дозволяє оптимізувати енергоспоживання, підвищуючи загальний ККД за рахунок утилізації надлишкового тепла й зниження енергетичних втрат.

Система уловлювання CO₂ суттєво скорочує викиди парникових газів, що сприяє досягненню вуглецево-нейтрального балансу та відповідає екологічним стандартам.

Комбінований процес також зменшує капітальні витрати, оскільки одночасно генерує водень та електроенергію, підвищуючи конкурентоспроможність у порівнянні з традиційними методами.

Завдяки математичним моделям процес можна налаштовувати для досягнення максимальної продуктивності при мінімальних витратах, що підсилює економічну та енергетичну ефективність системи.

Припустимо, комбінована установка має початковий коефіцієнт корисної дії (ККД) 50%. За рахунок утилізації надлишкового тепла та видалення CO₂ ККД зростає до 70%. Якщо початковий рівень споживання енергії становить 1000 МВт·год, то при ККД 50% корисна енергія на виході дорівнює 500 МВт·год, а при 70% — 700 МВт·год. Це означає, що для досягнення того ж рівня продуктивності установка тепер витрачає на 200 МВт·год менше, скорочуючи витрати на 20%, а кількість викидів CO₂ пропорційно зменшується.

Такий підхід не тільки знижує витрати, а й зменшує енергетичні втрати, підвищуючи загальну ефективність процесу.

Висновки.

Оптимізація енергетичних технологічних установок (ЕТУ) для комбінованого виробництва водню та електроенергії з видаленням CO₂ є перспективним шляхом для підвищення енергоефективності та зменшення екологічного впливу. Використання надлишкового тепла та інтеграція системи уловлювання CO₂ дозволяють підвищити ККД установок з 50% до 70%, що забезпечує зниження енергетичних втрат на 20% та відповідне скорочення витрат на виробництво.

Це не тільки зменшує залежність від викопних палив, а й сприяє досягненню вуглецево-нейтрального балансу, знижуючи викиди парникових газів. Використання математичних моделей для оптимізації системи робить такі установки конкурентоспроможними у порівнянні з традиційними технологіями, забезпечуючи високу

продуктивність за мінімальних витрат енергії та ресурсів. Таким чином, комбіновані установки з воднем і видаленням CO₂ становлять надійну основу для екологічно безпечного енергетичного майбутнього.

Список використаних жерел

1. Швиденко, І. П. (2018). *Водневі технології та їх перспективи для енергетики України*. Київ: Наукова думка.
2. Литвин, В. М. (2019). *Інтеграція водню в енергетичні системи та роль водневих паливних елементів*. Енергетика та автоматика, 5(3), 12-24.
3. Гриценко, Ю. А. (2021). *Математичні моделі та їх застосування для оптимізації енергетичних установок з видаленням CO₂*. Математичні моделі в техніці, 8(4), 56-72.
4. Алієв, І. М., та Коваленко, С. О. (2020). *Паладієві мембрани в процесах виділення водню*. Вісник хімічної технології, 2(10), 101-112.
5. Михайлов, В. О. (2017). *Використання водню в якості альтернативного палива для енергетики та транспорту*. Технічний вісник, 6(1), 45-56.
6. Фролов, О. П. (2022). *Оптимізація комбінованих енергетичних установок для виробництва водню та електроенергії з видаленням CO₂*. Енергетика та екологія, 13(2), 34-48.
7. Мельник, О. В. (2019). *Техніко-економічне обґрунтування водневих енергетичних технологій*. Економіка та інноваційні технології, 8(6), 120-134.
8. Семененко, В. І. (2020). *Сучасні технології видалення CO₂ в енергетичних установках*. Інженерні науки, 3(2), 78-93.
9. Назаренко, В. М. (2018). *Проблеми та перспективи водневої економіки у світі та Україні*. Вісник енергетики, 5(3), 25-36.
10. Черкасов, Д. Ю., & Богданов, А. І. (2021). *Відновлювальні джерела енергії та їх роль у зниженні парникових газів*. Екологія та енергетика, 11(4), 101-115.

ВОДНЕВА СИСТЕМА АВАРІЙНОГО АВТОНОМНОГО ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МАЛОЇ ПОТУЖНОСТІ

Вступ. В сучасному світі зростає потреба у надійних джерелах енергії для безперервного живлення важливих об'єктів, таких як сервери, медичне обладнання, телекомунікаційні станції тощо. Одна з перспективних технологій, яка розглядається для забезпечення автономного аварійного живлення, є воднева система з використанням паливних елементів (РЕМ). Водневі паливні елементи дають змогу генерувати електроенергію з мінімальним рівнем викидів, що робить їх екологічно чистими. У рамках даного дослідження розглянуто можливість використання водневої системи для аварійного енергозабезпечення малої потужності.

Ідея. Основною ідеєю є створення автономної системи резервного живлення на базі водневих паливних елементів, яка здатна працювати в умовах обмеженого доступу до електромережі або навіть в її повній відсутності. Така система є альтернативою традиційним акумуляторним та дизельним джерелам живлення, забезпечуючи тривале постачання електроенергії за рахунок хімічної реакції водню та кисню. Окрім цього, водневі системи не потребують частого обслуговування, а їх використання сприяє зменшенню викидів парникових газів.

Мета роботи. Метою дослідження є оцінка ефективності водневої системи аварійного автономного енергозабезпечення малої потужності для живлення критично важливих об'єктів та порівняння її характеристик з іншими системами аварійного живлення. Дослідження також має на меті визначити оптимальні умови та параметри, при яких воднева система є найбільш доцільною у використанні.

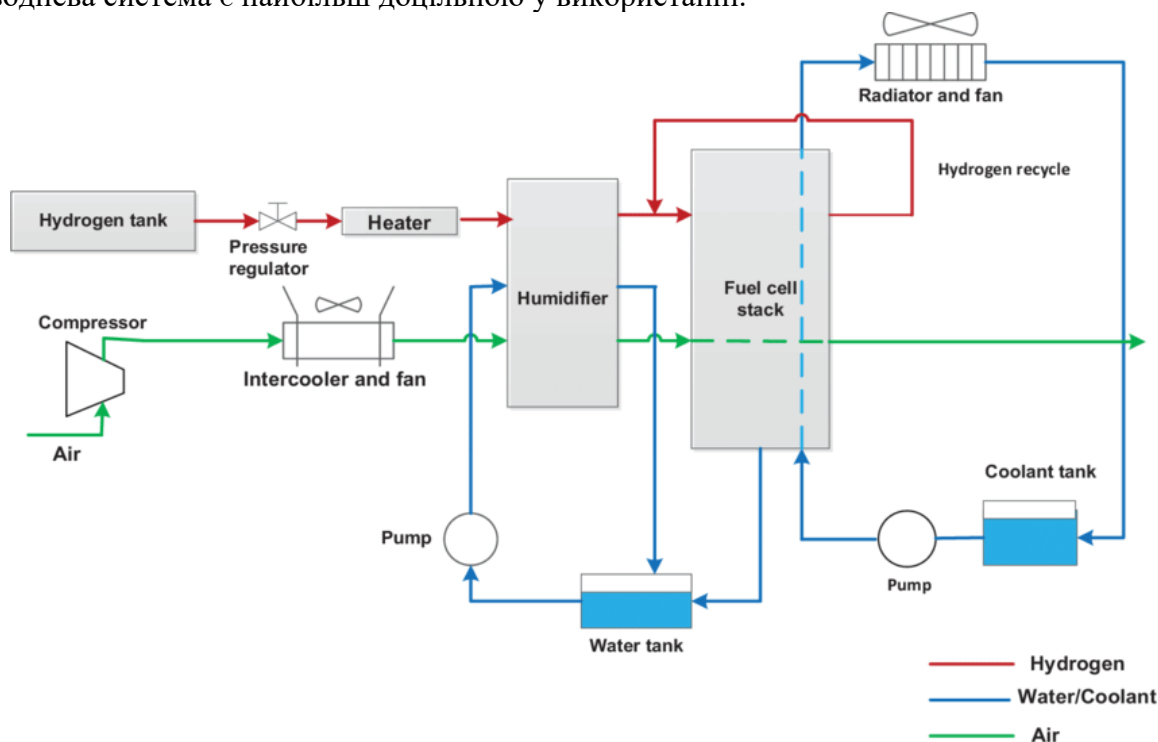


Рисунок 1- Принципова схема системи паливних елементів РЕМ [1]

Матеріал і результати дослідження. Для проведення дослідження було розглянуто

моделі водневих систем живлення на основі PEM паливних елементів, а також обрано тестові зразки UPS-систем. До основних параметрів, які оцінювались, належали: тривалість автономної роботи, ефективність генерації електроенергії, рівень викидів, а також вартість експлуатації. Для випробувань була змодельована ситуація аварійного вимкнення живлення.

Тривалість автономної роботи системи визначається за формулою:

$$T = \frac{\eta * LHV * m}{P_{load}}$$

де:

- m — кількість водню (кг),
- P_{load} — навантаження системи (кВт)
- η — ефективність паливного елемента (60%, або 0.6),
- LHV — нижча теплотворна здатність водню (33,33 кВт*год).

Дослідження показали, що воднева система може забезпечити стабільне постачання електроенергії протягом тривалого часу в умовах аварійної ситуації. При цьому коефіцієнт ефективності генерації залишався високим, а викиди були мінімальними. Система виявилась конкурентоздатною з іншими аварійними джерелами живлення за параметрами автономної роботи, але її вартість залишалась вищою у порівнянні з традиційними акумуляторами.

Висновок. Воднева система аварійного автономного енергозабезпечення є перспективним рішенням для живлення малопотужних критичних об'єктів, особливо в умовах обмеженого доступу до традиційних джерел енергії. Хоча такі системи потребують значних початкових інвестицій, їх екологічність та тривала автономність можуть стати вагомими перевагами у майбутньому.

Список використаних джерел

1. Akroot, A.; Ekici, Ö.; Köksal, M. Process modeling of an automotive pem fuel cell system. Int. J. Green Energy, 2019
2. "Fuel Cell Systems Explained" – James Larminie, Andrew Dicks, 2003
3. "Energy Systems Engineering: Evaluation and Implementation" – Francis Vanek, Louis Albright, Largus Angenent, 2012
4. Ogden, J. M. "Prospects for building a hydrogen energy infrastructure." Annual Review of Energy and the Environment, 1999
5. "Hydrogen and Fuel Cells: Emerging Technologies and Applications" – Bent Sørensen, 2005

References

1. Akroot, A.; Ekici, Ö.; Köksal, M. Process modeling of an automotive pem fuel cell system. Int. J. Green Energy, 2019
2. "Fuel Cell Systems Explained" – James Larminie, Andrew Dicks, 2003
3. "Energy Systems Engineering: Evaluation and Implementation" – Francis Vanek, Louis Albright, Largus Angenent, 2012
4. Ogden, J. M. "Prospects for building a hydrogen energy infrastructure." Annual Review of Energy and the Environment, 1999
5. "Hydrogen and Fuel Cells: Emerging Technologies and Applications" – Bent Sørensen, 2005

КІНЕТИЧНІ НАКОПИЧУВАЧІ ЕНЕРГІЇ ЯК МЕТОД РЕГУЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОГО НАВАНТАЖЕННЯ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ

Вступ. Проблема регулювання електричного навантаження на промислових підприємствах є надзвичайно актуальною в умовах зростаючих вимог до стабільності та ефективності енергозабезпечення. Застосування кінетичних накопичувачів енергії, таких як маховики, може стати ключовим рішенням для підвищення енергоефективності промислових підприємств, особливо під час різких коливань навантаження. Завдяки можливості швидко віддавати накопичену енергію, кінетичні накопичувачі забезпечують гнучке управління енергоспоживанням, що дозволяє зменшити витрати на електроенергію та підвищити надійність внутрішніх мереж підприємства.

Характеристики та переваги кінетичних накопичувачів. Маховики працюють за принципом перетворення електричної енергії у кінетичну, накопичуючи її в роторі, що обертається з високою швидкістю. Кінетичні накопичувачі енергії працюють завдяки ротору, який обертається на швидкості до 60 000 обертів за хвилину і здатний акумулювати до 500 кВт·год енергії. Вони відзначаються тривалим терміном служби, часто перевищуючи 20 років, та ефективністю на рівні 85-95% завдяки мінімальним втратам на тертя у сучасних системах з магнітними підшипниками або вакуумним середовищем. Швидкий час відгуку (0,1–1 секунда) робить маховики незамінними для критично важливих промислових процесів, де навіть короточасні збої можуть призвести до значних втрат. Висока ефективність маховиків пояснюється їх малою залежністю від зовнішніх факторів та можливістю багаторазового циклу зарядки без втрат продуктивності. На рис. 1 схематично наведена типова конструкція сучасного кінетичного накопичувача енергії.

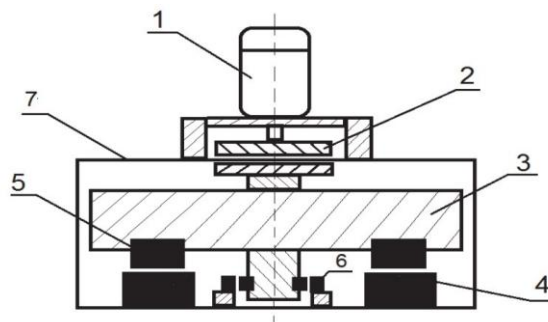


Рисунок 1 – Конструктивна схема кінетичного накопичувача енергії
(1 – двигун-генератор, 2 – магнітна муфта, 3 – маховик, 4, 5 – магнітні підвіси, 6 – стабілізуючі магніти, 7 – герметичний корпус)

Приклади використання кінетичних накопичувачів на промислових підприємствах. На підприємствах з високим рівнем споживання електроенергії, таких як металургійні заводи та автомобільні виробництва, кінетичні накопичувачі широко застосовуються для вирівнювання навантаження. Наприклад, компанія Temporal Power у Канаді встановила кінетичні накопичувачі для електромереж, що обслуговують великий завод, дозволивши зменшити пікове навантаження на 15%, що в результаті призвело до економії близько 200 000 доларів на рік за рахунок уникнення високих пікових тарифів. Інший приклад — використання маховиків на заводах компанії ABB, де встановлені

системи накопичення потужністю 1 МВт для балансування енергоспоживання, що підвищило стабільність внутрішньої мережі та зменшило потребу у використанні дизельних генераторів.

Маховики забезпечують ефективне регулювання навантаження, зменшуючи коливання споживання енергії та уникаючи пікових навантажень. Це особливо актуально для підприємств, що працюють з нерівномірним графіком енергоспоживання, як-от хімічні заводи або виробництва напівпровідників. Дослідження показали, що застосування кінетичних накопичувачів дозволяє скоротити витрати на електроенергію на 10–20% завдяки оптимізації графіка споживання та забезпеченню надійного короткочасного резервування енергії, що підвищує стабільність роботи підприємства.

Перспективи розвитку та виклики впровадження. Попри високі початкові капіталовкладення (близько 1-2 млн доларів США за систему середньої потужності), окупність кінетичних накопичувачів є привабливою завдяки зниженню операційних витрат. За умов високих пікових навантажень та значної вартості електроенергії такі системи окупаються за 5-7 років. Розвиток технологій електромагнітних підшипників та вакуумних систем для мінімізації втрат дозволяє покращувати ефективність накопичувачів і зменшувати їхню ціну. Поєднання кінетичних накопичувачів з іншими системами збереження енергії, такими як літій-іонні батареї або суперконденсатори, дозволяє створити гібридні системи для більш гнучкого управління навантаженням. Також можливе поєднання з відновлюваними джерелами енергії, що сприяє збалансованому виробництву та споживанню енергії на підприємстві. Водночас, впровадження кінетичних накопичувачів потребує технічної адаптації існуючих систем підприємств і додаткових заходів для їхнього обслуговування.

Висновки. Кінетичні накопичувачі енергії є ефективним засобом для регулювання електричного навантаження на промислових підприємствах. Вони забезпечують швидкий відгук, стабілізацію мережі та скорочення витрат на енергопостачання. Використання таких накопичувачів дозволяє підприємствам знизити пікові навантаження, підвищити надійність електропостачання та зменшити екологічний вплив. У перспективі подальші дослідження та розвиток технічних рішень сприятимуть здешевленню технології, роблячи її доступнішою для широкого кола промислових підприємств.

АЛГОРИТМ РОБОТИ КОМБІНОВАНОЇ СИСТЕМИ ОПАЛЕННЯ ЖИТЛОВОГО БУДИНКУ

Вступ. Сучасні комбіновані системи опалення використовують різні джерела теплової енергії, такі як традиційні котли, сонячні колектори, теплові насоси та геотермальні установки. Такий підхід дозволяє значно підвищити енергоефективність та знизити експлуатаційні витрати, особливо в умовах нестабільних цін на енергоносії. Проте комбіновані системи вимагають точного автоматичного управління, яке повинно забезпечити комфортний мікроклімат у приміщенні, мінімізуючи при цьому використання традиційного палива.

Метою роботи є розробка алгоритму автоматичного управління комбінованою системою опалення житлового будинку, що включає газовий котел та сонячні колектори, який дозволить оптимально використовувати наявну сонячну енергію і зменшити витрати газу.

Основна частина. Запропонований алгоритм управління комбінованою системою опалення враховує температуру в приміщенні та поза його межами та рівень інсоляції, який є вирішальним фактором, що визначає ефективність сонячних колекторів.

В системі присутні датчики температури, що розміщені всередині приміщення і за його межами, а також датчик в контурі колектора сонячних панелей, а також в системі застосовується вимірювач інсоляції. Система управління реалізована із застосуванням програмованого логічного контролера, який дозволяє автоматично відслідковувати та регулювати параметри комбінованої системи опалення, забезпечуючи точне підтримання комфортної температури в приміщенні та оптимізацію витрат енергії. Завдяки гнучкості програмованого контролера існує можливість налаштування алгоритму управління залежно від сезонних змін, рівня інсоляції та інших факторів, що впливають на ефективність опалення. Інформація з датчиків надходить у реальному часі і дозволяє визначати, скільки теплової енергії можуть генерувати сонячні колектори. При достатньому рівні інсоляції система автоматично спрямовує теплоносії, нагрітий сонячними панелями, в опалювальну систему будинку. Це дає змогу ефективно використовувати сонячну енергію як основне джерело тепла, що знижує потребу в інших видах палива.

У випадках, коли рівень інсоляції падає, наприклад, через погіршення погодних умов або настання вечірніх годин, контролер фіксує зниження температури теплоносія в контурі сонячних колекторів. Алгоритм приймає рішення про необхідність включення додаткового джерела тепла – традиційного котла (газового, електричного або твердопаливного). Котел підключається автоматично лише в тому випадку, якщо сонячної енергії недостатньо для компенсації тепловтрат будівлі та підтримання комфортної температури. Такий підхід дозволяє використовувати сонячну енергію максимально ефективно, залишаючи котел у резерві для покриття теплових потреб у періоди низької інсоляції, що сприяє економії ресурсів.

За умов, коли температура повітря в приміщенні опускається нижче заданого рівня, відбувається перевірка на спроможність сонячних колекторів забезпечити необхідну кількість тепла. Якщо рівень інсоляції недостатній для підтримки температури в приміщенні, система автоматично активує котел для компенсації тепловтрат і підтримки комфортного мікроклімату. Це відбувається лише у випадку, коли сонячної енергії дійсно

не вистачає для підтримання температурного балансу, що дозволяє економити паливо і використовувати його як резервне джерело тепла. Котел працює доти, доки температура в приміщенні не досягне заданого рівня. Після досягнення комфортної температури контролер подає сигнал на вимкнення котла, що запобігає надмірному споживанню енергії.

Висновки. Запропонований алгоритм управління дозволяє ефективно комбінувати використання сонячних колекторів і газового котла, що забезпечує значне зниження витрат на опалення та покращення енергоефективності. Використання такого алгоритму в автоматичній системі керування опаленням дозволяє зменшити залежність від традиційного палива та підтримувати стабільний комфортний клімат у приміщенні, адаптуючи роботу системи до зміни погодних умов.

Список використаної літератури

1. https://www.researchgate.net/publication/380231314_Optimizing_Hybrid_Heating_Systems_Identifying_Ideal_Stations_and_Conducting_Economic_Analysis_Heating_Houses_in_Jordan
2. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2352710222011032>
3. https://www.researchgate.net/publication/373068568_Study_on_Energy_Flow_Characteristics_of_Solar-Gas_Combined_Heating_System_for_Setling_Tank_of_Oilfield
4. <https://journals.uran.ua/tarp/article/view/301779>

References

5. https://www.researchgate.net/publication/380231314_Optimizing_Hybrid_Heating_Systems_Identifying_Ideal_Stations_and_Conducting_Economic_Analysis_Heating_Houses_in_Jordan
6. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2352710222011032>
7. https://www.researchgate.net/publication/373068568_Study_on_Energy_Flow_Characteristics_of_Solar-Gas_Combined_Heating_System_for_Setling_Tank_of_Oilfield
8. <https://journals.uran.ua/tarp/article/view/301779>

КЕРУВАННЯ РЕАКТИВНОЮ ПОТУЖНІСТЮ НА ОСНОВІ КІБЕРФІЗИЧНОЇ МОДЕЛІ ПІДСТАНЦІ ГІРНИЧОЗБАГАЧУВАЛЬНОГО ПІДПРИЄМСТВА

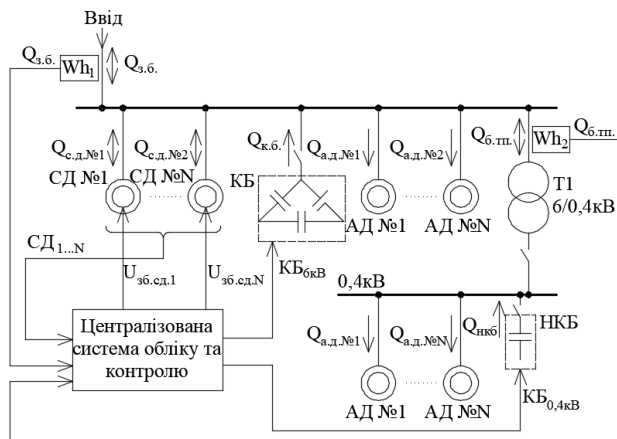
Енергетична ефективність є ключовим фактором у підвищенні конкурентоспроможності гірничозбагачувальних підприємств (ГЗК), які належать до найбільш енергоємних промислових об'єктів. В поточних реаліях склалася ситуація суттєвого обмеження обсягів споживання електричної потужності. Через це знижується завантаженість трансформаторів, асинхронних двигунів, що призводить до збільшення частки реактивної потужності (РП). Додатково можливі відключення «природних» компенсаторів – синхронних двигунів (СД). В такій ситуації виникає необхідність створення багатокритеріальної централізованої системи обліку та контролю перетіканням реактивної потужності, що базується на інтеграції інформаційних і автоматизованих технологій (тобто розглядати мережу як кіберфізичну систему (КФС)).

Аналіз річних тенденцій у графіках споживання електричної енергії є ключовим етапом у розумінні поточної ситуації. Так було проаналізовано споживання електричної енергії споживачами та сплата за неї на ГЗП №1 підприємства N. За останні роки зафіксовано суттєве зниження обсягів споживання електричної енергії (найбільший спад спостерігався у 2022-му році, на 28,5% для активної та 17,44% для реактивної потужності споживачами ГЗП№1). При цьому через збільшення тарифів, сплата за реактивну потужність знизилася лише на 2%. Також підприємство сплачує не лише за фактичний рівень спожитої реактивної потужності, але й додаткові кошти за недокомпенсацію.

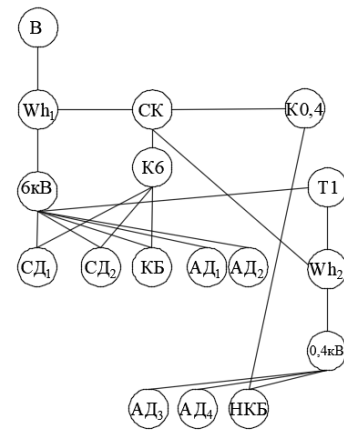
На рис. 1 зображено централізованої системи у, побудований на основі інтелектуальної обробки даних із лічильників, розміщених на вузлових точках електромережі та її граф. Система використовує принципи адаптивного управління, що дозволяють автоматично регулювати роботу компенсуючих пристроїв відповідно до змін у споживанні енергії.

Централізована система змінює компенсуючу здатність СД №1...СД №N (регулюючи $U_{зб.сд.1} \dots U_{зб.сд.N}$) та переключаючи ступені КБ ($КБ_{6кВ}$ та $КБ_{0,4кВ}$). Рациональніше використовувати насамперед конденсаторні батареї (КБ), оскільки їхні втрати становлять у середньому 0,002–0,0045 кВт/кВАр, тоді як для синхронних двигунів (СД) цей показник сягає 0,013 кВт/кВАр. За наявності синхронних двигунів оцінюється їх доцільність у процесі компенсації реактивної потужності. Зібрані дані використовуються для оптимального регулювання СД, що забезпечує рівномірне завантаження по відносній повній потужності кожного двигуна [1]. В результаті такого контролю загальне балансне значення $Q_{з.б.}$ (МВАр·год) в ідеалі повинно дорівнювати нулю, що означає те, що система не генерує та не споживає реактивну потужність з мережі.

Попри наведені плюси, така система має певні недоліки: наявність дорогого сучасного обладнання та складного налаштування алгоритмів керування компенсуючими пристроями. Високовартісне обладнання може бути економічно обґрунтованим за рахунок скорочення періоду окупності, проте це потребує подальших досліджень. Складні алгоритми можна значно спростити, зберігши точність та швидкодію за допомогою, наприклад використання нечіткої логіки у централізованій системі обліку та контролю [2].



а)



б)

а) – централізована система обліку та контролю ($Q_{з.б.}$ - загальний баланс РП; $Q_{с.д.№1} \dots Q_{с.д.№N}$ - споживання (генерація) РП синхронними двигунами; $Q_{к.б.}$ - генерація РП конденсаторними батареями 6кВ; $Q_{а.д.№1} \dots Q_{а.д.№N}$ - споживання РП асинхронними двигунами; $Q_{б.тп.}$ - баланс РП 0,4кВ; $Q_{нкб.}$ - генерація РП конденсаторними батареями 0,4кВ; $СД_{1...N}$ - дані про технологічні параметри синхронних двигунів; $U_{зб.сд.1} \dots U_{зб.сд.N}$ - напруга збудження синхронних двигунів; $КБ_{6кВ}$ ($КБ_{0,4кВ}$) - контроль ступенів конденсаторних батарей.); б)- граф підстанції (В - ввід; Wh_1 , Wh_2 - лічильники; 6кВ - шини 6кВ; СК - система контролю; К6 - контроль компенсаторів 6кВ; К0,4 - контроль компенсаторів 0,4кВ; КБ - конденсаторні батареї; АД₁, АД₂, АД₃, АД₄ - асинхронні двигуни; Т1 - трансформатор 6/0,4кВ; НКБ - низьковольтні конденсаторні батареї; СД₁, СД₂ - синхронні двигуни).

Рисунок 1 – Граф підстанції та системи контролю перетіканням реактивної потужності

Така структура повністю відповідає загальноприйнятій в цей час концепції автоматизації промислових виробництв та відомим актуальним стандартам [3]. Проте повністю забезпечити «нуль-перетікання» майже неможливо, оскільки в системі наявні потужні СД та конденсаторні установки для 6кВ та 0,4кВ. В даному випадку важливо враховувати перехідні процеси.

Висновки. В результаті дослідження встановлено, що централізована система обліку та керування реактивною потужністю на основі інтелектуальних систем дозволяє раціонально використовувати компенсуючі пристрої. При цьому КБ та СД використовуються адаптивно, в залежності від їх технологічних параметрів та необхідного значення РП для компенсації. У результаті система забезпечує максимально приближене до нульового значення споживання РП з мережі, значно знижуючи сплату підприємством за електричну енергію.

Список використаної літератури:

- 1.Спосіб підвищення енергоефективності технічних систем технологічних агрегатів з синхронними приводами: пат. 157230 Україна: МПК H02J 3/18; заявл. 14.03.2024; опубл. 18.09.2024, Бюл. №38. 6 с.
- 2.A. Kupin, Y. Sherstnov, Y. Osadchuk, O. Savytskyi, Intellegent Control of Industrial Compensating Devices Based on the Application of Fuzzy Logic, CEUR Workshop Proceedings, 3403. pp. 218-230.
- 3.ДСТУ EN 62264-1:2019. Інтегрування систем керування підприємством та виробництвом. Частина 1. Моделі та термінологія. [Чинний від 2019-09-01]. Вид. офіц. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2019. 77 с.

References:

- 1.A Method for Enhancing Energy Efficiency of Technical Systems of Technological Units with Synchronous Drive, 2024. Patent No. 157230, Filed March 14th., 2024, Issued September 18th., 2024.
- 2.A. Kupin, Y. Sherstnov, Y. Osadchuk, O. Savytskyi, Intellegent Control of Industrial Compensating Devices Based on the Application of Fuzzy Logic, CEUR Workshop Proceedings, 3403. pp. 218-230.
- 3.DSTU EN 62264-1:2019. Enterprise and Production Control Systems Integration. Part 1. Models and Terminology. [Effective from 2019-09-01]. Official publication. Kyiv: SE 'UkrNDNC', 2019. 77 p.

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА СИСТЕМА РЕГУЛЮВАННЯ РЕЖИМІВ РОБОТИ СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ

Вступ. Процес декарбонізації у світі спричинив стрімкий розвиток зеленої енергетики, в тому числі сонячної. Питання збереження довкілля та забезпечення людства відновлювальними джерелами енергії вийшло на перший план, хоча й несе в собі суттєві ризики для стабільної та стійкої роботи енергосистеми. Сучасні енергосистеми країн світу стикнулись з проблемами стрімкого розвитку зеленої енергетики, такими як низька прогнозованість роботи електростанцій, зниження інерційності системи, необхідність збільшення резервів допоміжних послуг, нездатність нести стабільне та прогнозоване базове навантаження, велика ціна обладнання та недовговічність роботи обладнання. З урахуванням війни, в Україні ситуація з стабільністю і стійкістю енергосистеми відчувається особливо сильно. Створення та використання більш ефективних підходів та новітніх технологій дозволить підвищити ефективність використання резервів енергосистеми для компенсації небалансів та збільшити стійкість, прогнозованість та стабільність роботи енергосистеми. Комплексний підхід до питання дозволить підвищити ефективність на різних рівнях управління, що призведе до зростання ефективності роботи енергосистеми в цілому.

Мета: підвищення ефективності застосування резервів енергосистеми для компенсації небалансів, що виникають при зміні навантаження на сонячних електростанціях. Здешевлення процесу компенсації небалансів, що виникають при зміні навантаження на сонячних електростанціях. Прогнозованість та стійкість енергосистеми з великою часткою відновлювальних джерел енергії. Збільшення керованості енергосистемою за рахунок впровадження інноваційних технологій та інженерних рішень. Впровадження та адаптація сучасних технологій на потребу енергетики.

Результат дослідження: розробка структури, вибір параметрів та алгоритму навчання нейронної мережі для компенсації небалансів, що виникають при зміні навантаження на сонячних електростанціях. Створення математичного методу аналізу результатів аналізу даних роботи інтелектуальної системи в енергосистемі. Оптимізація роботи енергосистеми та збільшення кількості оперативної інформації.

Висновок: Було розроблено програмне забезпечення здатне генерувати короткострокові прогнози зміни графіку генерації на сонячних електростанціях з горизонтом прогнозування 15 хвилин. Запропоновано новий метод аналізу отриманих даних, який дозволяє ранжувати сонячні електростанції, в залежності від їх загальної ефективності та спираючись на аналітичні дані. Такий комплексний підхід дозволить більш ефективно керувати енергосистемою, роблячи цей процес більш дешевим для оператора системи передачі, більш прогнозованим та контрольованим, енергосистема при цьому стає більш стійкою. Крім цього, впровадження такої інтелектуальної системи дозволить Україні стати не тільки передовою державою в процесі декарбонізації, а й в енергетиці в цілому, адже такий підхід має потенціал для масштабування та широкого застосування в багатьох сферах енергетики.

Список використаної літератури

[1] [Електронний ресурс] Кодекс системи передачі. Версія №1848 від 27.12.2022-
<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/v0309874-18#Text>

[2] [Електронний ресурс] Кодекс системи розподілу. Версія №1575 від 29.11.2022-
<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/v0310874-18#Text>

[3] [Електронний ресурс] Про затвердження Правил ринку. Версія №1592 від 29.11.2022-
<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/v0307874-18>

[4] [Електронний ресурс] Офіційний сайт ENTSO-E - <https://vision.entsoe.eu/>

[5][Електронний ресурс] Енергетичний ринок північної Європи –
<https://www.nordpoolgroup.com/en/Market-data1/#/nordic/table>

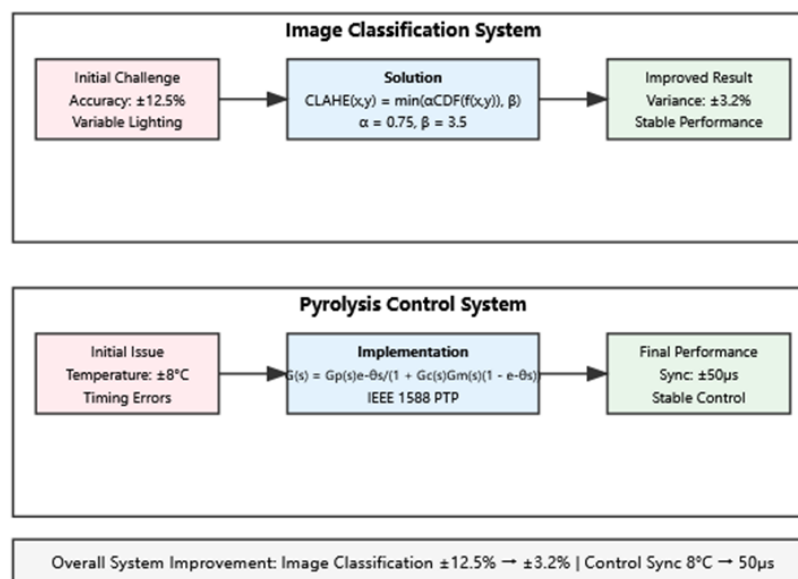
[6] [Електронний ресурс] Ринок допоміжних послуг північної Європи за видами резервів-
https://www.regelleistung.net/apps/datacenter/tenders/?productTypes=PRL,SRL,MRL&markets=BALANCING_CAPACITY,BALANCING_ENERGY

[7] [Електронний ресурс] Commision Regulation (EU) 2017/1485 of 2 August 2017 establishing a guideline on electricity transmission system operation - [Regulation - 2017/1485 - EN - EUR-Lex \(europa.eu\)](#)

ELECTROMECHANICAL EQUIPMENT AUTOMATED PLASTIC WASTE SORTING SYSTEM AND TECHNOLOGY FOR THEIR DISPOSAL

The plastic waste classification system image recognition algorithm poses as primary technical challenge, where the accuracy rate fluctuates about $\pm 12.5\%$ due to changes in lighting conditions and material surface characteristics. The challenge was addressed through the implementation of a multi-stage image preprocessing pipeline incorporating adaptive histogram equalization (AHE) with a contrast limiting factor defined by: The limiting parameters for α CDF are calculated as 0.75 and 3.5 for α and β respectively so that we can write $\text{CLAHE}(x,y) = \min(\alpha\text{CDF}(f(x,y)), \beta)$. Together with a residual connection modified convolution neural network architecture, enhancing stability through reducing variance to $\pm 3.2\%$ across all operating conditions. was achieved with this solution. A main challenge was to synchronize multiple control loops in the pyrolysis system, as timing errors introduced process instabilities in the form of $\pm 8^\circ\text{C}$ temperature oscillations. The solution implemented a distributed control architecture using the IEEE 1588 Precision Time Protocol (PTP) for temporal alignment, achieving synchronization accuracy of $\pm 50\mu\text{s}$ across all control nodes, while implementing a Smith Predictor-based control strategy defined by the transfer function: The form of the process model is given by $G(s) = G_p(s)e^{-\theta s}/(1 + G_c(s)G_m(s)(1 - e^{-\theta s}))$, in which θ corresponds to the measured process delay.

Challenge Resolution Flow

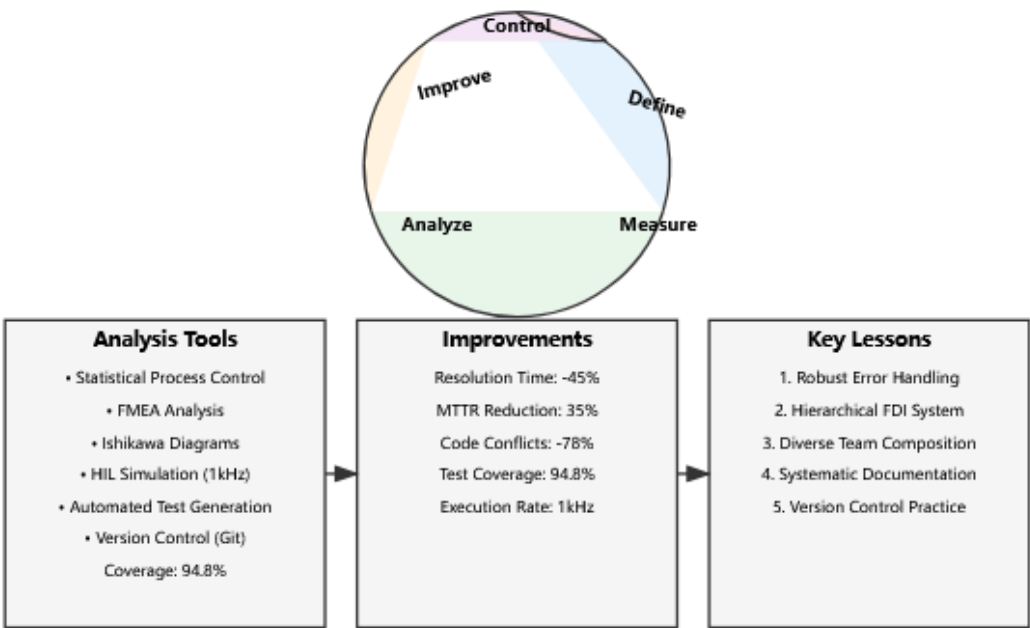


The problem solving methodology followed the Six Sigma DMAIC (Define, Measure, Analyze, Improve, Control) methodology together with various Quantitative Analysis Tools (QATs) including Statistical Process Control (SPC) and Failure Mode and Effect Analysis (FMEA). Ishikawa diagrams were used for root cause analysis and quantification of cause effect relationships were achieved using correlation coefficients and regression analysis (reducing the average problem resolution time by 45% in comparison to traditional troubleshooting methods). A structured testing protocol was used to handle system integration problems by implementing real time hardware in the loop (HIL) simulation at execution rates of 1kHz so as to identify and resolve interface problems prior to employment.

Automated test case generation method employed for the purpose of testing was boundary value analysis and equivalence partitioning which resulted in the critical system function test

coverage ratio of 94.8 percent . We found three key lessons: the need for robust error handling mechanisms, the development of a hierarchical fault detection and isolation (FDI) system that was able to reduce the end to end mean time to repair (MTTR) by 35 percent using automated diagnostic capabilities. This underscores the importance of practices around systematic documentation and version control: setting up a Gitbased version control system with branching strategies that reduced code integration conflicts by 78% while maintaining a complete audit history of changes to the system .

Problem Solving Framework and Outcomes



With the practical hands on exposure to advanced automation systems, mechanical equipment operation, and process control implementation, industrial grade technical competencies have been developed in a very pragmatic manner. Implementation of machine learning algorithms in waste classification was successful resulting in a 6.6% improvement in system accuracy, optimization of pyrolysis control systems led to a 28% energy consumption reduction, and integrated testing protocols were developed to improve system reliability 35%.

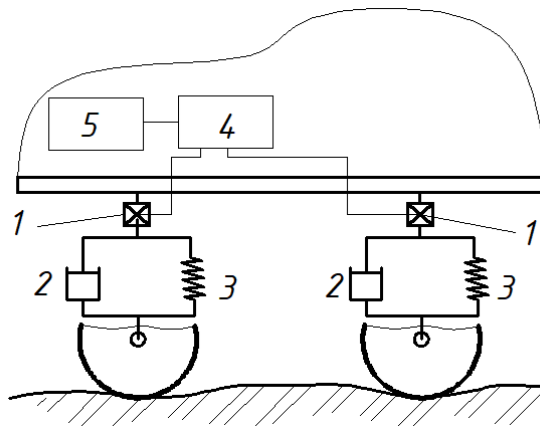
А. О.Новиков, асп.,
В. М. Сліденко, д-р. техн. наук, проф.,
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

РЕКУПЕРАЦІЯ ЕНЕРГІЇ ВІБРАЦІЙНИХ НАВАНТАЖЕНЬ В ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМАХ

Автомобілі з двигунами внутрішнього згоряння використовують близько 25% енергії від пального для забезпечення руху автомобіля, а решта енергії, в процесі динамічного навантаження і вібрації, розсіюється у вигляді тепла. Електромобілі, порівняно з іншими більш ефективні, оскільки витрачають на забезпечення руху приблизно 85% від в цілому спожитої електроенергії [1].

Одним з ефективних методів більш повного використання енергії в процесі руху транспортного засобу є метод рекуперації енергії від динамічних вібраційних навантажень, які виникають в процесі руху. Частіше для перетворення втраченої енергії застосовують пристрої з використанням ефектів пов'язаних з електромагнітною індукцією, електростатичною генерацією та п'єзоелектричним ефектом [2]. При порівнянні ефективності різних видів п'єзогенераторів встановлено, що найбільш ефективними, є такі, які виготовлені у вигляді багат шарових, дискових конфігурацій, оскільки мають більшу довговічність і можуть витримувати повторювані навантаження протягом тривалого періоду [3].

Розглянуто спосіб рекуперації вібраційної енергії транспортного засобу, за яким п'єзогенератор встановлюється між кузовом та підвіскою транспортного засобу. Досліджувалась схема компоновки рекуперативної підвіски автомобіля (рис.1), яка безпосередньо сприймає вібрації, що виникають при русі транспортного засобу по дорожньому покриттю нерівномірної конфігурації.



1- п'єзогенератор, 2 - дисипативний блок (модель Ньютона), 3 – пружний блок (модель Гука),
4 – перетворювач, 5 - електроакумулятор

Рисунок 1 – Схема компоновки рекуперативної підвіски автомобіля

Поглинаючи вібраційні навантаження підвіска передає їх на корпус транспортного засобу, в процесі чого частина з них гаситься амортизаторами, а частина надходить до п'єзогенераторів, які і здійснюють рекуперацію. П'єзогенератори містять декілька багат шарових пакетів для перетворення вібрацій в електричний струм, який передається на перетворювач. Перетворювач виконує функцію перетворення змінного струму в

постійний, усуває пульсації та підтримує стає значення постійного струму. Далі струм надходить на зарядку електроаккумулятора. На ефективність рекуперації енергії впливає стан дорожнього покриття та амортизаційна спроможність транспортного засобу.

Проведено оцінку електричної потужності на виході з пакета п'єзокерамічних пластин з урахуванням напруги та струму, що виникають при одноразовому прикладенні навантаження [3]. У випадку, коли сила струму становить 0,01 А, а напруга дорівнює 1,39 В, при одноразовому прикладенні навантаження на підвіску транспортного засобу з циклічністю до 5000 впливів на годину, та за умови підмикання чотирьох п'єзоблоків, згенерована потужність за годину складе:

$$P=U_1 \cdot I \cdot n_1 \cdot n_2=278 \text{ Вт}$$

де n_1 — кількість циклів прикладання навантаження на протязі години, $n_1=5000$;

n_2 — кількість використовуваних перетворювачів, $n_2=4$;

U_1 , напруга, $U_1=1,39 \text{ В}$; I — струм на виході з пакета, після прикладення навантаження, $I=0,01 \text{ А}$.

Висновки

Запропонований метод рекуперації енергії вібрації, яка об'єктивно виникає при русі транспортного засобу, базується на застосуванні п'єзоелектричних елементів. Проведено оцінку потужності, яку можливо отримати застосуванням п'єзогенераторів. При значеннях напруги 1,39 В та струму 0,01 А, що відповідає можливостям одного п'єзогенератора, потужність складає до 278 Вт. Очевидно, при тривалому застосування п'єзогенераторів, в якості рекуператорів енергії транспортного засобу, ефективність буде значно більша, що підтверджує доцільність запропонованого методу рекуперації енергії.

Список використаної літератури

1. Is There Enough Electricity for Electric Cars? Go-e Company. : веб-сайт. URL: <https://go-e.com/en/magazine/is-there-enough-electricity-for-electric-cars> (дата звернення: 10.11.2024);
2. Dung-An W., Nine-Zeng L. A shear mode piezoelectric energy harvester based on a pressurized water flow. *Sensors and Actuators A: Physical*. 2011. Т. 167, №2 С. 075015. URL: <https://doi.org/10.1016/j.sna.2011.03.003> (дата звернення: 12.11.2024);
3. H. Zhao, J. Ling, and J. Yu. A comparative analysis of piezoelectric transducers for harvesting energy from asphalt pavement. *Journal of the Ceramic Society of Japan*. 2012. Т. 120, №1404 С. 317-323. URL: <http://dx.doi.org/10.2109/jcersj2.120.317> (дата звернення: 14.11.2024);
4. Lallart M., Badel A., Guyomar D. Nonlinear Semi-active Damping using Constant or Adaptive Voltage Sources: A Stability Analysis. *Journal of Intelligent Material Systems and Structures*. 2007. Т. 19, № 10. С. 1131–1142. URL: <https://doi.org/10.1177/1045389x07083612> (дата звернення: 15.11.2024).

References

1. Site of Go-e Company. www.go-e.com. Retrieved from <https://go-e.com/en/magazine/is-there-enough-electricity-for-electric-cars>;
2. Dung-An W., Nine-Zeng L. (2011). A shear mode piezoelectric energy harvester based on a pressurized water flow. *Sensors and Actuators A: Physical*, 2(167), 075015. Retrieved from: <https://doi.org/10.1016/j.sna.2011.03.003>;
3. H. Zhao, J. Ling, and J. Yu. (2012). A comparative analysis of piezoelectric transducers for harvesting energy from asphalt pavement. *Journal of the Ceramic Society of Japan*, 120(1404), 317-323. Retrieved from: <http://dx.doi.org/10.2109/jcersj2.120.317>;

4. Lallart, M., Badel, A., & Guyomar, D. (2007). Nonlinear semi-active damping using constant or adaptive voltage sources: A stability analysis. *Journal of Intelligent Material Systems and Structures*, 19(10), 1131–1142. Retrieved from <https://doi.org/10.1177/1045389x07083612>.

1.

Богдан Максименко
Кафедра автоматизації електротехнічних і мехатронних комплексів
Інститут енергозбереження та енергоменеджменту
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Київ, Україна

ОГЛЯД СУЧАСНИХ ВОДНЕВИХ ТЕХНОЛОГІЙ В ЕНЕРГЕТИЦІ ТА ТРАНСПОРТІ

Вступ

Досягнення цілей вуглецевої нейтральності – комплексний процес, що включає різні фактори. Однією складовою цього процесу є використання водню як альтернативи для традиційного палива. Це дозволить покрити ті галузі промисловості де впровадження використання енергії з відновлюваних джерел є важким чи не рентабельним. Галузями перспективними для використання водню є, наприклад, морські перевезення, авіація, транспорт. Водень як альтернатива викопним паливам був обраний не випадково, оскільки він є найпоширенішим елементом всесвіту і має велику енергоємність. Починаючи з 2020 року Європейський союз, а пізніше США та Китай, й інші провідні країни світу затвердили свої водневі стратегії. Це дає великий поштовх в дослідженнях розвитку водневих технологій.

Водневі стратегії

Відповідно до європейської стратегії розвитку водневої енергетики водень визнано перспективним паливом для заміни традиційного викопного палива. Стратегія передбачає всеосяжну структуру для підтримки використання відновлюваного водню з низьким вмістом вуглецю, щоб допомогти декарбонізувати ЄС економічно ефективним способом і зменшити його залежність від імпорту викопного палива. Стратегія ЄС була прийнята в 2020 році і на початок 2022 вже виконано 20 ключових етапів [1].

Воднева стратегія США прийнята 2023 року і передбачає ряд дій, що будуть виконуватись до 2050 року. Стратегія досліджує можливості використання чистого водню для досягнення національних цілей декарбонізації в багатьох секторах економіки. Основна ціль стратегії це зменшення викидів вуглекислого газу в атмосферу на 10% до 2050. Для цього розроблений конкретний план дій і визначаються потреби у співпраці між федеральними урядовими установами, промисловістю, академічними колами, національними лабораторіями, державними, місцевими та плеємінними громадами, екологічними та справедливими спільнотами, профспілками та численними групами зацікавлених сторін для прискорення прогресу та виходу на ринок [2].

Китай не має певної офіційної водневої стратегії але є найбільшим виробником водню в усьому світі, у 2020 році було вироблено близько 33 млн.т., в основному з вугілля та природного газу, але останнім часом спостерігалось значне зростання виробництва водню за допомогою електролізу води. До 2022 року 30% світових потужностей електролізера було встановлено в Китаї. З початку 2023 року Китай досяг значного прогресу у виробництві водню за допомогою електролізу води, і до кінця року очікується, що встановлена потужність електролізера досягне 1,1 ГВт, що становитиме 50% світової частки. Далі очікувана встановлена потужність електролізера в Китаї має потроїтися до 3,3 Вт до 2024 року та досягти майже 5,4 ГВт до 2025 року [3].

Загалом водневу стратегію прийняли уряди 41 держави, на які припадає близько 80% від викидів CO₂ пов'язаних з енергетикою. Також уряди різних країн оновлюють свої програми стратегій, для збільшення цілей. Для порівняння, сумарні цілі станом на 2022 рік по отриманню водню з низьким рівнем викидів становили 15-22 млн. т. і це число збільшилось до 27-35 млн. т. в 2023 році [3].

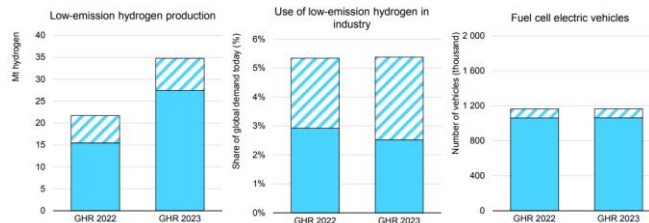


Рисунок 1 – порівняння показників програм розвитку промисловості 22-23 років (GHR = Глобальний огляд водню. Для країн, які не мають цільового обсягу виробництва, виробництво водню з низьким рівнем викидів розраховується на основі цільових показників потужності, припускаючи коефіцієнт потужності 57% і енергоефективність (LHV) 69% для електролізерів і 90% для технологій на основі вичопного палива. Пунктирна область представляє діапазони цілей політики.)

Воднева стратегія України передбачає досягнення виробництва низьковуглецевого водню в обсягах до 1,3 млн тонн у 2035 році та до 3,0 млн тонн у 2050 році, залежно від обсягів експорту та внутрішнього попиту. І споживання в обсягах від 0,1 до 0,5 млн тонн у 2035 році та до 1,5 млн тонн у 2050 році залежно від обсягів попиту на внутрішньому ринку [4]. Стратегія України передбачає значний експорт водню за рахунок вже наявної інфраструктури газопроводів, та вигідне географічне положення. Також Україна має великий потенціал в сфері енергетики. На кінець 2023 року потужність відновлюваної енергетики становила близько 10.9 ГВт. Також потенційна потужність АЕС становить 14 ГВт. Але станом на 2024 рік вона знижена через повномасштабне вторгнення росії і становить близько 7 ГВт. Також через бойові дії і втрату каховської ГЕС складно оцінити потужність ГЕС, але до початку війни вона становила 6,23 ГВт за даними на 2019 рік [5].

Українська Регіональна Газова Компанія(РГК) почала роботу з власним водневим проектом в 2020 році з створення полігонів для випробувань. На тестових майданчиках відтворені реальні моделі газорозподільних мереж областей [6].

Загалом в Європейському просторі Україна має 18 проектів зареєстрованих в ЄС (рис 2) [7].

Project	Company	Archetype	Location	Size	Maturity
Landfill Organic Waste-to-Hydrogen Plant	Renewable Resources Consulting & Inno	A.A Hydrogen production	UA - Ukraine		
H2 Influence on Gas Distribution Network	Regional Gas Company	B.A T&D: Pipelines	UA - Ukraine		2020
H2 Influence on Gas Distribution Network	Regional Gas Company	B.D T&D: Inland distribution	UA - Ukraine		2020
H2 Influence on Gas Distribution Network	Regional Gas Company	E.A Gas usage within a 100 % hydrogen distribution	UA - Ukraine		2020
H2 Influence on Gas Distribution Network	Regional Gas Company	E.B Usage of gas blends from grid, with hydrogen and	UA - Ukraine		2020
H2 Influence on Gas Distribution Network	Regional Gas Company	E.D Decentralised heat and power generation using H	UA - Ukraine		2020
Hydrogen Wind Solar Park a capacity	East European Association for the Develo	A.A Hydrogen production	UA - Ukraine		
Hydrogen production from waste SKH	SKH Technology	A.A Hydrogen production	UA - Ukraine		
H2EU+Store	RAG Austria AG	A.A Hydrogen production	SK - Slovensko; AT - Österreich; DE - Deutschland; Ukr		2025
H2EU+Store	RAG Austria AG	B.A T&D: Pipelines	SK - Slovensko; AT - Österreich; DE - Deutschland; Ukr		2025
H2EU+Store	RAG Austria AG	F.D Integrated infra and storage	SK - Slovensko; AT - Österreich; DE - Deutschland; Ukr		2025
ON H2 import becomes Central European H ₂ NET4GAS	B.A T&D: Pipelines		SK - Slovensko; CZ - Česko; DE - Deutschland; Ukraine		
Central European Hydrogen Corridor (CEHC)	Open Grid Europe GmbH	B.A T&D: Pipelines	DE - Deutschland; CZ - Česko; SK - Slovensko; Ukraine		
UA-H2NG Transmission System "Dnipro-EU	East European Association for the Develo	B.A T&D: Pipelines	Ukraine		
KyivH2BUS	Ukrainian Energy Storage Association & D.A	Land road vehicle fleet deployment	Ukraine		
SUMY H2 CAPACITY	Sumy Machine-Building Science and Prc	A.B Electrolyser manufacturing	UA - Ukraine		2021
Border-close H2 plant in Western Ukraine	Sumy Machine-Building Science and Prc	A.A Hydrogen production	UA - Ukraine	200 MW	2023
UA Ponyatka Yellow Ducks	Sumy Machine-Building Science and Prc	A.A Hydrogen production	UA - Ukraine	200 MW	2023

Рисунок 2 – проекти пов'язані водневою стратегією ЄС, в яких приймає участь Україна.

Технології виробництва водню.

Стратегія ЄС передбачає використання «чистого» зеленого водню, тобто водню отриманого з відновлюваних джерел енергії. В той же час стратегії деяких провідних країн як США та Китай орієнтуються на виробництво водню з низьким рівнем викидів. Ці різні підходи мають спільну рису оскільки вони передбачають збільшення використання і розвитку електролізерів для отримання водню без викидів. А водень з низьким рівнем викидів базується на вже наявній інфраструктурі і технологіях риформінгу з використанням технологій вловлювання зберігання й утилізації вуглецю(CCUS). Для України як майбутнього члена ЄС варіант розвитку генерації водню, це розгляд варіантів генерації водню з нульовим рівнем викидів CO₂ найбільш перспективним з яких є електроліз.

В роботі [8] проведено порівняння різних підходів до отримання водню за допомогою енергії сонця: фотокаталітичне розщеплення води(РС), фотоелектрохімічне розщеплення води(РЕС), фотоелектричне електрохімічне розщеплення води(PV-ЕС), сонячне термохімічне розщеплення води(STC), фототермічне каталітичне утворення H_2 (РТС), фотобіологічний метод(РВ). Основна перевага використання електролізерів в порівнянні з аналогами є у відносній ефективності, і довговічності, що дозволяє комерціалізувати технологію. В той час як інші технології мало дослідженні, хоча в перспективі можуть давати кращі показники. Оскільки при розрахунку використання електролізера потрібно враховувати як його продуктивність так і продуктивність сонячних панелей, за допомогою яких він працює.

Транспортування

Методи транспортування водню такі ж як і будь якого іншого газу. Але через фізичні властивості H_2 в чистому виді складно транспортувати, через необхідність створення великого тиску, або зрідження за низьких температур. Тому є перспективними і розробляється транспортування у складі сполук, таких як CH_4 або NH_3 – це дозволяє використовувати вже наявну інфраструктуру для транспортування водневих енергоносіїв.

Використання рідких органічних носіїв(ЛОНС)

Використання ЛОНС для зберігання і транспортування водню, є альтернативою перетворення його на аміак/метан.

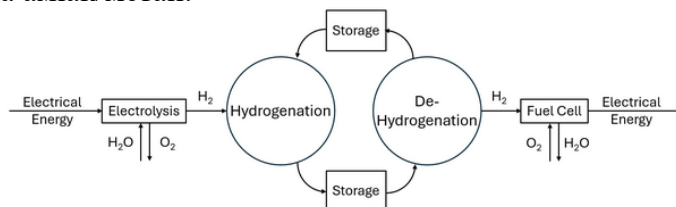


Рисунок 3 – схема ЛОНС для використання водню.

Принцип ЛОНС досить простий це насичення хімічних елементів(наприклад толуен) воднем до отримання насиченої сполуки(метилциклогексан) яка транспортується, і відновлюється після транспортування віддаючи водень.

Використання рідких органічних носіїв дозволяє транспортувати гідроген за допомогою морського транспорту. Цей метод вже застосовувався в Японії для перевезення водню за допомогою танкерів з Брунею[10].

Висновки

Виробництво, зберігання і транспортування водню перебувають в стадії швидкого розвитку і забезпечуються достатніми інвестиціями. При цьому також отримують розвиток і суміжні галузі. Водень передбачає широке застосування у енергетичному плануванні, оскільки дозволяє отримувати і перетворювати енергію без викидів вуглекислого газу.

Виробництво водню в короткостроковій перспективі покладається на розвиток і масштабування електролізерів, хоча в майбутньому можливі використання інших конкурентних технологій.

Зберігання і використання водню можливе як і в чистому вигляді, так і як хімічну сполуку – метан, амоніак, чи інші. Використання сполук з гідроеном дозволяє розширити шляхи його застосування, та зменшує вартість інфраструктури, оскільки дозволяє використовувати вже наявні газопроводи. Використання зріджених органічних носіїв дозволяє забезпечити транспортування морським транспортом.

Але разом з перевагами використання водню має певні виклики: Потреба впровадження і запуску нової інфраструктури. Втрати енергії при кожному перетворенні. Складність отримання / зберігання. Вартість.

Список використаних джерел

- [1] Воднева стратегія ЄС: European Commission. (n.d.). Key actions of the EU hydrogen strategy. Retrieved from https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-systems-integration/hydrogen/key-actions-eu-hydrogen-strategy_en

- [2] Воднева стратегія США: U.S. Department of Energy. (2023). U.S. National Clean Hydrogen Strategy and Roadmap. Retrieved from https://www.hydrogen.energy.gov/docs/hydrogenprogramlibraries/pdfs/us-national-clean-hydrogen-strategy-roadmap.pdf?sfvrsn=c425b44f_5
- [3] Global Hydrogen Review 2023: International Energy Agency. (2023). Global Hydrogen Review 2023. Retrieved from <https://iea.blob.core.windows.net/assets/ecdfc3bb-d212-4a4c-9ff7-6ce5b1e19cef/GlobalHydrogenReview2023.pdf>
- [4] Воднева стратегія України: Міністерство енергетики України. (2024). Воднева стратегія України. Retrieved from <https://www.mev.gov.ua/sites/default/files/field/file/vodneva-strategiya17.05.2024.pdf>
- [5] Гідроенергетика: Українські Гідроенергія. (n.d.). Діяльність: Гідроенергетика. Retrieved from <https://uhe.gov.ua/diyalnist/hidroenerhetyka>
- [6] Чиста енергія: Регіональна Газова Компанія. (n.d.). Чиста енергія. Retrieved from <https://rgc.ua/ua/cleanenergy>
- [7] Єдиний ринок та економіка: European Commission. (n.d.). Single Market Economy. Retrieved from https://single-market-economy.ec.europa.eu/index_en
- [8] Hydrogen Energy Letters: American Chemical Society. (2021). Hydrogen Energy Letters. Retrieved from <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acsenergylett.1c02591?fig=fig1&ref=pdf>
- [9] Chiyoda Corporation: Chiyoda Corporation. (2022). Hydrogen Energy. Retrieved from https://www.chiyodacorp.com/media/20220208_E_R1.pdf

Ma Lei, master
student
Anna Yakovlieva, associate
professor
National Technical
University of Ukraine "Igor
Sikorsky Kyiv Polytechnic
Institute", Ukraine

CAPACITY PRICING PROMOTES THE COORDINATED DEVELOPMENT OF WIND, SOLAR, FIRE, AND ENERGY STORAGE

Introduction

Currently, new energy sources such as wind and solar energy are developing rapidly, but there is still insufficient coordination with traditional thermal power, leading to frequent occurrences of "wind and solar power curtailment". New energy power generation is greatly affected by weather and its output is unstable, while thermal power generation is limited by cost factors and has a weak willingness to peak load, making it difficult to quickly adapt to the fluctuations of new energy. In addition, the lack of grid infrastructure and energy storage technology also limits the grid connection and consumption capacity of new energy. Therefore, strengthening the coordination and scheduling of new energy and thermal power, enhancing the flexibility and energy storage capacity of the power grid, is the key to solving the problem of "abandoning wind and solar power" and promoting the transformation of energy structure.

Main part

The capacity pricing mechanism provides compensation for coal-fired power units, encouraging them to serve as a backup and flexible power source when renewable energy generation output is unstable. In this way, coal-fired power units can be used as backup when renewable energy generation is stable, making room for wind and solar power generation. At the same time, capacity pricing is used to recover fixed costs for coal-fired power enterprises, ensuring their stable operation. The capacity pricing incentive mechanism is an economic incentive mechanism in the electricity market aimed at ensuring the long-term capacity adequacy and reliability of the power system. This mechanism provides economic incentives to participants in the power system, such as power plants, energy storage facilities, and demand response, by setting capacity electricity prices to encourage them to provide stable power supply and flexible regulation capabilities. In the capacity pricing incentive mechanism, the capacity pricing is usually related to the maximum load demand of the power system, that is, during peak load periods of the power system, the capacity pricing will be correspondingly increased to encourage participants to provide more capacity resources. During non peak hours, the capacity electricity price will be reduced to lower the costs for participants. In this way, the capacity pricing incentive mechanism can promote participants such as power plants, energy storage facilities, and demand response to provide sufficient capacity resources in the power system to ensure the stable operation and reliability of the power system.

Conclusion

At the same time, this mechanism can also promote the consumption of new energy and reduce energy costs, improving the efficiency and competitiveness of the electricity market. It should be noted that the design and implementation of capacity pricing incentive mechanisms need to consider various factors, such as the structure and rules of the electricity market, the behavior and response of participants, and the operation and planning of the power system. Therefore, in practical operation, corresponding policies and measures need to be formulated according to specific situations to ensure the effective implementation of the mechanism and fair market competition.

Бойченко С.В., д-р техн. наук,
проф.

Дубовик В.Г., ст.

викладач

Данілін О.В.,

доцент

Стратович С.Ю.,

студент

Національний технічний університет

України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ПОТЕНЦІАЛ ВИКОРИСТАННЯ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ

У статті розглянуто основні положення по використанні наявної величезної кількості неутилізованих енергоємних відходів: різноманітних відходів пластикових матеріалів, зношених шин, тощо, а також відходи харчової промисловості. Вивчення цієї проблеми, аналіз її складових і пошук варіантів вирішення є актуальними завданнями сьогодення.

Ключові слова: побутові відходи; енергетичний потенціал.

Неправильне управління відходами призводить до численних екологічних проблем і проблем зі здоров'ям. Забруднення повітря, води і ґрунтів, поширення інфекційних захворювань, а також негативний вплив на біорізноманіття є лише деякими з можливих наслідків. Пластикові і гумові відходи забруднюють океани і призводять до загибелі морських тварин, тоді як харчові відходи сприяють зміні клімату через викиди метану. Комплексний підхід до управління відходами, включаючи зменшення їх утворення, вторинну переробку та правильну утилізацію, є необхідним для збереження довкілля, енергетичної безпеки держави та підвищення якості життя людей.

Пластикові відходи, включаючи поліетиленові як окрему підкатегорію, є однією з найбільших екологічних проблем сучасності. Пластик характеризується довговічністю та стійкістю до розкладання, що призводить до його накопичення у природному середовищі. Пластикові відходи забруднюють океани, річки та ґрунти, негативно впливаючи на флору та фауну.

Їх частка від загальної кількості побутових відходів становить усього 9–13%. Обсяги пластикових відходів, що утворюються в Україні щороку, становлять від 990 тис. тонн до 1898 тис. тонн, що в середньому складає – 1444 тис. тонн. Пластикові відходи, в основному, складаються з: поліетилену – 36%, поліетилентерефталату – 26%, полівініл-хлориду – 16%, поліпропілену – 12%, полістиролу – 10% [1]. Відповідно відходи поліетилену складають – 520 тис. тонн на рік. Врахувавши середнє значення коефіцієнта перетворення пластику у паливо – 0,58, то обсяг палива, котрий можна отримати від пластикових відходів буде складати – 838 тис. тонн на рік.

У світі на сьогодні накопичилось до 25 млн тонн шин, а щорічний приріст становить не менше 7 млн тонн. У Європі щорічно утворюється близько 2 млн тонн зношених автомобільних шин. Загальний обсяг їх переробки не перевищує 30%. Обсяги переробки зношених шин в Японії, наприклад, 87%, США 20–30%, в Німеччині – 50,5% [2]. В Україні утворюється 150–360 тис. тонн неутилізованих зношених шин щороку. Загальна маса накопичених неутилізованих шин у нашій країні складає вже біля 10 млн тонн. Проблема збору вживаних, невикористаних шин є досить актуальною в Україні, що підтверджує «Національна транспортна стратегія України на період до 2030 року», де зазначено, що питання переробки шин не вирішено. Тільки 8–10% автомобільних шин переробляють і близько 20% – спалюють в потужних печах. Решта нагромаджуються на сміттєвих

полігонах і стихійних звалищах.

Очікуваний потенціал отримання палива від відходів зношених шин складає 102 тис. тонн на рік з врахуванням коефіцієнта їх перетворення - 0,4. Переробка накопиченого обсягу неутилізованих зношених шин в Україні дозволить отримати до 10 млн тонн палива.

Харчові відходи становлять 30–50% у структурі твердих побутових відходів. В Україні щороку утворюється у середньому 5,84 млн тонн харчових відходів.

Середнє значення утворених відходів олії та рослинної сировини становить 1460 тонн на рік. Відповідно середньозважений річний потенціал отримання альтернативного палива або його компонентів від відходів харчової олії складе 1212 тонн.

Для отримання альтернативного палива можна також використовувати відходи тваринного виробництва. Такими відходами можуть слугувати курячі відходи, що залишаються після розділення тушок і виробництва м'ясо-кісткового борошна. Взагалі, відходи тваринного жиру, що мають високий вміст вільних жирних кислот, субпродукти м'ясопереробних виробництв підходять для виробництва, наприклад, біодизеля або компонентів авіаційного гасу (sustainable aviation fuel (SAF)). Середній річний потенціал отримання альтернативного палива від відходів продуктів тваринництва складає 3,98 тис. тонн.

Згідно з даними Державної служби статистики України, щорічно в Україні утворюється 350 млн тонн відходів, з яких лише 5% відправляється на переробку. Тобто, приблизно 17,5 млн тонн відходів у кращому випадку утилізується, а інші 332,5 млн тонн залишаються неутилізованими щороку. Дослідження Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики і комунальних послуг (НКРЕКП) приводять подібні дані, зазначаючи, що на одного жителя багатоповерхового будинку припадає 350 кг твердих побутових відходів на рік, а на жителя приватного будинку – 450 кг, а при рівні утилізації відходів в 5%, в рік утилізується лише 17,5 кг та 22,5 кг твердих побутових відходів на жителя багатоквартирного будинку та жителя приватного будинку відповідно, а інші 332,5 кг/рік утворених жителем багатоквартирного будинку та 427,5 кг – жителем приватного будинку побутових відходів залишаються неутилізованими. У малих містах побутові відходи складають 220–250 кг/душу населення, а у великих – 330–380 кг/душу населення. За даними Міністерства екології та природних ресурсів в Україні утворилось 36 млрд тонн сміття на кінець 2017 року, з котрих лише 3% складають тверді побутові відходи ТПВ, за іншими даними 2018 року, Україна є лідером з кількості відходів на душу населення серед країн Європи.

Кількість палива, що можна отримати з пластикових відходів, залежить від використовуваного процесу. Піроліз є поширеним методом перетворення пластикових відходів на паливо та може давати значні обсяги. Дослідження показують, що піроліз може перетворити пластикові відходи на нафту до 81%, що складається з різних компонентів, таких як парафін, ізопропіл, олефін, нафтален і ароматичні речовини, що робить його можливим джерелом палива. Експерименти продемонстрували, що використання конденсатора з водяним і льодовим охолодженням із піролізом може призвести до виходу нафти у діапазоні від 130 мл до 600 мл залежно від методу та умов охолодження з 1 кг пластику. Інші дослідження показали, що очищені олії з пластикових відходів дозволяють отримати до 70,6% рідини за температури 460°C, із змінною калорійністю та хімічним складом на основі зміни температури та методів попередньої обробки. За даними [3], з пластикових відходів можливо отримати до 94% палива. Це значить, що з 10 тонн пластикових відходів, можливо отримати від 3 до 9,5 тонн палива [4], що складає в середньому 600 кг палива.

Потенціал отримання палива від відходів пластикових матеріалів розраховується за формулою (1).

$$N_{nn} = N_n \cdot k_{nn}$$

(1)

де: N_{nn} — кількість отриманого палива від відпрацьованого пластику/поліетилену, тис. т/рік;
 N_n — кількість утвореного пластику, поліетилену, тис. тонн на рік;
 k_{nn} — коефіцієнт перетворення пластику/поліетилену у паливо.

Розрахуємо потенціал отримання палива з пластикових відходів за формулою (1).

Обсяг пластикових відходів, що утворюються в Україні щороку, становить в середньому – 1444 тис. тонн. Виконуючи розрахунки за формулою (1) та врахувавши середнє значення коефіцієнта перетворення - 0,58, обсяг палива, що можна отримати від пластикових відходів складатиме $N_{nn} = 1444 \cdot 0,58 = 838$ тис. тонн на рік.

Піролізом поліетиленових відходів можна отримати значну кількість палива. Дослідження показали, що піроліз поліетиленових відходів, таких як поліетиленові (PE) пакети для транспортування, поліетилен низької щільності (LDPE) і поліетилен високої щільності (HDPE), може призвести до значного виробництва палива. Наприклад, в експериментах з відходами поліетиленових пакетів, вихід мазуту досягав 59,3% за температури 500°C. Подібним чином, перетворення пластмас LDPE та HDPE у піролізне рідке паливо (PLF) призводить до високого виходу 50,3% та 77,0% відповідно. Авторам [5] вдалось досягти максимального виходу палива з відходів HDPE: 79% використовуючи каталітичний піроліз. За даними [5], з 1 кг поліетиленів типів HDPE, LDPE, PP можна отримати 602–720 мл сирої нафти. Вихід дизеля має наступні показники: HDPE 72%, LDPE 70%, PP 60%. Крім того, експерименти з пластиковими відходами, такими як пляшки з мінеральної води (PP) і поліетиленові пакети (LDPE), продемонстрували, що 1 кг сировини може давати 0,863–0,908 кг палива з теплотворною здатністю 44,6–46 МДж/кг, отже, коефіцієнт перетворення поліетиленових відходів у паливо складає приблизно 50–90%, що в середньому становить 70%.

Список використаних джерел інформації

1. Т. А. Сафранов, В. Ю. Приходько, В. І. Михайленко. Відходи пластикових матеріалів: оцінка утворення та поводження в регіонах Північно-Західного Причорномор'я. *Український гідрометеорологічний журнал*. 2023. № 31. С. 122–130. <https://doi.org/10.31481/uhmj.31.2023.08>
2. Використані автомобільні шини: в чому небезпека. *ECOBUSINESSGROUP*: веб-сайт. URL: <https://ecolog-ua.com/news/vykorystani-avtomobilni-shyny-v-chomu-nebezpeka> (дата звернення: 26.09.2024).
3. Є.О. Михайлова, Г.М. Панчева, Г.М. Резніченко. Ефективні механізми поводження з твердими побутовими відходами в Україні. *Виробництво та технології. Технології захисту навколишнього середовища*. 2019. №5. С. 37–44.
4. Поповкін І.А., Власенко А.О. Можливості впровадження рециклінгу полімерних відходів в закладах освіти. *Наукові розробки молоді на сучасному етапі: тези доповідей XVIII Всеукраїнської наукової конференції молодих вчених та студентів (18–19 квітня 2019 р., Київ)*. Київ : КНУТД, 2019. Т. 2: Мехатронні системи і комп'ютерні технології. Ресурсозбереження та охорона навколишнього середовища. С. 559–560.
5. О. Мікульонюк. Поводження з полімер-, скло- і металовмісними побутовими відходами: Монографія. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. 112 с.

ПЛАНУВАННЯ ТА МОНІТОРИНГ РЕЖИМУ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ ВУГІЛЬНИХ ШАХТ ЛЬВІВСЬКО- ВОЛИНСЬКОГО БАСЕЙНУ

Вступ. Вугільні шахти є одними з найбільших споживачів електроенергії в регіоні, що зумовлено використанням потужного гірничого обладнання та систем вентиляції. Постійне зростання цін на електроенергію вимагає впровадження ефективних методів моніторингу та оптимізації споживання для зменшення витрат.

Мета та завдання: Метою дослідження є розробка методології планування та моніторингу режиму електроспоживання, яка дозволяє зменшити енергетичні витрати шахт. Основні завдання включають:

1. Аналіз існуючих режимів електроспоживання.
2. Розробка математичної моделі для прогнозування споживання.
3. Проведення розрахунків енергетичних втрат.
4. Впровадження системи моніторингу для підвищення енергоефективності.

Матеріали та методи досліджень.

1. Математична модель оптимізації електроспоживання

Для аналізу та прогнозування режимів електроспоживання використано модель на основі методів регресійного аналізу:

$$E(t) = P(t) + L(t) + S(t), \quad (1)$$

Де:

- $E(t)$ — загальне споживання електроенергії в момент часу t ;
- $P(t)$ — виробниче споживання (електроспоживання обладнання);
- $L(t)$ — втрати в електромережах;
- $S(t)$ — сезонні коливання споживання.

2. Розрахунок втрат електроенергії

Втрати електроенергії розраховано за формулою:

$$W_{loss} = I^2 R t \quad (2)$$

де:

- W_{loss} — втрати електроенергії (кВт·год);
- I — сила струму (А);
- R — опір мережі (Ом);
- t — час роботи обладнання (год).

При середньому значенні сили струму 150 А та опорі мережі 0,5 Ом за зміну тривалістю 8 годин, втрати електроенергії складають:

$$W_{loss} = (150)^2 \times 0,5 \times 8 = 90000 \text{ Втгод} = 90 \text{ кВт\год}. \quad (3)$$

Це становить близько 5% від загального споживання за зміну.

3. Оцінка ефективності впровадження системи моніторингу

Впровадження системи моніторингу дозволило знизити витрати на електроенергію за рахунок зменшення пікових навантажень та виявлення неефективної

роботи обладнання. За результатами аналізу споживання за місяць до впровадження системи та після:

- Середнє споживання до впровадження: 1800 кВт·год/день.
- Середнє споживання після впровадження: 1530 кВт·год/день.

Економія становить:

$$\Delta E = 1800 - 1530 = 270 \text{ кВт год/день.} \quad (4)$$

При середній вартості електроенергії 2,5 грн/кВт·год, економія за місяць складає:

$$\text{Економія} = 270 \text{ кВт\textbackslash год} \times 30 \text{ днів} \times 2,5 \text{ грн/кВт\textbackslash год} = 20250 \text{ грн/міс.} \quad (5)$$

Висновки

1. Розроблена математична модель дозволяє ефективно прогнозувати споживання електроенергії з урахуванням виробничих навантажень та сезонних коливань.
2. Проведений розрахунок показав, що втрати електроенергії в мережі складають до 5%, що вимагає додаткових заходів для їх зменшення.
3. Впровадження системи моніторингу забезпечило зниження середнього споживання електроенергії на 15%, що дозволяє заощаджувати понад 20 000 грн на місяць для однієї шахти.
4. Використання запропонованих методів дозволяє підвищити енергоефективність вугільних шахт та знизити витрати на електроенергію, що є важливим чинником для стабільного розвитку підприємств галузі.

Література

1. **ДСТУ ISO 50001:2018.** Системи енергетичного менеджменту — Вимоги та настанови щодо застосування. — Київ: ДП "УкрНДНЦ", 2018. — 28 с.
2. **Андрієнко О.О., Козак В.М.** Управління енергетичними ресурсами на підприємствах гірничої промисловості. — Київ: Наукова думка, 2020. — 240 с.
3. · **Тимошенко В.В., Іванов О.П.** Моделювання режимів електроспоживання промислових підприємств // Енергетика та електрифікація. — 2021. — № 2. — С. 35-42.
4. · **Василенко П.В.** Методи оптимізації споживання електроенергії у гірничих підприємствах // Журнал енергетичного менеджменту. — 2022. — Т. 3, № 1. — С. 14-22.
5. · **Демчук Р.О., Кривошапка М.Г.** Впровадження систем моніторингу енергоспоживання на вугільних шахтах: досвід і перспективи // Вісник технічних наук. — 2023. — Т. 45, № 5. — С. 72-80.

References

1. **DSTU ISO 50001:2018.** Energy management systems — Requirements with guidance for use. — Kyiv: State Enterprise "UkrNDNC", 2018. — 28 p.
2. **Andriienko O.O., Kozak V.M.** Management of energy resources at mining industry enterprises. — Kyiv: Naukova Dumka, 2020. — 240 p.
3. **Tymoshenko V.V., Ivanov O.P.** Modeling of power consumption regimes of industrial enterprises // Energy and Electrification. — 2021. — No. 2. — pp. 35-42.
4. **Vasilenko P.V.** Methods for optimizing power consumption in mining enterprises // Journal of Energy Management. — 2022. — Vol. 3, No. 1. — pp. 14-22.
5. **Demchuk R.O., Kryvoshapka M.G.** Implementation of power consumption monitoring systems at coal mines: Experience and prospects // Bulletin of Technical Sciences. — 2023. — Vol. 45, No. 5. — pp. 72-80.

ЕЛЕКТРОГІДРАВЛІЧНИЙ ГЕНЕРАТОР ІМПУЛЬСІВ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ВИДОБУТКУ ВУГЛЕВОДНІВ

Анотація Наведено інформацію з дослідження процесу функціонування електрогідрравлічного генератора імпульсів заснованого на ефекті Юткіна для підвищення ефективності видобутку вуглеводнів. Запропоновано механізм генерації електрогідрравлічних імпульсів для ефективного впливу на продуктивність видобувних свердловин.

Ключові слова: електрогідрравлічний генератор, імпульси, видобуток вуглеводнів, підвищення продуктивності.

Annotation. Information is given on the study of the operation process of the electrohydraulic pulse generator based on the Yutkin effect to increase the efficiency of hydrocarbon extraction. A mechanism for generating electro-hydraulic pulses is proposed to effectively influence the productivity of production wells.

Keywords: electro-hydraulic generator, impulses, extraction of hydrocarbons, productivity improvement..

Вступ. Забезпечення високої ефективності видобутку вуглеводнів є актуальною проблемою для нафтогазової промисловості [1]. Основні проблеми, пов'язані зі збільшенням дебіту вуглеводнів, включають: зниження пластового тиску, що пов'язано зі зменшенням кількості нафти, яка природним чином надходить у свердловину; обводненість нафтових свердловин; засмічування пористого середовища пластової системи через накопичення парафінів, асфальтенів та інших твердих відкладень, які знижують проникність пласта і ускладнюють рух нафти до свердловини. Застосування імпульсного впливу дозволяє підвищити проникність пластів, що сприяє покращенню продуктивності видобувних свердловин.

В проведених дослідженнях розглядались процеси формування електрогідрравлічних імпульсів на основі ефекту Юткіна та їх передача з поверхні в привибійну зону нафтової свердловини [2].

Мета та завдання досліджень. Обґрунтування структури та функцій електрогідрравлічного генератора імпульсів з встановленням його енергетичних характеристик та з розробкою автоматизованої системи керування імпульсним режимом.

Матеріал та результати досліджень.

Проведено аналіз інформації з досліджень процесу генерації імпульсів електрогідрравлічним методом, розроблена структура електрогідрравлічного генератора імпульсів з можливістю його установки на поверхні [3]. Причому, для забезпечення передачі імпульсів з поверхні на глибину до 4000 м розроблена автоматична система пролонгації імпульсів тиску, яка відрізняється від відомих можливістю функціонування в резонансному режимі коливаль.

На основі досліджень було визначено параметри імпульсів, що забезпечують оптимальний вплив на пласти. При цьому енергія імпульсу в розрядній камері визначалась залежністю $E = 0,5 \cdot C \cdot V^2$, де C – ємність конденсатора, V – напруга електричного струму. Амплітуда імпульсу тиску на виході з модулю резонансної пролонгації визначалась за формулою Жуковського непрямого гідроудару: $p = \rho \cdot c \cdot v$, де ρ , c – відповідно густина рідини та швидкість звуку в ній, v – швидкість плунжера модулю пролонгації імпульсу.

Наукова новизна отриманих результатів:

вперше встановлено експоненціальну залежність амплітудної характеристики електрогідрравлічного імпульсу в розрядній камері від геометричних параметрів камери;

вперше розроблено структуру та параметри електрогідравлічного генератора імпульсів, а також визначені амплітудні і частотні характеристики пролонгованого імпульсу тиску, який передається в привибійну зону нафтової свердловини.

В процесі виконання роботи запропоновані електрична схема та конструктивні рішення генератора імпульсів, які можуть бути впроваджені в практику промислового використання.

Висновки.

Впровадження електрогідравлічного генератора імпульсів дозволить підвищити продуктивність видобувних свердловин за рахунок збільшення проникності пластів. Розраховані параметри імпульсів забезпечують ефективну дію на привибійну зону нафтової свердловини та пластову систему, що сприяє ефективному видобутку вуглеводнів.

Застосування електрогідравлічної імпульсної системи для впливу безпосередньо з поверхні важливо для ефективної і безпечної експлуатації високовольтної розрядної системи. А при передачі імпульсів тиску по затрубному просторі нафтової свердловини дозволить проводити обробку привибійної зони і впливати на пластову систему практично без зупинки промислового видобутку вуглеводнів

Список використаних джерел

1. Катеринчук П.О. Освоєння, інтенсифікація та ремонт свердловин/ П.О. Катеринчук, Д.В. Римчук, С.В. Цибулько, О.Л. Шудрик – Х.: Пром-Арт, 2018. – 608 с.
2. Антонєць І.О. Імпульсне джерело живлення електрогідравлічної установки/ І.О. Антонєць, О.М. Антонєць, В.М. Глушенко// Вісник Національного технічного університету України "КПІ" Серія - Радіотехніка. Радіоапаратобудування. – 2006. - № 33. С.71-75
3. Слідєнко В.М., Лістовщик Л.К., Бут В.О. Адаптивна мехатронна система імпульсно-хвильової дії на гірський масив //Електромеханічні та енергетичні системи. Методи моделювання та оптимізації. Збірник наукових праць XVI Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених і спеціалістів (м. Кременчук 12–13 квітня 2018 р.) Кременчук, КрНУ, 2018. С. 27-28.

List of references

1. Katerynychuk P.O. Development, intensification and repair of wells/ P.O. Katerynychuk, D.V. Rymchuk, S.V. Tsibulko, O.L. Shudrik - H.: Prom-Art, 2018. - 608 p.
2. Antonets I.O. Impulse power source of the electro-hydraulic installation/ I.O. Antonets, O.M. Antonets, V.M. Glushenko// Bulletin of the National Technical University of Ukraine "KPI" Series - Radio engineering. Radio equipment construction. – 2006. - No. 33. P.71-75
3. Slidenko V.M., Listovshchik L.K., But V.O. Adaptive mechatronic system of pulse-wave action on a mountain massif // Electromechanical and energy systems. Methods of modeling and optimization. Collection of scientific works of the XVI International Scientific and Technical Conference of Young Scientists and Specialists (Kremenchuk, April 12–13, 2018) Kremenchuk, KrNU, 2018. C. 27-28.

ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ВИДАЛЕННЯ ДІОКСИДУ ВУГЛЕЦЮ З БІОГАЗУ ТВЕРДИМИ СОРБЕНТАМИ

Нині в промислових масштабах для виділення CO_2 із біогазу широко застосовуються абсорбційні, мембранні та кріогенні технології [2, 3]. Натомість для біогазових установок малої та середньої потужності (до 300 м³/год біогазу) ці технології є надмірно затратними і технічно складними.

Мета та завдання. Оцінити енергоефективність та економічну доцільність використання твердих сорбентів для видалення CO_2 із біогазу. Розробити конструкцію контактора для ефективного нагрівання сорбенту димовими газами. Дослідити теплові процеси, які відбуваються в контактормі. Визначити показники ефективності видалення CO_2 з біогазу твердими сорбентами.

. Система видалення CO_2 з біогазу складається з контактора, котельні, розподільчих пристроїв, вентилятора, димососу та компресора (рис. 1). Система працює у періодичному циклічному режимі. На початковому етапі біогаз з біогазової установки подається до контактора, якій заповнений твердим сорбентом. Під час проходження біогазу через сорбент відбувається процес адсорбції молекул CO_2 з біогазу до сорбенту. Очищений від CO_2 біогаз надходить до котельні для подальшого спалювання.

Після завершення фази адсорбції, контур подачі біогазу до контактора перекривається. Розпочинається нагрівання сорбенту для десорбції з нього молекул CO_2 . Необхідна теплота забирається від димових газів з котельні, які подаються до контактору через спеціальний контур. Після передачі теплоти сорбенту, димові гази видаляються з контактора до димової труби котельні. Після нагрівання контактора, молекули CO_2 десорбуються з поверхні сорбенту та через контур видалення транспортуються до компресора, де стискаються для подальшої утилізації.

Після повного виділення CO_2 у контактормі подається зовнішнє повітря, яке відбирає залишкове тепло від сорбенту, знижуючи його температуру до рівня початкової. Таким чином, охолоджений сорбент готовий до нового циклу адсорбції.

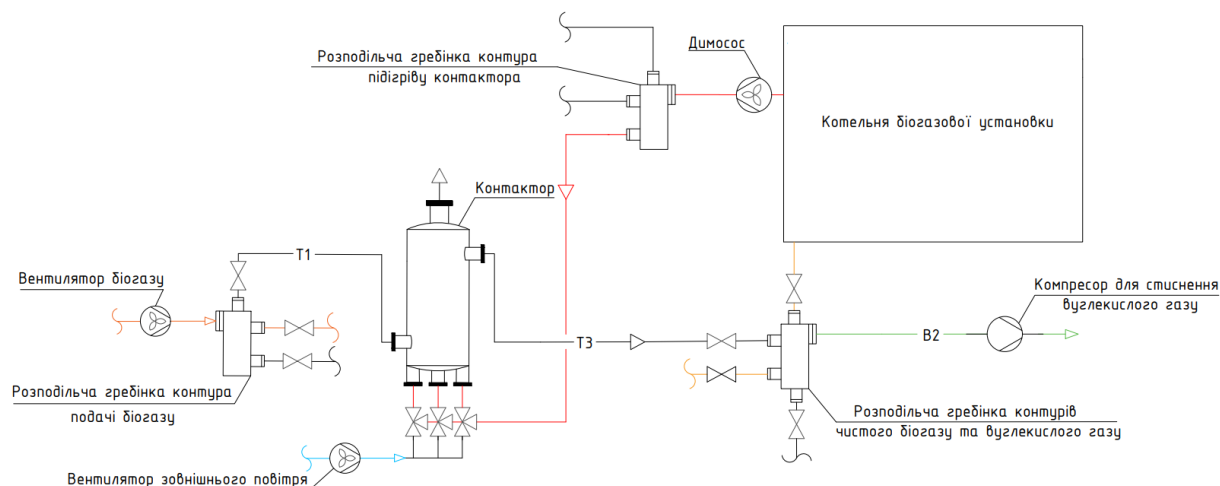


Рисунок 1. Принципова схема установки для видалення CO_2 з біогазу

Особливістю запропонованої схеми є контактор, який має вигляд вертикального кожухотрубного теплообмінника (рис. 2). Сорбент знаходиться у міжтрубному просторі, а димові гази подаються всередину теплообмінних труб. На відміну від традиційних конструкцій, де теплоносії безпосередньо контактують із сорбентом, кожухотрубний контактор мінімізує ризик забруднення сорбенту. Це дає змогу значно продовжити термін використання сорбенту та забезпечити стабільність і чистоту процесів адсорбції та десорбції. Крім того, дана конструкція може витримувати високі температури та тиски, що робить її придатною для використання різних типів джерел вторинної теплоти.

Основним недоліком запропонованої конструкції є зниження ефективності теплопередачі від димових газів до сорбенту порівняно з традиційними контакторами. Зокрема невідома тривалість нагрівання сорбенту димовими газами, що ускладнює оцінку ефективності даного способу видалення CO₂.

Дослідження теплового стану контактора під час циклу нагрівання здійснено в тривимірній постановці з використанням програмного комплексу САПР SolidWorks та сімейства додаткових модулів інженерного аналізу SolidWorks Flow Simulation з урахуванням основних конструктивних особливостей спроектованого апарату та властивостей як теплоносія (димові гази) так і сорбента (активоване вугілля).

Висновки

Вертикальна кожухотрубна конструкція контактора дає змогу уникнути забруднення сорбенту та ефективно використовувати доступну вторинну теплоту (зокрема димові гази) для забезпечення необхідних температурних умов процесу десорбції CO₂. Дане рішення сприяє зниженню теплових витрат для нагрівання сорбенту. Відповідно зменшиться і собівартість видалення CO₂.

Встановлені геометричні розміри контактора (діаметр 0,75 м та довжина 3,5 м), які забезпечують необхідну швидкість руху біогазу у міжтрубному просторі і димових газів в трубах. Під час тривимірного моделювання теплового стану контактора визначено експлуатаційні параметри системи, зокрема час нагрівання сорбенту димовими газами – 14,5 хв., тривалість повного циклу видалення CO₂ – 51 хв., втрати тиску димових газів в контактормі – 1048 Па. Отримані результати дають змогу оцінити енергоефективність та економічну доцільність використання твердих сорбентів для видалення CO₂ із біогазу.

Розрахунок економічних показників ефективності показав, що використання твердих сорбентів, таких як активоване вугілля, дозволяє видаляти 281 тону CO₂ з біогазу щороку. Витрати електроенергії на цей процес складають 157 кВт·год на кожен тону видаленого CO₂. За таких умов собівартість уловлювання становить 1049 грн за тону CO₂. Отримані результати свідчать про доцільність проведення більш докладних поглиблених досліджень процесу видалення CO₂ твердими сорбентами з метою подальшого впровадження цієї технології в Україні.

Список використаних джерел:

1. P. Rusanowska, M. Zieliński та M. Dębowski, "Removal of CO₂ from Biogas during Mineral Carbonation with Waste Materials", *Int. J. Environmental Res. Public Health*, vol. 20, № 9, p. 5687, Apr. 2023. doi:10.3390/ijerph20095687
2. X. Y. Chen, H. Vinh-Thang, A. A. Ramirez, D. Rodrigue, S. Kaliaguine, "Membrane gas separation technologies for biogas upgrading", *RSC Adv.*, vol. 5, № 31, pp. 24399–24448, Feb 2015. doi:10.1039/c5ra00666j.
3. S. Sreenath, A. A. Sam, "Hybrid membrane-cryogenic CO₂ capture technologies: A mini-review", *Frontiers Energy Res.*, vol. 11, Apr. 2023. doi:10.3389/fenrg.2023.1167024.
4. D. Iruretagoyena, P. Fennell, R. Pini, "Adsorption of CO₂ and N₂ on bimetallic Mg-Al hydrotalcites and Z-13X zeolites under high pressure and moderate temperatures", *Chem. Eng. J. Advances*, p. 100437, Dec. 2022. doi:10.1016/j.cej.2022.100437.
5. I. Matseh, B. Trisakti, S. Maulina, R. Sidabutar, I. Iriany, M. S. Takriff, "Adsorption-desorption system for CO₂ removal in biogas using natural zeolite-based adsorbent", [online] *J. Eng. Sci. Technol.*, vol. 13, № 10, p. 3058–3070, Oct 2018.

6. M. V. Gil, N. Álvarez-Gutiérrez, M. Martínez, F. Rubiera, C. Pevida, A. Morán, “Carbon adsorbents for CO₂ capture from bio-hydrogen and biogas streams: Breakthrough adsorption study”, *Chem. Eng. J.*, vol. 269, pp. 148–158, Jun. 2015. doi:10.1016/j.cej.2015.01.100.
7. V. Gnielinski, “G7 Heat Transfer in Cross-flow Around Single Rows of Tubes and Through Tube Bundles.”, *VDI Heat Atlas*, VDI-Buch. Springer, Berlin, Heidelberg., 2010 doi:10.1007/978-3-540-77877-6_40.
8. P. V. Skrypnyk, V. V. Sereda, “Technoeconomic analysis of direct air capture in the climatic conditions of Ukraine”, *Refrigeration Engineering and Technology*, vol. 59, № 4, pp. 278-288, 2023. doi: 10.15673/ret.v59i4.2808.
9. F. M. Baena-Moreno, M. Rodríguez-Galán, F. Vega, L. F. Vilches, B. Navarrete, Z. Zhang, “Biogas upgrading by cryogenic techniques”, *Environmental Chemistry Lett.*, vol. 17, № 3, pp. 1251–1261, Mar. 2019. doi:10.1007/s10311-019-00872-2
10. C. Soto, L. Palacio, R. Muñoz, P. Prádanos ta A. Hernandez, “Recent Advances in Membrane-Based Biogas and Biohydrogen Upgrading”, *Processes*, vol. 10, № 10, p. 1918, Sep. 2022. doi:10.3390/pr10101918

РОЗРОБЛЕННЯ СИСТЕМИ АДАПТАЦІЇ ВІБРОКОВША ДЛЯ РУЙНУВАННЯ ПОРІД В УМОВАХ КЛЕСІВСЬКОГО КАР'ЄРУ НЕРУДНИХ КОПАЛИН

Анотація. Розглянуто систему адаптації віброковша для ефективного руйнування порід у Клесівському кар'єрі нерудних копалин.. Проаналізовано техніко-економічні показники впровадження адаптивної системи.

Ключові слова: віброковш, руйнування порід, адаптація, кар'єр, екскаватор.

Abstract. The system of adapting the vibratory bucket for effective rock fragmentation in the Klesiv non-metallic minerals quarry has been considered. The technical and economic indicators of implementing the adaptive system have been analyzed

Key words: vibro-bucket, rock destruction, adaptation, quarry, excavator.

Вступ. В умовах видобутку нерудних корисних копалин у Клесівському кар'єрі виникає необхідність забезпечення високої ефективності та екологобезпечності при видобутку копалин відкритим способом[1]. Віброковш є одним із ключових інструментів, який, завдяки вібраційним коливанням, підвищує швидкість дроблення, знижує енерговитрати й забезпечує високу продуктивність. Проте, залежно від твердості й структури породи, параметри роботи віброковша мають адаптуватися для досягнення максимального ефекту[2].

Мета та завдання досліджень. Розробка адаптивної системи керування віброковшем для підвищення ефективності руйнування порід у складних кар'єрних умовах.

Матеріал та результати досліджень. Під час досліджень було проведено експериментальний аналіз різних режимів роботи віброковша, який показав залежність продуктивності від частоти вібрації та сили удару[3]. На основі отриманих даних були визначені оптимальні режими, що забезпечують ефективне руйнування порід з різною твердістю, а також обрані відповідні датчики для контролю робочих параметрів.

Для розрахунку максимально сили опору ґрунту використано залежність:

$$R^{\tau} = K \times h^{1.35}$$

де h — максимальна глибина різання.

Наукова новизна: Вперше запропоновано розрахувати параметри системи адаптації віброковша, що враховує зміну твердості породи й регулює параметри вібрації та сили удару в реальному часі.

В ході виконання роботи були розроблені електрична схема та конструктивні рішення для системи адаптації віброковша, які можуть бути застосовані для промислового використання.

Висновки. Впровадження системи адаптації віброковша для руйнування порід у Клесівському кар'єрі дозволить автоматично регулювати робочі характеристики, залежно від твердості порід, що забезпечує максимальну продуктивність та ефективність роботи. Запропонована система сприяє зниженню витрат енергії, зменшенню зносу обладнання й подовженню терміну його експлуатації.

Застосування датчика тиску в реальному часі дозволяє вмикати віброковш тільки при досягненні необхідного рівня тиску що забезпечує оптимальну ефективність та витрату енергії.

Список використаних джерел

1. Технологія екологічнобезпечної відкритої розробки нерудних родовищ твердих корисних копалин: монографія. Симоненко В.І., Павличенко А.В., Анісімов О.О., Бондаренко А.О., Черняєв О.В., Гриценко Л.С. Дніпро: Журфонд, 2022. 365 с.
2. Сліденко В.М., Шевчук С.П. Стабілізація функціонування гірничої машини з імпульсним виконавчим органом: монографія, Київ: НТУУ "КПІ", 2010. 192 с.
3. Сліденко В.М., Шевчук С.П., Замараєва О.В. Лістовщик Л.К. Адаптивне функціонування імпульсних виконавчих органів гірничих машин: монографія. -К.: НТУУ "КПІ", 2013. -180 с.

list of references

1. Technology of Ecologically Safe Open Development of Non-Metallic Mineral Deposits of Solid Useful Minerals: Monograph. Simonenko V.I., Pavlychenko A.V., Anisimov O.O., Bondarenko A.O., Cherniayev O.V., Hrytsenko L.S. Dnipro: Zhurfond, 2022. 365 p.
2. Slydenko V.M., Shevchuk S.P. Stabilization of the Operation of a Mining Machine with an Impulse Actuator: Monograph, Kyiv: NTUU "KPI", 2010. 192 p.
3. Slydenko V.M., Shevchuk S.P., Zamaraieva O.V., Listovschik L.K. Adaptive Operation of Impulse Actuators in Mining Machines: Monograph. Kyiv: NTUU "KPI", 2013. 180 p.

ПІДГОТОВКА ФАХОВИХ ІНЖЕНЕРІВ

Світова федерація інженерних організацій (WFEO), Міжнародна асоціація неперервної інженерної освіти (IACSEE) та інші міжнародні об'єднання вивчають питання динаміки інтеграційних процесів у галузі освіти для забезпечення якості підготовки інженерів, здійснюють координацію міжнародних наукових розробок у сфері інженерії, штучного інтелекту тощо. Цей напрямок задекларований і в Національній доктрині розвитку освіти в Україні[1].

Кафедра автоматизації електротехнічних та мехатронних комплексів Навчально – наукового інституту енергозбереження та енергоменеджменту Національного технічного університету України імені Ігоря Сікорського здійснює підготовку магістрів здатних вирішувати інжинірингові задачі в галузі розробки та вдосконалення інтелектуальних електротехнічних та мехатронних систем з використанням сучасного програмного забезпечення, і новітнього технологічного обладнання в умовах сталого розвитку суспільства, всебічного професійного, інтелектуального та творчого розвитку особистості в професійному середовищі та трансформації ринку праці через взаємодію з роботодавцями [2]. Починаючи з першого курсу і закінчуючи захистом кваліфікаційної роботи від магістра, вимагається значних зусиль в освоєнні різнопланової інформації. Одним із шляхів вдосконалення навчального процесу є впровадження модульного принципу синтезу знань та залучення студентів до наукової роботи протягом навчання, починаючи з молодших курсів і включаючи окремі інтегровані модулі в структурі випускної роботи магістра.

Методологія синтезу знань в системі підготовки магістрів з електроенергетики, електротехніки та електромеханіки полягає в формуванні окремих, відносно закінчених інформаційних модулів за основними предметами, які мають органічні предметні зв'язки і, які при переході здобувачів на старші курси суттєво посилюються інформацією за результатами наукових досліджень, що відображається в розрахунково-графічних роботах, курсових роботах та проєктах. Далі ці модулі знаходять своє відображення в окремих розділах кваліфікаційної роботи магістра.

Одним із основних засобів формування кваліфікаційної роботи магістра є участь студента-магістранта протягом навчання в наукових роботах кафедри, а також Центру енергозберігаючих імпульсно-хвильових конструкцій, технологій та навчальних систем, створеного співробітниками кафедри, як окремого структурного підрозділу НН ІЕЕ. Однією з головних задач Центру є розробка методик навчання студентів за умови функціонування університету як дослідницького. Темі наукових робіт пов'язані з освітньо-професійною програмою "Інжиніринг інтелектуальних електротехнічних та мехатронних комплексів" та майбутнім профілем діяльності випускників-магістрів на первинних посадах в науково-дослідних установах та підприємствах. Центр сприяє укладенню і виконує господарські договори між НТУУ "КПІ ім. Ігоря Сікорського" та організаціями, які за профілем наближені до напряму підготовки магістрів. Участь здобувачів в науковій роботі Центру дозволяє максимально наблизити тематику робіт та рівень їх виконання до практичного застосування в промисловості. При виконанні навчальних завдань важливим є значне підвищення рівня компетентності студентів в окремих технічних проблемах зокрема та питаннях інноваційного розвитку економіки України в цілому [3].

Успішному проведенню науково-дослідної роботи здобувачів сприяє формування просторового мислення та уяви, без яких засвоєння таких інженерних дисциплін як систем автоматизованого проєктування електротехнічних систем та комплексів та комп'ютерне управління технологічними процесами, експериментом, обладнанням просто неможливо. Важливим аспектом в зазначеній проблемі є освоєння і використання експертних систем та технологій, як засобу особливої взаємодії за допомогою інформаційно-комп'ютерних технологій викладач - студент. Так, наприклад, в дисципліні "Адаптивні комплекси електромеханічних та мехатронних систем" впроваджено компетентісно орієнтовані експертні технології, які сприяють самостійній роботі студентів по вивченню перехідних процесів за об'єктом та предметом наукових досліджень, що знайдуть своє відображення як один із розділів кваліфікаційної роботи. Студент формує власні закінчені модулі у вигляді математичних та комп'ютерних моделей з застосуванням (за вибором) мов програмування C# Visual Studio, AutoLisp, програмування в оболонках MathCad, MatLab розробки графічних об'єктів інструментами SolidWorks та AutoCad, а також використання інших сучасних інформаційних пакетів. Для успішного виконання навчальних завдань та проведення наукових досліджень кожний студент - майбутній магістрант закріплюється за викладачем кафедри, який надалі, як правило, призначається керівником магістерської роботи. Студент, проводячи наукові дослідження, приймає участь в обговореннях їх результатів на семінарських заняттях та захищає основні положення розробки.

Результати закінчених наукових досліджень студенти-магістранти відображають в публікаціях та патентах на інтелектуальну власність, приймають участь в щорічній науково-технічній конференції НН ІЕЕ "Енергетика. Екологія. Людина" за такими напрямками як сталий розвиток енергетики; енергоефективні екобезпечні технології та обладнання; функціонування паливно-енергетичного комплексу України з урахуванням природоохоронних вимог.

Список використаних джерел

1. Указ Президента України (2002, Квіт.17). Указ № 347/2002, Про Національну доктрину розвитку освіти. [Електронний ресурс]. Доступно: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/347/2002>
2. Освітньо-професійна програма "Інжиніринг інтелектуальних електротехнічних та мехатронних комплексів". [Електронний ресурс]. Доступно: https://osvita.kpi.ua/sites/default/files/opfiles/141_oppm_iietmk_2024.pdf
3. Стратегія розвитку КПІ ім. Ігоря Сікорського на 2020-2025 роки. [Електронний ресурс]. Доступно: <https://kpi.ua/strategy>

References

1. Decree of the President of Ukraine (2002, April 17). Decree No. 347/2002, On the National Doctrine of Education Development. [Electronic resource]. Available: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/347/2002>
2. Educational and professional program "Engineering of intelligent electrotechnical and mechatronic complexes". [Electronic resource]. Available: https://osvita.kpi.ua/sites/default/files/opfiles/141_oppm_iietmk_2024.pdf
3. Development strategy of KPI named after Igor Sikorsky for 2020-2025. [Electronic resource]. Available: <https://kpi.ua/strategy>

ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНЕ ОБЛАДНАННЯ ТА АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ ПІРОЛІЗУ ГУМОВИХ І ПОЛІЕТИЛЕНОВИХ ВІДХОДІВ

Вступ. Піроліз гуми є складним фізико-хімічним процесом розщеплення великих молекулярних ланцюгів на менші. Це призводить до розпаду матеріалу на компоненти, а саме: піролізний газ, піролізне масло, вуглецеві залишки та металевий дріт. Процес відбувається у закритому реакторі в анаеробних умовах і технічно поділяється на три стадії (нагрівання, активна фаза піролізу та охолодження). Наше розроблення пропонує інтеграцію інтелектуальної системи автоматизації в процес керування циклом піролізу, яка може поєднуватися з моделлю машинного навчання та регулювати процес на її основі.

Основна частина.

Системи, включаючи автоматизовані системи, складаються з методів, які реалізують процеси. Методи є набором інструментів або кроків, необхідних для розв'язання конкретного завдання. У керуванні застосовуються різні методи для отримання, аналізу та видачі команд. Весь процес керування пропонується прив'язати до внутрішньої мережі підприємства з використанням різного обладнання.

Вибір компонентів

Вибір компонентів для автоматизованої системи керування процесом піролізу є багаторівневим. Зокрема, це стосується датчиків температури, тиску, ваги, вологості, виконавчих пристроїв, а також засобів візуалізації та сигналізації. Особливу увагу слід приділити вибору датчиків температури та тиску, оскільки вони повинні забезпечувати високу точність вимірювань і витримувати жорсткі умови. Проектування та впровадження системи автоматизації практично не мають обмежень. Однак наша увага зосереджена на моделюванні інтелектуальної системи керування самим процесом піролізу. Керування виконавчими механізмами здійснюється за допомогою системи контакторів, яка безпосередньо контролюється командами від програмованого логічного контролера (PLC).

Для розширення можливостей керування системою було обрано новітній модуль S7-1500 TM NPU, що підтримує встановлення нейронних мереж. Відомий своєю продуктивністю та надійністю, модуль S7-1500 значно перевершує своїх попередників завдяки швидшій обробці даних, більшій пам'яті та розширеним можливостям зв'язку. Цей контролер забезпечує швидший відгук на зміну умов процесу, покращену інтеграцію з іншими системами та більшу гнучкість у налаштуваннях. Однією з ключових переваг S7-1500 є його модульність і багатофункціональність. У роботі пропонується два різні методи інтеграції нейронних мереж у систему.

Перший метод передбачає встановлення модуля обробки нейронних мереж (NPM), зокрема моделі 6ES7677-2AA00-0AA0. Цей модуль дозволяє інтегрувати попередньо навчений нейронний мережевий алгоритм у систему, попередньо запрограмований на SD-карті. Для цього використовуються такі інструменти, як TensorFlow, відкрита програмна бібліотека, розроблена компанією Google для реалізації нейронних мереж. Ця конфігурація працює на основі попередньо запрограмованої та навченої моделі, яка базується на попередніх циклах і може автономно налаштовуватися за навченою схемою. Як перевагою, так і недоліком цієї схеми є те, що вона замкнена, тобто працює на першому рівні без можливості самостійного розвитку або адаптації до конкретних завдань у реакторі. Цей підхід забезпечує більшу гнучкість, ніж просто програмування постійних значень керування в PLC, але все ж не є ідеальним.

Другий метод інтеграції управління нейронними мережами є більш ефективним, глобальним та складним. Він передбачає впровадження системи управління вищого рівня через SCADA-пакет. Використовуючи сервер, який взаємодіє з контрольним пунктом, дані в режимі реального часу надсилаються від PLC до замкненої мережі підприємства, яка обробляє отримані дані за допомогою навченої штучної інтелектуальної системи. У цьому режимі інструкції безперервно надходять у систему та коригуються. Перевага цієї системи полягає в її повній автономності та якості. З такою системою можливо об'єктивно оцінювати та контролювати продуктивність кожного циклу.

Моделювання системи автоматизації

Друга частина цього розділу присвячена моделюванню системи автоматизації для заводу з переробки відходів. Комплексне моделювання алгоритмів управління було проведено з акцентом на підтримання оптимальних температурних умов, регулювання тиску в реакторі та забезпечення загальної безпеки процесу. Було розроблено контрольний пункт для виконання цих алгоритмів управління.

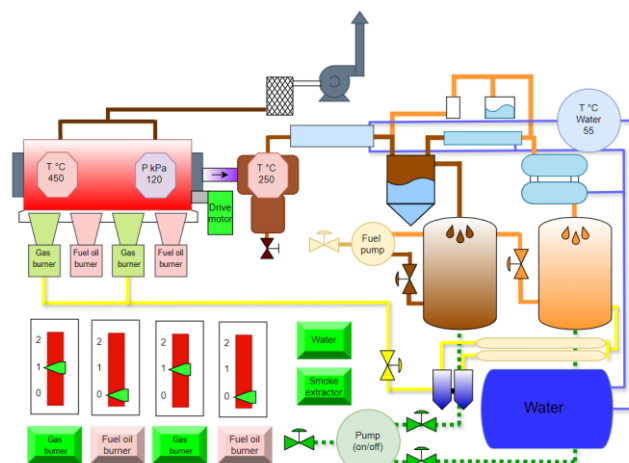


Рисунок 2 — Мнемосхема керування

Особливу увагу приділено інтеграції системи управління з існуючою технологічною інфраструктурою майстерні. Це забезпечило надійну взаємодію між різними елементами системи, підвищило загальну ефективність та зменшило ризик аварій. Також була розроблена система аварійного вимкнення, яка активується при перевищенні допустимих параметрів процесу, що забезпечує додатковий рівень безпеки.

Висновок. Дослідження системи керування процесом піролізу гумових і поліетиленових відходів є значним кроком уперед у сфері управління відходами та відновлення ресурсів. Перетворення відходів на паливо за допомогою цієї технології не лише вирішує зростаючі екологічні проблеми, пов'язані з утилізацією відходів, але й сприяє енергетичній незалежності. Інтеграція сучасного електромеханічного обладнання та передових технологічних підходів забезпечує оптимізацію та автоматизацію процесу піролізу для досягнення ефективності та безпеки, що є критично важливим для промислових застосувань.

Список використаних джерел:

1. Aksenov, A.F., Seregin, E.P., Yanovskii, L.S. та ін. Поточна парадигма і перспективи зростання хеммотології. *Chem Technol Fuels Oils* 49, 298–308 (2013). <https://doi.org/10.1007/s10553-013-0445-5>.
2. Папін, А.В., Ігнатова, А.Ю., Макаревич, Є.А. Шляхи утилізації зношених автомобільних шин та аналіз можливості використання технічного вуглецю для піролізу зношених шин. *Вісник КузГТУ*, 2015, № 2(108), с. 96–100.
3. Переробка поліетилену: технологія вторинного використання відходів // URL: <https://rcycle.net/plastmassy/polietilen/pererabotka-tehnologii-vtorichnogo-ispolzovaniya-othodov>, доступ: 05.11.2020.
4. Бондаренко І., Дудар І., Яворовська О., Зюсь О., Бойченко С., Куберський І., Шкільнюк І., Комариста Б., Джигирей І., & Бендіух В. (2021). Розробка технології локалізації забруднення довкілля під час пожеж на стихійних сміттєзвалищах та її лабораторне випробування. *Східноєвропейський журнал підприємницьких технологій*, 6(10 (114), 40–48. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.248252>.
5. Бендіух В., Маркіна Л., Мацай Н., Кирпичова І., Бойченко С., Прядко С., Шкільнюк І., Комариста Б., Єрмакович І., & Власенко О. (2023). Інтегрований метод планування управління відходами на основі аналізу матеріальних потоків та оцінки життєвого циклу. *Східноєвропейський журнал підприємницьких технологій*, 1(10 (121), 6–18. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.273930>.
6. Шкільнюк І., Бойченко С. (2020). Біологічний ризик постачання авіаційного палива. У книзі: Бабак В., Ісаєнко В., Запорожець А. (ред.) Системи, рішення і контроль в енергетиці І. Дослідження в системах, рішеннях та управлінні, том 298. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-48583-2_12.
7. Бойченко С., Зубенко С., Коновалов С., & Яковлева А. (2020). Синтез етилових ефірів масла *Camelina* як компонентів реактивних палив. *Східноєвропейський журнал підприємницьких технологій*, 1 (6 (103), 42–49. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.196947>.
8. Лорія М., Целішев О., Єлісєєв П., Поркуян О., Гурін О., Абрамова А., & Бойченко С. (2022). Принципи та етапи створення систем автоматичного управління з моделлю складних технологічних процесів. *Східноєвропейський журнал підприємницьких технологій*, 6(6 (120), 20–29. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.270519>.
9. Байкалов Ю., Джигирей І., Бендіух В., Проскурнін О., Березенко К., Бойченко С., Крючков А., Сергієнко М., Данілін О., & Кутняшенко О. (2022). Удосконалення технології рекультивації кар'єрів і відвалів.

Східноєвропейський журнал підприємницьких технологій, 4(10 (118), 38–50. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.263513>.

10. Яковлева А., Бойченко С., Калє У. та Надь А. (2021). "Комплексні підходи та передові технології у переробці авіаційної продукції", Aircraft Engineering and Aerospace Technology, Vol. 93 No. 8, pp. 1302-1312. <https://doi.org/10.1108/AEAT-03-2021-0068>.

APPLICATION OF HYDROGEN FUEL IN AUTOMOTIVE ENERGY MANAGEMENT: MATERIAL IMPACT, ENVIRONMENTAL BENEFITS, AND SAFETY CONSIDERATIONS

Hydrogen fuel, as a clean and efficient energy source, has transformative potential in automotive energy management. This paper addresses the material challenges of hydrogen embrittlement and permeation, environmental benefits like zero emissions and lifecycle sustainability, and safety considerations associated with high-pressure storage and leakage risks. By overcoming these challenges, hydrogen fuel can enable sustainable and efficient automotive systems.

Keywords: *Hydrogen Fuel, Automotive Energy Management, Material Compatibility, Environmental Benefits, Safety Measures, Green Hydrogen, Hydrogen Embrittlement.*

Introduction

The automotive sector accounts for approximately 20% of global CO₂ emissions, making it a significant contributor to climate change [1]. This necessitates a shift to low-carbon technologies. Hydrogen fuel, with its high energy density and zero-emission characteristics, emerges as a promising alternative [2]. However, challenges such as material degradation, safety risks, and infrastructure limitations hinder its widespread adoption [3]. Addressing these issues is critical to unlocking hydrogen's potential in sustainable transportation.

This study focuses on:

- 1) Material compatibility challenges, such as hydrogen embrittlement, and proposed mitigation strategies [4].
- 2) Environmental benefits of hydrogen fuel, including lifecycle emissions reduction and sustainability [5].
- 3) Safety measures for high-pressure storage systems and leak prevention [6].

1) Hydrogen Fuel in Energy Management

Key Properties

Hydrogen fuel is characterized by its:

- 2) **High Energy Density:** Hydrogen has a superior energy-to-weight ratio, enabling efficient energy storage for transportation [2].
- 3) **Zero Emissions:** Hydrogen produces only water vapor when used, eliminating harmful pollutants [3].
- 4) **Adaptability:** Hydrogen can power both fuel cells and internal combustion engines, providing flexibility across vehicle types [4].

Comparison with Conventional Fuels

Compared to fossil fuels:

- 1) Hydrogen fuel cells achieve efficiencies of up to 60%, double that of internal combustion engines [5].
- 2) CO₂ emissions are entirely eliminated at the point of use, making hydrogen essential for decarbonizing transport [6].

1. Material Impact

Challenges:

- 1) **Hydrogen Embrittlement:** High-strength metals like steel are prone to hydrogen-induced cracking, reducing durability under stress [4].

2) **Permeation:** Hydrogen's small molecular size enables it to diffuse through materials, leading to leaks and long-term degradation [5].

Solutions:

1) **Advanced Materials:** Stainless steel and composite liners with enhanced resistance to embrittlement significantly improve safety [3].

2) **Protective Coatings:** Applying chromium or polymer-based coatings prevents hydrogen diffusion [6].

3) **Innovative Tank Designs:**

- Multi-layered tanks combining metal and composite materials.
- Cryogenic tanks for liquid hydrogen storage, reducing volumetric constraints [7].

3. Environmental Benefits

Zero Emissions:

Hydrogen fuel eliminates tailpipe emissions, reducing urban air pollution and improving public health outcomes [5].

Lifecycle Analysis:

1) **Green Hydrogen:** Produced using renewable energy, green hydrogen achieves near-zero lifecycle emissions [6].

2) **Gray Hydrogen:** Predominantly produced via steam methane reforming, gray hydrogen contributes to CO₂ emissions and requires mitigation [4].

Sustainability: Hydrogen integrates seamlessly with renewable energy systems, acting as a storage medium for excess solar and wind power. This enables:

- 1) Decarbonization of heavy transport sectors, such as freight and aviation [7].
- 2) Greater energy resilience in urban and rural areas [2].

4. Safety Considerations

Risks:

1) **High-Pressure Storage:** Tanks operating at up to 700 bar pose explosion risks during refueling or accidents [4].

2) **Leaks:** Undetected leaks can lead to accumulation of hydrogen, increasing flammability hazards [5].

Mitigation Strategies:

1) **Leak Detection Systems:** Advanced sensors for early detection reduce the risk of accidents [6].

2) **Explosion-Proof Designs:** Implementing ventilation and spark-resistant materials in refueling stations [7].

3) **International Standards:** Adherence to ISO 14687 ensures consistency in hydrogen purity and system integrity [5].

4. Challenges and Future Directions

Technical Challenges:

1) High costs of green hydrogen production limit widespread adoption [3].

2) Material compatibility issues persist in high-pressure systems [4].

Opportunities:

1) **Green Hydrogen Technologies:** Expanding electrolyzer efficiency and renewable energy capacity reduces costs [5].

2) **Infrastructure Development:** Scaling hydrogen refueling networks enhances accessibility [7].

3) **Policy Incentives:** Government subsidies and regulatory frameworks accelerate commercialization [6].

Conclusion

Hydrogen fuel offers a transformative solution for the automotive sector, combining high energy density with zero emissions [2]. Overcoming challenges related to material

compatibility, safety, and infrastructure is essential to its adoption [4].

This study emphasizes the importance of:

- 1) Mitigating hydrogen embrittlement through advanced materials and coatings [3].
- 2) Transitioning to green hydrogen production for lifecycle sustainability [6].
- 3) Ensuring safety through robust leak detection and adherence to international standards [7].

Future research should focus on cost reductions, material innovation, and the integration of hydrogen systems into smart energy networks [1]. Collaborative efforts among industries, governments, and academia are crucial to establishing hydrogen fuel as a cornerstone of sustainable transportation systems [4].

References

[1] Ouyang, M., et al. "Progress in hydrogen fuel cell vehicles and up-and-coming hydrogen economy in China." *Frontiers in Energy* 14.3 (2020): 530-546.

[2] Dincer, I., and Acar, C. "Review and evaluation of hydrogen production methods for better sustainability." *International Journal of Hydrogen Energy* 40.34 (2015): 11094-11111.

[3] Staffell, I., et al. "The role of hydrogen and fuel cells in the global energy system." *Energy & Environmental Science* 12.2 (2019): 463-491.

[4] Züttel, A., et al. "Hydrogen storage methods." *Naturwissenschaften* 91.4 (2004): 157-172.

[5] Schlapbach, L., and Züttel, A. "Hydrogen-storage materials for mobile applications." *Nature* 414.6861 (2001): 353-358.

[6] Eberle, U., Felderhoff, M., and Schüth, F. "Chemical and physical solutions for hydrogen storage." *Angewandte Chemie International Edition* 48.36 (2009): 6608-6630.

[7] Rivard, E., Trudeau, M., and Zaghib, K. "Hydrogen storage for mobility: A review." *Materials* 12.12 (2019): 1973.

ТЕХНОЛОГІЇ НА ОСНОВІ ЗЕЛЕНОГО ВОДНЮ

Вступ. Актуалізовані екологічні та технологічні виклики глобального розвитку суспільства вимагають принципово нового підходу до енергетичних стратегій держав та регіонів. Наразі відбувається трансформація старого процесу функціонування енергетичної системи, в якій існували великі виробники, традиційні паливні ресурси, застарілі мережеві комунікації та монопольний тиск на ринки природного газу. Тому виникає потреба у створенні конкурентного середовища для функціонування та розвитку різних видів виробництва енергії. Вихідною тезою в оновлених стратегіях розвитку енергетики має стати активізація досі невикористаних енергоефективних процесів впровадження альтернативних енергоресурсів та застосування заходів із запобігання та адаптації до зміни клімату.

Технології на основі водню привернули значну увагу до стаціонарних застосувань у сфері декарбонізації з кількох ключових причин:

- Водень - це чистий енергоносіє, який при використанні в паливних комірках виділяє лише водяну пару і тепло, що робить його перспективною альтернативою викопним видам палива;
- Водень можна використовувати як середовище для зберігання енергії, що дозволяє зберігати надлишок відновлюваної енергії (наприклад, сонячної або вітрової) і використовувати її пізніше, коли попит перевищує пропозицію. Це допомагає стабілізувати енергосистему та збільшити проникнення відновлюваних джерел енергії;
- Такі галузі, як сталеливарна, цементна та хімічна промисловість, які важко електрифікувати безпосередньо, можуть використовувати водень як сировину або джерело енергії, зменшуючи свій вуглецевий слід;
- Водень може використовувати існуючу інфраструктуру природного газу з певними модифікаціями, що потенційно знижує вартість розгортання порівняно з будівництвом абсолютно нової інфраструктури для інших екологічно чистих джерел енергії;

Водень як джерело енергії. Сьогодні водень визнано екологічно чистим енергоносієм, оскільки він не сприяє глобальному потеплінню, якщо виробляється з відновлюваних джерел енергії. Крім того, водень є єдиним вторинним енергоносієм, який підходить для широкого спектру застосувань на енергетичному ринку. Його можна вигідно використовувати для широкого діапазону застосувань, починаючи від транспортування та портативного до стаціонарного використання. Крім того, водень також можна використовувати в децентралізованих системах без викидів вуглекислого газу.

Питома вага зрідженого водню становить 71 кг/м^3 , що дає йому найвищу щільність енергії на одиницю маси серед усіх видів палива та енергоносіїв: 1 кг водню містить стільки ж енергії, скільки 2,1 кг природного газу або 2,8 кг нафти [1]. На відміну від інших видів палива, таких як нафта, природний газ і вугілля, водень є відновлюваним і нетоксичним джерелом енергії при використанні в паливних комірках.

Методи генерації зеленого водню. Електроліз води складає лише 2% від загальної генерації водню, але наразі цей метод є основним та найбільш технологічно розвиненим методом генерації «зеленого» водню (водню, отриманого за допомогою відновлюваних джерел енергії) [2]. Основні види електролізерів води високої технологічної готовності класифікуються за типом електроліта та реагентів на базі іонів (OH^- , H^+ , O_2^-) та включають: лужні електролізери, протонно-обмінні мембранні електролізери та твердооксидні електролізери.

Методи зберігання зеленого водню. У загальній енергетичній системі, що базується на технологіях «зеленої» електроенергії та «зеленого» водню, метою підсистеми зберігання водню є зниження витрат кінцевого споживача шляхом забезпечення гнучкості між попитом і пропозицією енергії [3]. Зберігання водню можна умовно поділити на два основні типи: фізичне зберігання та хімічне зберігання [4]. Для «зеленого» водню найбільш перспективними методами є зберігання стисненого газоподібного водню, включаючи підземне зберігання водню та зберігання водню у вигляді металогідридів.

Використання зеленого водню. Для того, щоб використати енергетичний потенціал «зеленого» водню в більшості застосувань, його потрібно перетворити електроенергію. Цього можна досягти за допомогою паливних комірок. Паливні комірки - це електрохімічні пристрої, які перетворюють хімічну енергію водню шляхом електрохімічної реакції з окислювачем, таким як кисень, в електричну енергію [5]. Під час цієї хімічної реакції вода (рідина або пара) і тепло виробляються як побічні продукти [5]. Протягом багатьох років було розроблено кілька технологій паливних комірок, і їхня класифікація в першу чергу базується на електроліті, умовах експлуатації та паливі/окислювачі. Залежно від електроліту та специфічних іонів, таких як H^+ , OH^- , O^{2-} , H_3O^+ і CO_3^{2-} , ці технології можна класифікувати як паливні комірки з протонно-обмінною мембраною (PEMFC), твердооксидні паливні комірки (SOFC), лужні паливні комірки (AFC), паливні комірки на фосфорній кислоті (PAFC) і розплав-карбонатні паливні комірки на (MCFC) [5]. Категорія PEMFC може бути додатково поділена на низькотемпературні PEMFC (LT-PEMFC), високотемпературні PEMFC (HT-PEMFC) і паливні комірки з прямим метанолом (DMFC) [6].

Висновки. У статті виконано огляд технологій на основі зеленого водню як перспективного енергоносія в контексті екологічних та технологічних викликів, що постають перед глобальним суспільством. Водень, зокрема зелене виробництво водню за допомогою відновлюваних джерел енергії (таких як сонячна та вітрова енергія), має численні переваги. Він є екологічно чистим енергоносієм, що не сприяє глобальному потеплінню, при цьому здатен використовуватись у різних секторах економіки, включаючи транспорт, промисловість, енергозберігаючі системи та енергетичні мережі. Найбільш перспективним методом виробництва зеленого водню є електроліз води, хоча на сьогодні цей метод займає лише невеликий відсоток від загального виробництва водню у світі. Для використання зеленого водню в якості джерела енергії застосовуються паливні комірки, які перетворюють хімічну енергію водню на електричну енергію. Це дозволяє отримувати чисту енергію з мінімальними викидами, а різні типи паливних комірок, включаючи протонно-обмінні мембранні (PEMFC) та твердооксидні (SOFC), мають потенціал для різних промислових та енергетичних застосувань.

Список використаних джерел

1. Dinçer İ., Zamfirescu C. Fossil fuels and alternative fuels. *Sustainable energy systems and applications*. Boston, MA, 2011. C. 169–201. URL: https://doi.org/10.1007/978-0-387-95861-3_6.
2. Scientific review of the draft of the 2023 global sustainable development report. *Global sustainable development report 2023*. 2023. C. 155–157. URL: <https://doi.org/10.18356/9789213585115c014>.
3. Abidin Z., Khalilpour K., Catchpole K. Projecting the levelized cost of large scale hydrogen storage for stationary applications. *Energy conversion and management*. 2022. T. 270. C. 116241. URL: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2022.116241>.
4. Eberle U., Felderhoff M., Schüth F. Chemical and physical solutions for hydrogen storage. *Angewandte chemie international edition*. 2009. T. 48, № 36. C. 6608–6630. URL: <https://doi.org/10.1002/anie.200806293>.
5. Chapter 1: introduction. *Fuel cell fundamentals*. Hoboken, NJ, USA, 2016. C. 1–24. URL: <https://doi.org/10.1002/9781119191766.ch1>.
6. Larminie J., Dicks A. Introduction. *Fuel cell systems explained*. West Sussex, England, 2013. C. 1–24. URL: <https://doi.org/10.1002/9781118878330.ch1>.

References

1. İ. Dinçer and C. Zamfirescu, “Fossil fuels and alternative fuels”, in *Sustainable Energy Systems and Applications*. Boston, MA: Springer US, 2011, pp. 169–201. https://doi.org/10.1007/978-0-387-95861-3_6

2. “Scientific review of the draft of the 2023 global sustainable development report”, in *Global Sustainable Development Report 2023*. United Nations, 2023, pp. 155–157. <https://doi.org/10.18356/9789213585115c014>
3. Z. Abdin, K. Khalilpour, and K. Catchpole, “Projecting the levelized cost of large scale hydrogen storage for stationary applications”, *Energy Convers. Manage.*, vol. 270, p. 116241, Oct. 2022. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2022.116241>
4. U. Eberle, M. Felderhoff, and F. Schüth, “Chemical and physical solutions for hydrogen storage”, *Angewandte Chemie Int. Ed.*, vol. 48, no. 36, pp. 6608–6630, Aug. 2009. <https://doi.org/10.1002/anie.200806293>
5. “Chapter 1: Introduction”, in *Fuel Cell Fundamentals*. Hoboken, NJ, USA: Wiley, 2016, pp. 1–24. <https://doi.org/10.1002/9781119191766.ch1>
6. J. Larminie and A. Dicks, “Introduction”, in *Fuel Cell Systems Explained*. West Sussex, England: John Wiley Sons, Ltd., 2013, pp. 1–24. <https://doi.org/10.1002/9781118878330.ch1>

Мішакин В.М., магістрант
Данілін О.В., канд. техн. наук
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ІНЖИНІРИНГ ТА АВТОМАТИЗАЦІЯ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНОГО КОМПЛЕКСУ СТІЧКОВОГО КОНВЕЄРУ

Анотація. Робота присвячена дослідженню та розробці електромеханічної системи магістрального стрічкового конвеєра. У роботі розглянуто такі ключові компоненти системи, як електроприводи, редуктори, стрічки, направляючі системи та керуючі пристрої. Методи дослідження включають аналіз наукової літератури, математичне моделювання механічної та електромеханічної частини конвеєра, розрахунок параметрів електроприводу, розробку алгоритмів керування в програмному пакеті MATLAB, а також побудову структурної моделі конвеєра. У роботі також розглянуто сучасні тенденції у сфері автоматизації та цифрового управління магістральними конвеєрами, включаючи інтеграцію сенсорних систем для моніторингу стану обладнання та прогнозоване технічне обслуговування. Очікувані висновки включають підвищення ефективності та надійності роботи стрічкового конвеєра, зниження витрат на обслуговування та експлуатацію, а також покращення конкурентоспроможності підприємств на глобальному ринку. Запропоновані в роботі методи та рішення сприяють сталому розвитку промислових підприємств і забезпечують високий рівень продуктивності транспортних систем.

Мета. Основна мета магістерської дисертації полягає у всебічному дослідженні та розробці ефективної та надійної електромеханічної системи магістрального стрічкового конвеєра, що забезпечить високий рівень продуктивності у транспортуванні матеріалів і сировини на великих відстанях. Це досягається через аналіз існуючих інженерних рішень, проектування оптимальних компонентів системи, таких як удосконалені алгоритми керування електроприводами, а також впровадження сучасних технологій автоматизації для підвищення експлуатаційних показників і зниження витрат на обслуговування.

Основна частина. Стрічкові конвеєри є основним засобом транспортування матеріалів у багатьох галузях промисловості, таких як гірничодобувна, харчова та переробна. Вони забезпечують ефективний, економічний та безпечний спосіб переміщення великої кількості матеріалів на різні відстані. Різні типи конвеєрних стрічок, матеріали їх виготовлення та технології стикових з'єднань мають значний вплив на загальну продуктивність системи. Особливу увагу слід приділяти передачі тягового зусилля стрічці приводними барабанами, що визначає ефективність роботи привідних станцій та надійність системи загалом. Натяжні станції відіграють важливу роль у підтримці оптимальної натяжки стрічки, що дозволяє уникати пробуксовок і знижує знос обладнання. Крім того, роликові та опорні конструкції мають значний вплив на стабільність та довговічність роботи стрічкового конвеєра. У цьому розділі також наведено огляд наукової літератури з теми, що дозволяє побачити сучасні тенденції та новітні розробки в галузі. Окрему увагу приділено режимам роботи та вимогам до електроприводу, що є основою для подальших досліджень та розрахунків. Механічна частина стрічкового конвеєра є однією з найважливіших складових, яка визначає його продуктивність та надійність. Математичний опис механічної частини дозволяє моделювати процеси, що відбуваються у системі, враховуючи різні параметри та характеристики. Це включає розрахунки сил натяжки, тертя, динамічних навантажень, що виникають під час роботи конвеєра. Такий підхід дозволяє оптимізувати конструкцію та підвищити ефективність роботи всієї системи. Для забезпечення стабільної та ефективної роботи стрічкового конвеєра необхідно правильно розрахувати потужність приводної станції. Це включає врахування всіх факторів, що впливають на споживання енергії, таких як довжина та ширина стрічки, вага матеріалу, що

транспортується, швидкість руху та інші. Вибір елементів силової частини електромеханічної системи, таких як редуктори, муфти та підшипники, має базуватися на розрахованих параметрах для забезпечення максимальної ефективності. Особливу увагу слід приділити розрахунку параметрів асинхронного двигуна, який є ключовим елементом системи. Правильний вибір двигуна дозволяє знизити витрати на експлуатацію та підвищити загальну продуктивність. Математичний опис процесів електромеханічного перетворення енергії в довільних електричних машинах дозволяє створити точні моделі для дослідження та оптимізації роботи системи. Виведення математичної моделі асинхронного двигуна є важливим етапом, який дозволяє детально дослідити динаміку роботи двигуна в різних режимах. Розробка алгоритму скалярного частотного керування асинхронним двигуном дозволяє забезпечити плавне регулювання швидкості та зменшити енергоспоживання. Застосування ПІ-регулятора в алгоритмі керування дозволяє підвищити точність та стабільність роботи системи. Структурна модель стрічкового конвеєра включає всі основні компоненти системи та їх взаємодію. Це дозволяє детально дослідити динамічні характеристики конвеєра, виявити слабкі місця та оптимізувати роботу системи. Модель враховує всі механічні та електромеханічні процеси, що відбуваються під час роботи конвеєра, і дозволяє проводити симуляції для оцінки ефективності запропонованих рішень. Проведення досліджень динамічних та енергетичних показників електроприводу стрічкового конвеєра дозволяє визначити оптимальні режими роботи для забезпечення максимальної ефективності. Аналіз динамічних показників включає дослідження перехідних процесів, визначення моментів інерції, тертя та інших факторів, що впливають на роботу системи. Енергетичні показники дозволяють оцінити ефективність використання енергії та виявити можливості для її зниження. Економічний аналіз доцільності використання частотного електроприводу включає оцінку витрат на впровадження та експлуатацію системи, а також очікувану економію. Використання частотного електроприводу дозволяє знизити енергоспоживання, підвищити стабільність роботи системи та зменшити витрати на технічне обслуговування. Розрахунки показують, що інвестиції в таку систему окупаються протягом кількох років, що робить її економічно вигідною. Узагальнюючи результати досліджень, можна зробити висновок, що впровадження інноваційних рішень в електротехнічний комплекс стрічкового конвеєра дозволяє значно підвищити його ефективність та надійність. Використання сучасних методів моделювання та оптимізації дозволяє виявити слабкі місця системи та запропонувати ефективні рішення для їх усунення. Запропоновані в роботі методи дозволяють знизити енергоспоживання, підвищити стабільність роботи та зменшити витрати на експлуатацію, що робить їх економічно доцільними та перспективними для впровадження на промислових підприємствах.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

- Karanth B, Ramakoteswara R. K, Parameswaran M. A. A Systematic Approach to the Experimental Investigation on Two Pulley Conveyor Belt Drive. Bulk Solids Handling 1995, Vol. 15; 4: 579-586
- Karolewski B. Modelowanie zjawisk dynamicznych w przenośnikach taśmowych. Wrocław: Prace Naukowe Instytutu Energoelektryki Politechniki Wrocławskiej, Praca habilitacyjna 1985; 63.
- Karolewski B. An Investigation of Various Conveyor Belt Drive Systems Using a Mathematical Model. Bulk Solids Handling 1986, Vol. 6; 2: 349-354.
- Sur S. Dual Drives for Belt Conveyors. Bulk Solids Handling, Vol. 7 nr 4, August 1987, s. 509-514.
- Karolewski B. Modell der Durchhaenge zwischen den Förderbandtragrollensætzen und des Schlupfes auf der Antriebstrommel. Deutsche Hebe- und Fördertechnik 1992; 5: 46-50.

- Palczak Cz. i inni, Pomiary wybranych wielkości przenośnika 15.02 po okresie docierania pod obciążeniem. Prace Programu Rządowego PR8/1.2-89/R1, Wrocław: COBPGO Poltegor 1983.
- Pieńkowski K. Modelling and digital simulation of the multimotor electromechanical system of long belt conveyors. Modelling, Simulation and Control, 1985, Vol. B5; 1: 43-63.
- Qing He, Hong Li. Review of Dynamic Modelling and Simulation of Large Scale Belt Conveyor System, International Conference on Intelligent Computing and Information Systems ICICIS 2011, Part 1, CCIS 134: 167-172.
- Шахмейстер Л.Г., Дмитриев В.Г. Теория стрічкових конвеєрів М.: Машинобудування, 1982. - 182 с.
- Стрічкові конвеєри в гірничій промисловості. В.А. Дяков, Л.Г. Шахмейстер, В. Г. Дмитриєв та ін. За ред. чл.-кор. АН СРСР Л.О. Співаковського М.: Надра, 1982-329 с.
- Шахмейстер Л.Г., Дмитриев В.Г. Теория та розрахунок стрічкових конвеєрів. М.: Машинобудування, 1978.-392 с.

Сергій Бойченко, д-р техн. наук, професор
Софія Жолтайли, д-р філософії
Ірина Шкільнюк, канд. техн. наук
А.В. Яковлева, канд. техн. наук, доцент
Ігор Куберський, аспірант

ОЦІНКА ЕНЕРГЕТИЧНОГО ПОТЕНЦІАЛУ ВТОРИННОЇ СИРОВИНИ (ПЛАСТИКОВИХ ВІДХОДІВ, ЗНОШЕНИХ ШИН ТА ВІДХОДІВ ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ) ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА КОМПОЗИЦІЙНИХ МОТОРНИХ ПАЛИВ

Вступ. Щорічно обсяги сміття зростають жахливими темпами, забруднюючи довкілля, шкодячи здоров'ю людей та завдаючи значних економічних збитків.

В Україні наявна величезна кількість неутилізованих енергоємних відходів (різноманітні відходи пластикових матеріалів (ВПМ), зношені шини, тощо, а також відходи харчової промисловості (ВХП)).

Метою даного дослідження є визначення потенціалу отримання вітчизняного альтернативного палива з відходів пластику, поліетилену, зношених шин; харчових відходів, що утворюються в процесі діяльності ресторанного бізнесу, відходів виробництва рослинних олій та тваринництва в Україні.

Основні результати дослідження. Отримані аналітичні дані значення відходів вторинної сировини (пластикових відходів, зношених шин та відходів харчової промисловості) та сформовано й обґрунтовано очікуваний потенціал отримання компонентів композиційних моторних палив. Результати наступні:

1. Щорічне утворення відходів в Україні – 350 млн тонн, з них **побутових відходів** – 11–14,6 млн тонн. Обсяг пластикових відходів, що утворюються в Україні щороку, становить від **990 тис. тонн/рік** до **1898 тис. тонн/рік**, що в середньому складає – **1444 тис. тонн/рік**. Пластикові відходи, в основному, складаються з: поліетилену (ПЕ) – 36%, поліетилентерефлатату (ПЕТФ) – 26%, полівінілхлориду (ПВХ) – 16%, поліпропілену (ПП) – 12%, полістиролу (ПС) – 10%. Відповідно відходи ПЕ складають – **520 тис. тонн/рік**.

Виконуючи розрахунки за формулою 1.3.1 та врахувавши коефіцієнти перетворення пластику у паливо (0,3; 0,95 (за літературними даними), 0,5 (за даними переробних підприємств), середнє значення **0,58**), обсяг палива, що можна отримати від пластикових відходів у середньому буде складати $N_{\text{пал}} = 1444 \cdot 0,58 = \mathbf{838 \text{ тис. тонн/рік}}$, у тому числі ПЕ – **302 тис. тонн/рік**.

2. Встановлено, що в Україні утворюється **150–360 тис. тонн** неутилізованих зношених шин щороку, середньозважена кількість – **255 тис. тонн**. Причому, станом на 2022 рік, накопичений обсяг неутилізованих зношених шин в Україні перевищив **10 млн тонн** врахувавши коефіцієнти перетворення зношених шин у паливо (0,3; 0,5 (за літературними даними), 0,35 (за даними переробних підприємств), середнє значення **0,4**), обсяг палива, що можна отримати від перероблення зношених шин у середньому буде складати $N_{\text{пал}} = 255 \cdot 0,4 = \mathbf{102 \text{ тис. тонн/рік}}$.

Переробивши, наприклад, накопичений обсяг неутилізованих зношених шин в Україні – 10 млн тонн, отримаємо **4 млн тонн** компоненту для композиційного палива.

3. Харчові відходи становлять – **30–50%** у структурі ТПВ. Встановлено, що в Україні щороку утворюється **14,6 млн тонн** побутових відходів. Тобто в діапазоні **4,38–7,3** (у середньому – **5,84**) **млн тонн** щорічно в нашій державі утворюється харчових відходів.

4. Встановлено, що за даними Державної служби статистики у 2020 р. в Україні було виготовлено **6,1 млн тонн** рафінованої соняшникової олії. Переважна частина цієї олії потрапляє в навколишнє середовище у вигляді пересмаженої відпрацьованої (фритюрної)

після смаження їжі. Дійшли висновку, що в Україні на сьогодні викиди відпрацьованої соняшникової олії в навколишнє середовище не регламентуються.

5. В Україні нараховується **521** заклад харчування ресторанного типу (без урахування «Львівських круасанів»). Встановлено, що за орієнтовними даними один ресторан має утилізувати **2,8 тонн** використаної (фритюрної) харчової (кулінарної) олії щорічно. Тобто сумарно загальний обсяг складе **1460 тонн/рік**. Тобто, середнє значення утворених відходів олії та рослинної сировини становить **1,460** тис. тонн на рік, **середньозважений** річний потенціал отримання альтернативного палива (або його компонентів) від відходів харчової (кулінарної) олії тоді складе **1,212 тис. тонн/рік**.

6. Дійшли висновку, що обсяги виробництва палива від відходів ресторанного бізнесу потенційно значно більші. Наприклад, якщо взяти до уваги обсяги вироблення соняшникової олії – **6,1 млн тонн** та припустити, що лише 10 частина використовується як фритюрна олія (з урахуванням експортних потужностей) та стає непридатною для подальшого використання, тобто 610 тис. тонн, то очікуваний річний потенціал отримання альтернативного палива (або його компонентів) складе **506,3 тис. тонн/рік**.

7. Встановлено, що ВТЖ становлять **80** тис. тонн. Відповідно нами отриманий очікуваний **середній** річний потенціал отримання композиційного альтернативного палива (його компонентів) від відходів продуктів тваринництва складатиме – **60 тис. тонн/рік**.

8. Сформовано узагальнену характеристику оцінки потенціалу отримання альтернативного палива (або компонентів) з пластику, поліетилену, зношених шин, відходів харчової промисловості та тваринництва, що представлено у таблиці 1.

Таблиця 1. Потенціал отримання компонентів альтернативних моторних палив з пластику, поліетилену, зношених шин, відходів харчової промисловості та тваринництва

Тип відходів	Обсяг утворення, тис. тонн/рік		Середній коефіцієнт перетворення у паливо, в.о.	Потенціал отримання альтернативного палива тис. тонн/рік	
Пластик, у тому числі поліетилен (36% відходів пластику)	min	990	0,58	min	574
	$\Sigma_{\text{сер.}}$	1444		$\Sigma_{\text{сер.}}$	838
	max	1898		max	1101
	min	356	0,58	min	207
	$\Sigma_{\text{сер.}}$	520		$\Sigma_{\text{сер.}}$	302
	max	683		max	396
Зношені шини	min	150	0,4	min	60
	$\Sigma_{\text{сер.}}$	255		$\Sigma_{\text{сер.}}$	102
	max	360		max	144
Відходи харчової промисловості*	$\Sigma_{\text{сер.}}$	1,46	0,83	$\Sigma_{\text{сер.}}$	1,212*
Відходи виробництва продуктів тваринництва	$\Sigma_{\text{сер.}}$	80	0,75	$\Sigma_{\text{сер.}}$	60

* Обсяги виробництва палива від відходів ресторанного бізнесу потенційно значно більші. Якщо взяти до уваги обсяги вироблення соняшникової олії **6,1 млн тонн** та припустити, що лише 10 частина використовується як фритюрна олія (з урахуванням експортних потужностей) та стає непридатною для подальшого використання, тобто 610 тис. тонн, то очікуваний річний потенціал отримання альтернативного палива (або його компонентів) складе: $N_{\text{он}} = 610\,000 \cdot 0,83 = 506,3$ тис. тонн/рік.

Висновок. Отже, сумарний річний потенціал отримання альтернативного палива з пластикових відходів, зношених шин та відходів харчової промисловості становить 1001 тис. тонн. Висунута нами гіпотеза підтверджена результатами цих досліджень.

На підставі аналізу літературних даних ми дійшли висновку, що найближчим аналогом в галузі нафтохімії, нафтохімічного синтезу та нафтопереробки є процес гідрокрекінгу нафти. Процес дозволяє підбором відповідних каталізаторів і параметрів технологічного режиму отримувати високий вихід широкого асортименту високоякісних компонентів палив і олив. За допомогою гідрокрекінгу можна одержувати значну кількість легких продуктів за використання як сировини важких нафтових дистилятів, важких нафт, нафтових залишків – малоцінних мазутів, а також відходів харчової галузі (олій після фритюру, тваринних жирів).

В. О. Бут,

аспірант

viacheslav.but@gmail.com

В. М. Сліденко

д-р. техн. наук, доц.

viktorslidenko@gmail.com

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ОСНОВНІ ПАРАМЕТРИ ЕЛЕКТРОГІДРАВЛІЧНОЇ ІМПУЛЬСНОЇ СИСТЕМИ ВПЛИВУ НА ПРИВИБІЙНУ ЗОНУ НАФТОВОЇ СВЕРДЛОВИНИ

Одним з ефективних методів підвищення дебіту нафтових свердловин є періодичне очищення привибійної зони нафтової свердловини від асфальтенів, парафінів та інших кольматантів. Частіше в якості пристроїв очищення застосовуються імпульсні методи [1].

В НТУУ "КПІ ім. Ігоря Сікорського" розроблені технології з використанням імпульсно-хвильових методів впливу на нафтову свердловину. Технології пройшли промислову апробацію на нафтових родовищах України та інших країн [2].

На рис. 1 наведена структурна схема електрогидравлічної імпульсної системи (ЕГІС).

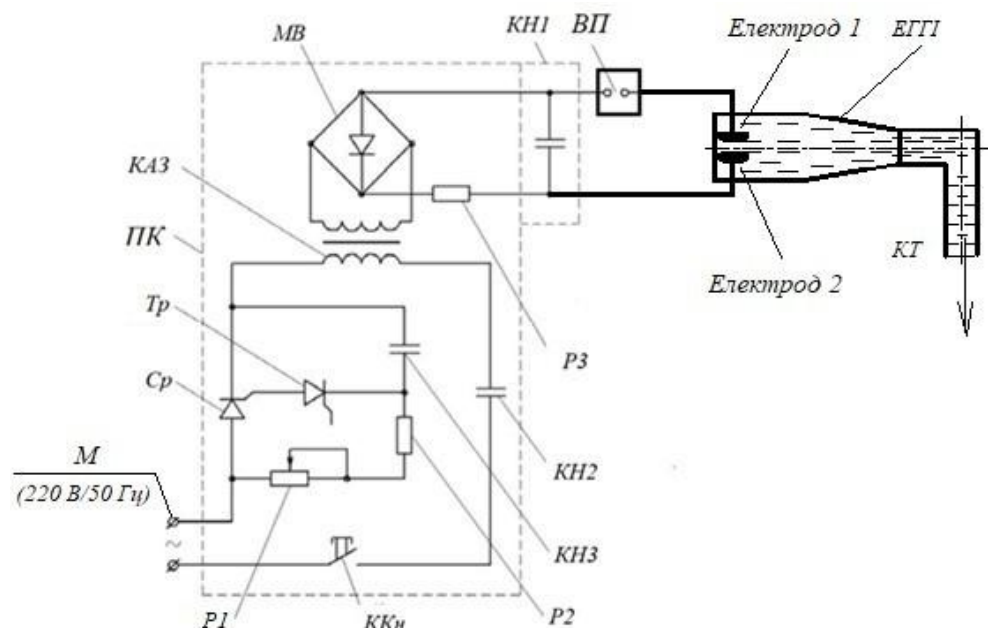


Рисунок 1 – Структурна схема електрогидравлічної імпульсної системи:

КН1, КН2, КН3 – конденсатори, ВП – вимірювальний прилад, МВ – міст випрямляючий, КАЗ – котушка авто запалювання, ПК – пульт керування, Тр – тиристор, Ср – симистор, М – мережа, Р1, Р2, Р3 – резистори, ККн – контактор кнопковий, ЕГГІ – електрогидравлічний генератор імпульсів, КТ – колона труб до свердловини

Електротехнічні компоненти, форма електродів, характеристики рідини та

полярність на електродах з високою напругою, впливають на напругу пробую в зазорі між електродами. Питоме значення напруги пробую може досягати 1 кВ/см і більше [3]. При цьому величина генерованого ЕГІС тиску гідроудару може досягати 60 МПа. Зміна напруги пробую пов'язана з різними механізмами, що керують високовольтним пробоем, що відбувається в між електродному проміжку

Передача імпульсу тиску, через трубопровідну систему в зону перфорації обсадної колони нафтової свердловини. окремо досліджувалась при проведенні промислових випробувань гідроімпульсної імпульсійної установки [1], що підтвердило можливість впливу на привибійну зону безпосередньо з поверхні.

Основні параметри електрогідравлічної системи наведені в табл.1.

Таблиця 1 – Значення основних параметрів ЕГІС

	Параметр	Значення
1	Напруга розряду, кВ	15
2	Відстань між електродами, мм	9..10
3	Об'єм рідини в розрядній камері, дм ³	3
4	Енергія розряду в імпульсі, кДж	1, 3
5	Число імпульсів за годину	50
6	Тиск гідроудару, МПа	до 60

Висновок

З наведеного випливає, що застосування електрогідравлічної імпульсної системи дозволить впливати імпульсами високої амплітуди тиску на привибійну зону нафтової свердловини безпосередньо з поверхні, що важливо для експлуатації високовольтної розрядної системи з наведеними в таблиці основними параметрами.

Список використаної літератури

1. Сліденко В.М., Лістовщик Л.К., Бут В.О. Адаптивна мехатронна система імпульсно- хвильової дії на гірський масив //Електромеханічні та енергетичні системи. Методи моделювання та оптимізації. Збірник наукових праць XVI Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених і спеціалістів (м. Кременчук 12–13 квітня 2018 р.) Кременчук, КрНУ, 2018. С. 27-28.
2. V. Slidenko, R. Karsey, S.Chernobay. Pulse-Jet Technology: Effective Technology nj Increase Oil and Gas Wells Production// Enhanced Oil Recovery. Your First Soucre of Indonesian Oil & Gas Information. January 2003 г. P. 23 – 26.
3. Антонець І.О. Імпульсне джерело живлення електрогідравлічної установки/ І.О. Антонець, О.М. Антонець, В.М. Глушенко// Вісник Національного технічного університету України "КПІ" Серія - Радіотехніка. Радіоапаратобудування. – 2006. - № 33. С.71-75

References

1. Slidenko V.M., Listovshchik L.K., But V.O. Adaptive mechatronic system of pulse-wave action on a mountain massif // Electromechanical and energy systems. Methods of modeling and optimization. Collection of scientific papers of the 16th International Scientific

and Technical Conference of Young Scientists and Specialists (Kremenchuk, April 12–13, 2018) Kremenchuk, KrNU, 2018. C. 27-28.

2. V. Slidenko, R. Karsey, S. Chernobay. Pulse-Jet Technology: Effective Technology nj Increase Oil and Gas Wells Production// Enhanced Oil Recovery. Your First Source of Indonesian Oil & Gas Information. January 2003 P. 23 - 26.

3. Antonets I.O. Impulse power source of the electro-hydraulic installation/ I.O. Antonets,

O.M. Antonets, V.M. Glushenko// Bulletin of the National Technical University of Ukraine "KPI" Series - Radio engineering. Radio equipment construction. – 2006. - No. 33. P.71-75.

РОБОТИЗОВАНА СИСТЕМА ГЕНЕРАЦІЇ ВОДНЮ ТА ПРОЄКТИ ЗАПРАВКИ НИМ АВТОТРАНСПОРТУ

Мета роботи. Метою цього дослідження є розробка та оптимізація технологій автоматизації процесів генерації водню та заправки водневого транспорту.

Об'єкт дослідження: вся система технологій, процесів і інфраструктури, які забезпечують виробництво, зберігання, транспортування і використання водню як енергетичного ресурсу для автотранспортного засобу.

Матеріал і результати дослідження. Водень (H_2) — це хімічний елемент, найпоширеніший у Всесвіті, але в природі він зазвичай зустрічається в складі сполук (наприклад, вода, метан). Для отримання чистого водню використовують спеціальні технології. Його цінність як енергоресурсу полягає в наступному:

- Висока енергоємність: При спалюванні водню виділяється велика кількість енергії, а єдиним побічним продуктом є вода.
- Екологічність: Водень може бути повністю "чистим" паливом, якщо його виробництво базується на відновлювальних джерелах енергії.
- Універсальність: Водень використовується в паливних елементах для транспорту, генерації електроенергії, зберігання енергії та у важкій промисловості.

На сьогоднішній день можна зустріти різні методи синтезування водню, залежно від процедури та сировини. На основі розглянутих промислових комплексів можна виділити три основні види водню, що отримують та використовують в промисловості:

Зелений водень – відновлювані джерела енергії та практично нульові викиди. Зелений водень виробляється шляхом електролізу шляхом розщеплення молекул води на окремі елементи. Під час цього процесу виробляються лише водень і кисень. Кисень може безпечно викидатися в атмосферу як побічний продукт. Електроліз потребує електричної енергії, виробленої за допомогою відновлюваних джерел, як-от вітрової та сонячної енергії у випадку зеленого водню. На додаток до електролізу, зелений водень також можна виробляти шляхом парової конверсії біометану та піролізу біогенної сировини. Зелений водень — це найчистіший спосіб виробництва водню з найменшими (близькими до нуля) викидами CO_2 .

Блакитний водень – паровий риформінг, уловлювання та зберігання вуглецю. Блакитний водень отримують шляхом розщеплення природного газу на водень і CO_2 , наприклад, за допомогою парової конверсії метану (SMR). CO_2 не викидається в атмосферу, а вловлюється в процесі і зберігається. Цей процес уловлювання та зберігання вуглецю (CCS) пом'якшує вплив на навколишнє середовище.

Сірий водень – виробляється з викопного палива. Сірий водень виробляється подібно до блакитного водню з викопного палива, наприклад вугілля або природного газу. Однак викиди вуглецю викидаються в атмосферу, що робить цю технологію менш безпечною для навколишнього середовища.

Роботизовані системи у водневій інфраструктурі. Роботизація впроваджується в усі ключові етапи водневої економіки:

- Генерація водню: Автоматизовані системи керують процесами електролізу або газифікації, забезпечуючи точність і контроль.

- Зберігання і транспортування: Роботи допомагають ефективно керувати високотисковими резервуарами, які використовуються для транспортування та зберігання водню.
- Заправка транспорту: На заправних станціях роботизовані маніпулятори з'єднують бак автомобіля з системою подачі водню, забезпечуючи швидкість і безпеку.

Виклики та перспективи. Хоча водневі технології мають значний потенціал, існують і певні перешкоди:

- Енергозатратність виробництва: Особливо для зеленого водню.
- Вартість інфраструктури: Створення мережі водневих станцій і резервуарів є дороговартісним.
- Технологічна складність: Роботизація вимагає впровадження передових сенсорів, штучного інтелекту та безпечних матеріалів.

Незважаючи на це, інтерес до водневої енергетики стрімко зростає. Провідні країни світу інвестують у розробку та впровадження таких технологій, адже водень розглядається як ключовий елемент енергетичного переходу до вуглецевої нейтральності.

Висновок. Водневі технології та роботизовані системи, які забезпечують їхню ефективність, є ключовими інструментами у глобальному переході до сталого енергетичного майбутнього. На тлі зростання попиту на чисту енергію, зменшення викидів вуглекислого газу та розробки інноваційних технологій водень займає центральне місце в енергетичній трансформації. Розвиток роботизованих систем у цій сфері відкриває нові можливості для підвищення ефективності, безпеки та доступності водневої інфраструктури.

Технологічний прорив у водневій енергетиці. Сучасні роботизовані системи, що автоматизують процеси генерації, зберігання та заправки водню, значно розширюють можливості його використання:

- Інновації у виробництві водню (зокрема зеленого водню) сприяють екологічності та енергоефективності. Використання роботів для управління електролізом і газифікацією дозволяє мінімізувати витрати та оптимізувати процеси.
- Роботизація заправних станцій робить їх швидшими, безпечнішими та зручнішими для транспорту.

Ці технології формують основу для інтеграції водню в транспортну інфраструктуру, промисловість і системи зберігання енергії.

Екологічні та соціальні переваги. Впровадження водневих технологій сприяє досягненню екологічних цілей:

- Зниження залежності від викопного палива та викидів парникових газів.
- Зменшення впливу транспорту на навколишнє середовище.
- Стимулювання розвитку "зеленої" енергетики, що сприяє формуванню екологічної свідомості серед населення.

Використання роботизованих систем також підвищує рівень безпеки завдяки зменшенню людського втручання у складні й небезпечні процеси.

Список використаної літератури

1. Al-Baghdadi, Maher. "An Overview of Hydrogen as an Alternative Fuel." Encyclopedia, 2020, Web.
2. Jankowski, Antoni, and Mirosław Kowalski. "Alternative fuel in the combustion process of combustion engines." Journal of KONBiN, vol. 48, no. 1, 2018, pp. 55-81.
3. Hydrogen services for clear future. TUV SUD. [Online]. URL: <https://www.tuvsud.com/en/themes/hydrogen>.
4. Pandey, Bhoopendra, et al. "Recent progress in thermochemical techniques to produce hydrogen gas from biomass: A state of the art review." International Journal of Hydrogen Energy, vol. 44, no. 47, 2019, pp. 384-415.

5. Dincer, Ibrahim, and Marc Rosen. *Hydrogen Energy: Challenges and Solutions for a Cleaner Future*. Elsevier, 2015.
6. Stiller, Christoph, et al. "Fuel cells: Technologies and applications for the hydrogen economy." *Annual Review of Chemical and Biomolecular Engineering*, vol. 12, 2021, pp. 123-145.
7. "Global Hydrogen Review 2023." International Energy Agency (IEA). [Online]. URL: <https://www.iea.org/reports/global-hydrogen-review-2023> (дата звернення 20.11.2023).
8. Thomas, Seth, et al. "Hydrogen Storage Technologies: New Perspectives and Materials for Future Energy Systems." *Nature Reviews Materials*, vol. 7, no. 1, 2022, pp. 1-18.
9. Eberle, Ulrich, et al. "Fuel cell electric vehicles and hydrogen infrastructure: Status 2020." *Energy & Environmental Science*, vol. 14, no. 2, 2021, pp. 850-887.

ЕФЕКТИВНІСТЬ УЛОВЛЕННЯ ВУГЛЕКИСЛОГО ГАЗУ У ВІДЦЕНТРОВОМУ АПАРАТІ

Вступ. Останні роки відзначаються зростаючою тенденцією переходу до низьковуглецевої енергетики – прагнення до зменшення викидів вуглекислого та інших парникових газів енергетичним обладнанням. Таким чином, розвиток енергетичних технологій у наш час спрямований на поєднання двох ключових аспектів – ефективності та екологічної безпеки. Це зобов'язує сучасні енергетичні установки не тільки забезпечувати високу енергетичну ефективність, але й мінімізувати викиди CO_2 , щоб зменшити негативний вплив на навколишнє середовище.

Останнім часом активно розвивається альтернативна енергетика, зокрема використання в якості палива біогазу. Біогаз в основному складається з метану та вуглекислого газу, причому частка вуглекислого газу може сягати 50%. Видалення CO_2 з біогазу до спалювання дозволяє підвищити теплотворну здатність палива, а при повному видаленні вуглекислого газу та інших домішок отримати чистий метан (біометан). Видалений CO_2 можна безпосередньо використовувати в харчовій промисловості та сільському господарстві або утилізувати для зменшення парникового ефекту.

Існують різні способи видалення вуглекислого газу, найбільш розповсюджені: мембрани та абсорбційні колони. Для підвищення ефективності абсорбційних колон процес можна реалізувати у відцентровому апараті [1]. У порівнянні із більш поширеними системами, відцентрова установка компактна, споживає мало енергії і має високий коефіцієнт масовіддачі.

Мета роботи. Розрахункове дослідження ефективності процесу уловлення вуглекислого газу у відцентровій установці.

Матеріал і результати досліджень. Досліджувана установка зображена на Рис. 1. З урахуванням геометричних та гідродинамічних параметрів установки та контактуючих речовин, було розрахунково досліджено об'ємний коефіцієнт масовіддачі $k_v a_e$, ефективну площу масообміну a_e , а також коефіцієнт масовіддачі газової фази k_y . У літературі розглянута велика кількість абсорбентів, що використовуються для уловлення CO_2 [2]. Одними із найбільш ефективних зазначені МЕА(моноетаноламін), РЗ(піперазин), NaOH.

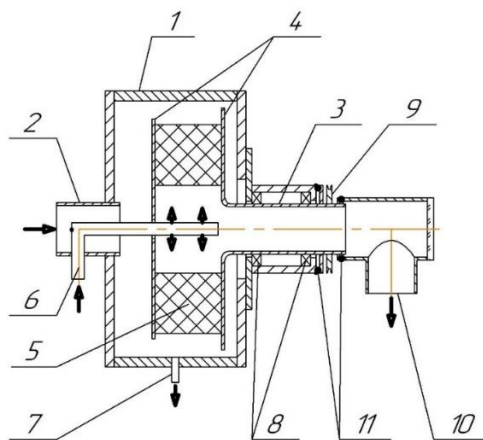


Рис. 1. Принципова схема відцентрового апарату для вловлювання CO_2

1 – корпус; 2 – подача газу; 3 – порожнистий вал; 4 – обертові диски; 5 – сітчаста насадка; 6 – подача рідини; 7 – канал для відведення рідини; 8 – підшипники; 9 – шків; 10

– відведення газу; 11 – ущільнення.

Методика розрахунку полягає у обчисленні відношення мольних часток CO_2 , використовуючи поширену у науковій літературі формулу для обчислення об'ємного коефіцієнту масовіддачі[3]:

$$\ln \frac{y_{\text{CO}_2}^{\text{BX}}}{y_{\text{CO}_2}^{\text{ВНХ}}} = \frac{k_y a_e \pi (r_2^2 - r_1^2) h}{G}, \quad (1)$$

де G – об'ємна витрата газу, $\text{м}^3/\text{хв}$; r_1, r_2 – внутрішній та зовнішній радіус пакування відповідно, м ; h – осьова довжина пакування, м ; y_{CO_2} – мольна частка CO_2 у газовій фазі.

Для обчислення об'ємного коефіцієнту масовіддачі, ефективної площі та коефіцієнт масовіддачі газової фази використовувались кореляції з експериментальних даних, що зазначені у науковій літературі[4].

Об'ємний коефіцієнт масовіддачі розраховувався як:

$$k_y a_e = 0,01081 Re_G^{1,0281} We_L^{0,09841} Ga^{0,09081} \quad (2)$$

де Re_G – число Рейнольдса для газової фази; We_L – критерій Вебера для рідкої фази; G – число Галілея.

Розрахунок ефективної площі масообміну:

$$a_e = 0,01081 Re_G^{0,0997} We_L^{0,06736} Ga^{0,0787} \quad (3)$$

Розрахунок коефіцієнту масовіддачі газової фази:

$$k_y a_e = 0,08827 Re_G^{0,03207} We_L^{0,03105} Ga^{0,01212} \quad (4)$$

Безрозмірні критерії обчислювались згідно із геометричними та гідродинамічними характеристиками відцентрової установки

Висновки. За результатами розрахунку ефективності масообміну у відцентровій установці можна зазначити, що відцентровий апарат зарекомендував себе як працездатну та перспективну технологія для уловлення вуглекислого газу, яка може стати гідною заміною традиційним технологіям. Можна відмітити, що значення відцентрового прискорення та об'ємної витрати газу значним чином впливає на масообмін. Збільшення зазначених величин призводить до зростання коефіцієнтів $k_y a_e$, a_e , та k_y , що можна трактувати як збільшення ефективності масопередачі.

Список використаної літератури:

1. K.P. Dhaneesh, Panneerselvam Ranganathan / A comprehensive review on the hydrodynamics, mass transfer and chemical absorption of CO_2 and modelling aspects of rotating packed bed // Separation and Purification Technology 295, 2022.
2. Wei Zhang, Peng Xie, Yuxing Li, Lin Teng, Jianlu Zhu / Hydrodynamic characteristics and mass transfer performance of rotating packed bed for CO_2 removal by chemical absorption // Journal of Natural Gas Science and Engineering 79, 2020.
3. Majeed Jasim, Dag Eimer, Gary Rochelle / Carbon Dioxide Absorption and Desorption in Aqueous Monoethanolamine Solution in a Rotating Packed Bed // Industrial and Engineering Chemistry Research 46, Vol. 46, № 9, 2007.
4. Youzhi Liu, Fagfang Zhang, Deyin Gu, Guisheng Qi, Weizhou Jiao, Xiaoyan Chen / Gas-Phase Mass Transfer Characteristics in a Counter Airflow Shear Rotating Packed Bed // The Canadian Journal of Chemical Engineering, Vol. 94, 2016.

Бобер Володимир Сергійович, студент 2 курсу магістратури,
Яковлєва Анна Валеріївна, Доц., ст. досл., к.т.н.,
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

СУЧАСНІ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ПЕРЕРОБКИ ВТОРИННОЇ СИРОВИНИ ДЛЯ ОДЕРЖАННЯ МОТОРНИХ ПАЛИВ

Вступ

Переробка вторинної сировини для одержання моторних палив є однією з найбільш актуальних і перспективних тем сучасної технології переробки відходів та енергетики. У глобальному контексті постійне зростання обсягів відходів, що утворюються в результаті промислової діяльності, споживання товарів та автомобільного транспорту, ставить перед людством важливе завдання — ефективно використання цих відходів як джерела енергії. Традиційні методи утилізації, такі як спалювання або захоронення відходів, часто призводять до забруднення навколишнього середовища. Тому розробка нових екологічно чистих і економічно вигідних способів переробки вторинної сировини в моторні палива є надзвичайно важливою для сталого розвитку.

Перспективні методи переробки включають в себе різноманітні технології, такі як гідрогенізація, піроліз, біопереробка та інші, які дозволяють з мінімальним впливом на екологію перетворювати відходи в паливо високої якості. Водночас, ці методи відкривають нові можливості для створення альтернативних джерел енергії, знижуючи залежність від традиційних викопних ресурсів, таких як нафта та газ.

Основна частина

Переробка вторинної сировини для одержання моторних палив є важливим кроком у напрямку енергетичної стійкості та екологічної безпеки. Зі збільшенням обсягів відходів у світі, зростає потреба в ефективних і екологічно безпечних методах їх переробки. Виробництво моторних палив з вторинної сировини відкриває нові можливості для використання органічних та синтетичних відходів у якості джерела енергії. Серед найбільш перспективних методів переробки можна виділити наступні: гідрогенізація, піроліз, газифікація, біопереробка.

Гідрогенізація. Гідрогенізація — це процес оброблення органічних матеріалів воднем за високих температур і тисків, що дозволяє отримати рідкі вуглеводневі сполуки, подібні до нафти. Цей метод зазвичай використовується для переробки органічних відходів, таких як пластмаси, гума, біомаса.

Гідрогенізація дозволяє отримувати палива, які за властивостями є подібними до традиційних нафтопродуктів, мають високу теплоту згорання і можуть використовуватися в двигунах внутрішнього згорання. Однак процес характеризується високою енергоємністю та вартістю, оскільки потребує досягнення високих температур і тиску, що збільшує витрати на енергопостачання та спеціалізоване обладнання.

Піроліз. Піроліз — це термічний розклад органічних матеріалів, основною умовою якого є відсутність кисню. У результаті піролізу утворюються газоподібні, рідкі та тверді продукти, включаючи синтетичне паливо, яке можна використовувати для двигунів.

Піроліз забезпечує високу ефективність переробки різноманітних органічних матеріалів, таких як пластик, гума та біомаса, при цьому енергія вивільняється без

доступу кисню, що знижує викиди шкідливих газів в атмосферу. Однак для контролю температури та тиску потрібне спеціальне обладнання, що може бути дорогим.

Продукти піролізу вимагають подальшої очистки та обробки перед використанням як моторне паливо, а процес може супроводжуватися утворенням токсичних газів, що потребує застосування додаткових технологій для їх очищення.

Газифікація. Газифікація — це процес перетворення органічної сировини в газоподібне паливо, таке як синтетичний газ (синтез-газ), який складається переважно з водню, метану та вуглекислого газу. Для процесу газифікації використовують різні типи відходів, у тому числі біомасу та пластикові матеріали.

Газифікація дозволяє отримати синтетичний газ, який можна використовувати для виробництва електричної енергії або переробки в моторне паливо, і ефективно працює з низькокалорійними відходами, при цьому зменшується обсяг твердих відходів, перетворюючи їх на енергію. Однак процес потребує значної кількості енергії на початкових етапах і спеціалізованого обладнання. Синтез-газ вимагає додаткового очищення перед використанням у двигунах або для виробництва палива, а також не всі відходи, зокрема ті, що мають високий вміст води чи токсичні домішки, підлягають ефективній газифікації.

Біоперероблення. Біоперероблення полягає у використанні органічних відходів, таких як сільськогосподарська біомаса, харчові відходи та інші біологічно розкладні матеріали для отримання біоетанолу, біодизелю або біогазу.

Біопаливо є екологічно чистим, оскільки його використання не збільшує викиди парникових газів, а також є відновлюваним ресурсом, який можна застосовувати в існуючих транспортних системах без значних змін інфраструктури. Однак виробництво біопалива може призвести до конкуренції за землю з виробництвом їжі, що підвищує ціни на продукти. Крім того, існують проблеми з ефективністю переробки низькокалорійних відходів і потреба в значних обсягах сировини. Інтенсивне використання земель для вирощування сировини може також негативно впливати на навколишнє середовище.

Таблиця 1

Переваги та недоліки технологій переробки вторинної сировини

Переваги	Недоліки
Гідрогенізація	
- Покращує стабільність та термін зберігання жирів. - Знижує вміст транс жирів у деяких випадках. - Підвищує технологічні властивості при смаженні та випічці.	- Може утворювати шкідливі транс жири. - Знижує корисні властивості жирних кислот. - Можливі токсичні побічні продукти. - Вимагає енерговитрат та спеціального обладнання.
Піроліз	
- Перетворює відходи в енергію та корисні продукти (твердий залишок, рідке паливо, газ). - Знижує обсяг відходів, сприяючи їх утилізації.	- Високі енерговитрати на запуск та контроль процесу. - Можливе утворення токсичних газів і шкідливих речовин. - Потребує спеціального

- Може виробляти відновлювані джерела енергії.	обладнання та технологій. - Продукти піролізу можуть бути непостійними за якістю.
Газифікація	
- Перетворює твердий вугілля або біомасу в більш чисте та зручне для використання синтетичне паливо. - Може виробляти синтез-газ для промислового використання (енергія, хімічні продукти).	- Високі капітальні та експлуатаційні витрати на обладнання. - Обмежена ефективність при низьких концентраціях вугілля або біомаси.
Біоперероблення	
- Виробляє відновлювані джерела енергії (біогаз, біоетанол). - Підтримує сталий розвиток та економіку замкнутого циклу.	- Потребує значної кількості органічної сировини. - Може мати обмежену ефективність у великих масштабах.

Перспективи розвитку технологій переробки вторинної сировини:

Перспективи досліджень щодо удосконалення технологій модернізації електромеханічної системи технологічного процесу гідрогеізації вторинної сировини для отримання моторного палива зосереджуються на підвищенні ефективності та зниженні енергоємності процесу. Основними напрямками є розробка нових матеріалів для каталітичних систем, оптимізація температурних і тискових умов, а також удосконалення електронних та автоматизованих систем управління для більш точного контролю процесів. Ці інновації можуть значно знизити витрати та покращити ефективність переробки вторинної сировини, сприяючи виробництву високоякісного моторного палива.

Перспективи переробки відпрацьованих харчових олій в моторне паливо полягають у подальшому вдосконаленні процесів очистки, гідрогеізації та очищення кінцевих продуктів для підвищення ефективності і якості палива. Розвиток нових каталізаторів для гідрогеізації, інтеграція поновлюваних джерел енергії для зменшення енергоємності процесу та впровадження автоматизованих систем управління можуть значно знизити витрати і покращити стабільність виробництва. Це дозволить не лише зробити процес більш економічним, але й знизити екологічний вплив, забезпечуючи сталість використання відпрацьованих олій як ресурсу для виробництва альтернативного палива.

Висновки

Переробка вторинної сировини для одержання моторних палив має величезний потенціал для зменшення впливу на навколишнє середовище та зниження залежності від традиційних викопних ресурсів. Кожен з методів — гідрогеізація, піроліз, газифікація, біопереробка — має свої переваги та недоліки. Вибір оптимального методу залежить від типу сировини, економічних і екологічних умов, а також технологічних можливостей. Перспективні технології мають потенціал значно змінити ландшафт енергетики, знижуючи викиди парникових газів і створюючи стійкіші системи енергопостачання.

РОЗДІЛ 4: НАУКОВІ ДОСЛІДЖЕННЯ МОЛОДИХ ВЧЕНИХ

УДК 690.9

Скворцов Д.В.,
Земський Д.Р., доцент
Український державний університет науки та технологій

НЕЛІНІЙНІ ПРОЦЕСИ В СИСТЕМАХ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

Вступ. Сучасний етап розвитку суспільства супроводжується значним зростанням енергоспоживання в різних сферах, включаючи побут, промисловість та інші аспекти людської діяльності. Це, в свою чергу, веде до збільшення використання обладнання, яке генерує гармоніки струму і напруги, що негативно впливає на якість електричної енергії. Несинусоїдальні струми та напруги виникають через експлуатацію нелінійних пристроїв, таких як трансформатори, обертові електричні машини, сталеплавильні печі та компоненти напівпровідникової техніки, що використовуються в персональних комп'ютерах, блоках живлення та електричному транспорті.

Вплив гармонік на електричні системи значний: вони можуть викликати перешкоди в роботі керуючих пристроїв, породжувати телефонні перешкоди, а також призводити до додаткових втрат в обладнанні. Це, в свою чергу, скорочує термін його експлуатації, зокрема через ферорезонансні явища та перегрів. В умовах зростаючих вимог до якості електричної енергії стає вкрай важливим розробляти нові методи аналізу та управління енергетичними процесами, щоб забезпечити стабільність і ефективність роботи сучасних електричних систем.

Мета роботи. Метою даного дослідження є процес моделювання системи електропостачання із використанням миттєвих характеристик нелінійного навантаження. Моделювання нелінійного навантаження може бути складною задачею через різноманітність типів такого обладнання. Тому доцільним є застосування універсальної методики, яка б дозволяла визначати параметри об'єкту (об'єктів) без втручання у його (їх) конструкцію. Тобто, розглядати об'єкт або їх сукупність як «чорну скриню», а потрібні для аналізу якості електроенергії параметри «скрині» отримати за вхідними електричними величинами.

Матеріал і результат дослідження. Визначення миттєвих характеристик електровозів і плечей навантаження в системі електропостачання змінного струму на основі осцилограм, що отримані шляхом вимірювань миттєвих значень напруги та струму, дозволяє детальніше зрозуміти динаміку енергетичних процесів. Це, в свою чергу, допомагає в аналізі якості електричної енергії, визначенні характеристик навантаження, що є важливими для виявлення та усунення можливих проблем у системах, таких як спотворення напруги, струму та ферорезонансні явища. Виявлення таких проблем є критичним для підтримки безперебійної роботи електричних систем, оскільки їх наявність може призводити до зниження ефективності, перегріву або навіть виходу з ладу обладнання.

Отримані характеристики можуть бути використані для покращення управління енергетичними потоками, що підвищить ефективність електропостачання. Наприклад, точні дані про миттєві значення напруги та струму (див. рис. 1) можуть бути використані для налаштування режимів роботи електричних машин, оптимізації навантаження і зменшення втрат енергії. Це може призвести до зниження експлуатаційних витрат та збільшення терміну служби обладнання.

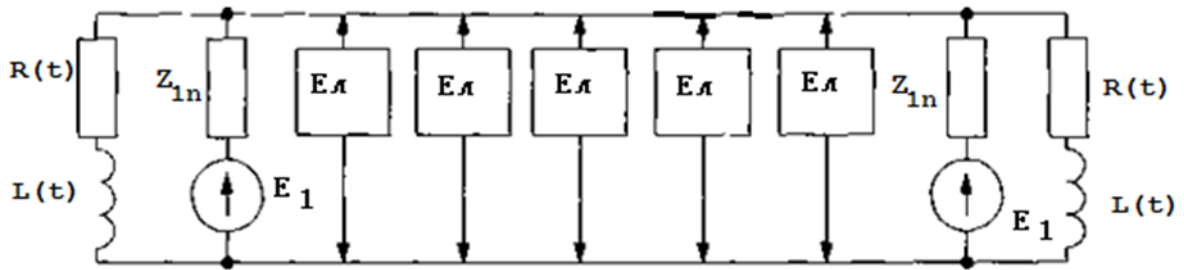


Рисунок 1. Розрахункова схема заміщення тягової мережі змінного струму при врахуванні впливу навантаження суміжних фідерних зон на напруги шин тігових підстанцій.

Висновки. Таким чином, актуальність дослідження підкреслює необхідність розробки нових підходів, що можуть бути використані для визначення миттєвих характеристик електричних кіл.

Список використаних джерел:

1. Бородулін Б.М., Герман ЛА, Миколаїв ГА Конденсаторні установки електрифікованих залізниць. - М.: Транспорт, 1983, 350 с.
2. Герман Л. А., Серебряков АС. Регульовані установки ємнісний компенсації в системах тягового електропостачання залізниць. Навчальний пос. - М.: Навчально-методичний центр по утворенню на залізничному транспорті, 2015 року, 315 с.
3. Косарев АБ. Основи теорії електромагнітної сумісності систем тягового електропостачання змінного струму. - М.: ІНТЕКСТ, 2004, 272 с.
4. Косарев АБ., Косарев Б.І., Сербиненко Л.В. Електромагнітні процеси в системах електропостачання залізниць змінного струму. - М.: ВМГ-Принт, 2015 року, 349 с.
5. Міщенко, Т. М. Теоретичні аспекти та методи ідентифікації параметрів пристроїв системи електричної тяги. Метод миттєвих потужностей; паралельне з'єднання елементів / Т. М. Міщенко // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В.Лазаряна – Д.: ДНУЗТ, 2012. – Вип. 41. С.86 – 91.
6. Босий, Д.О. Імітаційне моделювання системи тягового електропостачання для дослідження показників якості електричної енергії на тягових підстанціях змінного струму / Д.О. Босий // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна – Д.: ДНУЗТ, 2008. – Вип. 24. С.49 – 54.

Волошко А.В., д-р.техн.наук, проф.,
Філянін Д.В., канд.тех.наук, ст. викл.,
Ляхова К.М., магістрант

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

СИГНАТУРА ДВОФАЗНИХ НЕБАЛАНСНИХ ПРОВАЛІВ НАПРУГИ В ТРИФАЗНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ

Анотація. В статті запропоновано підхід до ідентифікації двофазних небалансних провалів напруги в трифазній електричній мережі. На першому етапі, за рахунок застосування вейвлет - перетворення до сигналу напруги електричної мережі, визначається наявність спотворення якості електричної енергії, його тривалість та час його початку та закінчення. На другому етапі проводиться аналіз сигнатури векторів напруги в комплексній площині за методологією просторового вектору та напруги нульової послідовності. Сигнатура просторового вектору складається з позитивних та негативних векторів кутової частоти, а потім слідує за еліпсом у комплексній площині. Показано, що різні типи провалів ідентифікуються за допомогою характеристик еліпсу та напруги нульової послідовності.

Ключові слова: якість електричної енергії, двофазні провали напруги, просторовий вектор.

Abstract. This paper proposes an approach to identify two-phase unbalanced voltage sags in a three-phase electrical network. At the first stage, by applying the wavelet transform to the voltage signal of the electrical network, the presence of power quality distortion, its duration, and the time of its beginning and end are determined. At the second stage, an analysis of the voltage vector signature in the complex plane is carried out using the space vector and zero-sequence voltage methodology. The space vector signature consists of positive and negative angular frequency vectors, followed by an ellipse in the complex plane. It is shown that different types of sags can be identified using the characteristics of the ellipse and the zero-sequence voltage.

Keywords: power quality, two-phase voltage sags, space vector.

Вступ. Якість електричної енергії (ЯЕЕ) - це сукупність властивостей електричної енергії відповідно до встановлених стандартів, які визначають ступінь її придатності для використання за призначення. Відповідно до положень пункту 11.4.6 глави 11.4 розділу XI Кодексу систем розподілу, затвердженого постановою НКРЕКП від 14.03.2018 № 310, «... параметри ЯЕЕ в точках приєднання споживачів в нормальних умовах експлуатації мають відповідати параметрам, визначеним у ДСТУ EN 50160:2014: Характеристики напруги електропостачання в електричних мережах загального призначення (далі – ДСТУ EN 50160:2014)» [1].

Насичення різного роду пристроїв силової електроніки в Енергосистемі призводить до необхідності впровадження методів та засобів не тільки виявлення наявності спотворень, а і ліквідації їх впливу на електрообладнання.

Одним із параметрів ЯЕЕ є провали напруги, які мають найбільший вплив на таке обладнання. Для підтримання показників ЯЕЕ (провалів напруги) належного рівня необхідне впровадження системи їх моніторингу, яка б включала в собі методи їх виявлення, ідентифікації та класифікації. Завдяки своєчасній ідентифікації провалів напруги обслуговуючий персонал отримує інформацію про причини провалу, місце несправності в електричній мережі.

Мета роботи. Розробка модифікованого методу виявлення та ідентифікації типів провалу напруги з розрахунком їх основних характеристик.

Матеріал і результати досліджень. Модифікований метод виявлення та ідентифікації складається із двох етапів. На першому етапі за допомогою методу вейвлет-перетворення напруги електричної мережі [2] визначається наявність провалу напруги, час його початку та закінчення. Ідентифікація типу провалу проводиться на другому етапі за методологією просторового вектору (методу Кларка) [3]. До двофазних провалів напруги в трифазних мережах відносяться провали типу С, Е, G.

Провал типу С. Провал типу С призводить до того, що дві фазні напруги змінюються лише

вздовж уявної осі (як за величиною, так і за кутом).

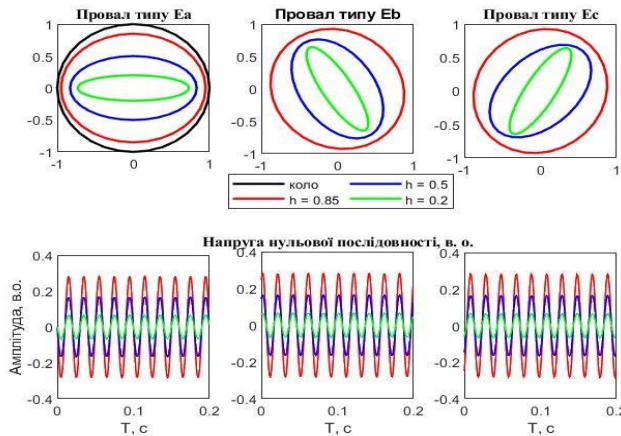


Рисунок 1 – Просторові вектори провалу типу E : E_a – фаза A , E_b – фаза B , E_c – фаза C

Як впливає з рис. 1, мала вісь еліпса залежить від глибини провалу напруги при $h = 0.85$ значення $r_{\min} = 0.15$, а при $h = 0.2$ значення $r_{\min} = 0.8$ для всіх фаз. Кут нахилу еліпса фази A - $\theta_A = 0^\circ$, а фази B - $\theta_B = -60^\circ$ і фази C - $\theta_C = -120^\circ$. Із рис. 1 очевидно, що $R_{\max}$ для всіх фаз електричної мережі залежить від глибини провалу напруги.

Результати проведених

досліджень залежності характеристик просторового вектору від глибини провалів напруги двофазних небалансних провалів напруги в електричній мережі показали наступне: три типи двофазних провалів напруги в електричній мережі (C , E , G) можна ідентифікувати завдяки двом параметрам:

- напруга нульової послідовності для провалу типу E і $u_0(t) = 0$ для провалів типу C і G ;
- велика вісь еліпса, $R_{\max} = U_{\text{ном}}$ для провалу типу C і $R_{\max} < U_{\text{ном}}$ для двох інших типів провалу напруги – E , G .

Висновки.

1. Для двофазних провалів напруги типу C та G змінна h є функцією зсуву фазового кута та падіння фаз напруги в місці несправності. Що означає неправильне відображення глибини провалу.
2. Просторовий вектор і напруга нульової послідовності можуть бути застосовані для ідентифікації провалів напруги. Крім того, можна відзначити, що малу вісь еліпса $r_{\min}$ і величину напруги нульової послідовності можна використовувати для виявлення виникнення провалу напруги (мала вісь еліпса менша за номінальну напруги для всіх типів провалів від A до G).

Література.

1. ДСТУ EN 50160:2014 Характеристики напруги електропостачання в електричних мережах загальної призначеності (EN 50160:2010, IDT).
2. Волошко А.В. Узагальнений ідентифікатор наявності спотворень якості електричної енергії. Технічна електродинаміка. 2022, №6, С. 72 - 76. <https://doi.org/10.15407/technded2022.06.072>
3. Vanya Ignatova, Pierre Granjon, Seddik Bacha. Space vector method for voltage dips and swells analysis. IEEE Transactions on Power Delivery, 2009, 24 (4), pp.2054 - 2061. ff10.1109/TPWRD.2009.2028787ff. fffal-00108164v1f.

РОЛЬОВІ МОДЕЛІ УПРАВЛІННЯ МІКРОМЕРЕЖАМИ ЕНЕРГЕТИЧНИХ КООПЕРАТИВІВ

Вступ. У серпні 2024 року Верховною Радою України було прийнято зміни до Закону України “Про ринок електричної енергії” [1] якими визначено, зокрема, терміни “мікромережа”, “користувач мікромережі”, “острівний режим мікромережі”. Проте, ще на етапі отримання законопроекту Верховною Радою науково-експертним висновком [2] до вищезгаданого закону було висунуто низку зауважень. Зокрема, експерти зазначили, що запропоновані нові терміни, якими пропонувалось доповнити Закон [1] використовуються лише у якості визначень і далі по тексту Закону взагалі не згадуються. Крім того, у законодавчому вимірі немає загально визнаного розуміння того, наприклад, що є “група взаємопов’язаних навантажень” або “здатність мікромережі працювати паралельно з ОЕС України”, а також механізмів її реалізації. Отже, постає актуальним питання дослідження можливих моделей управління мікромережами в рамках національного законодавчого простору.

Метою досліджень є розробка рольових моделей управління мікромережами в рамках національного законодавства України.

Матеріал і результати досліджень. Сьогодні в науковій літературі виділяють три бізнес-моделі управління мікромережами, а саме: модель монополії оператора системи розподілу (*Distribution System Operator Monopoly Model*, DSOMM), консорціум просюмерів (*Prosumer Consortium*, PC) та модель вільного ринку (*Free Market Model*, FMM) [3, с.2]. Пропонується розглянути ці бізнес-моделі в контексті національного нормативно-правового забезпечення. Рольові моделі DSOMM (де оператором мікромережі є оператор системи розподілу, ОСР) та FMM схожі на рольову модель загального ринку електричної енергії. Саме тому пропонується детальніше дослідити управління PC на основі законодавчого регулювання в Україні процесів утворення і функціонування енергетичних кооперативів.

Модель управління мікромережами PC передбачає створення юридичного об’єднання споживачів, виробників і операторів установок зберігання енергії (ОУЗЕ) та передачу управління мікромережею агрегатору. На відміну від DSOMM, де ОСР має значний рівень монополії, у PC вагому роль відіграють саме виробники, споживачі (зокрема, активні користувачі) та ОУЗЕ. Агрегатор здійснює діяльність, яка полягає в об’єднанні одиниць агрегації (генерування, навантаження та/або накопичення / зберігання) з метою закупівлі / продажу електричної енергії, постачання послуг балансування (ПБ) та/або допоміжних послуг (ДП). Відповідно до ч.2 ст.30² Закону України “Про ринок електричної енергії” агрегатор може агрегувати одну або декілька одиниць агрегації [1]. Активні споживачі здебільшого переслідують дві головні мети: максимізація прибутку шляхом продажу електричної енергії, виробленої власними генерувальними установками, або ж самозабезпечення своїх потреб. Виробники та ОУЗЕ можуть мати також два варіанти: або надавати право розпоряджатися виробленою / накопиченою електричною енергією агрегатору і вже він буде на власний розсуд її продавати та/або постачати ПБ та/або ДП. Інший варіант полягає в тому, що виробники та ОУЗЕ можуть самостійно продавати власну вироблену / накопичену електроенергію в ОРЕ та/або постачати послуги на балансувальному ринку (БР) та/або на ринку допоміжних послуг (РДП).

Виходячи з цього пропонується в межах управління мікромережею за моделлю PC створювати щонайменше дві агреговані групи (рис. 1). Перша агрегована група орієнтується на максимізацію прибутку, а отже виробники, споживачі та ОУЗЕ цілком покладаються на агрегатора та передають йому право розпоряджатися електричною енергією, що виробляється та/або зберігається учасниками, з метою одержання прибутку. Друга агрегована група орієнтується на максимальне забезпечення своїх потреб (для споживачів), а відносно виробників чи ОУЗЕ – на виконання попередньо обумовлених зобов’язань щодо продажу електричної енергії чи постачання ПБ та/або ДП, а надлишками електричної енергії можуть розпоряджатися на власний розсуд. Відповідно, виходячи з цілей учасників в конкретний період часу вони можуть входити та виходити з певної агрегованої групи,

делегуючи право на розпорядження електричною енергією, що була вироблена власними генерувальними установками та/або збережена в УЗЕ або ж розпоряджатися нею самостійно.

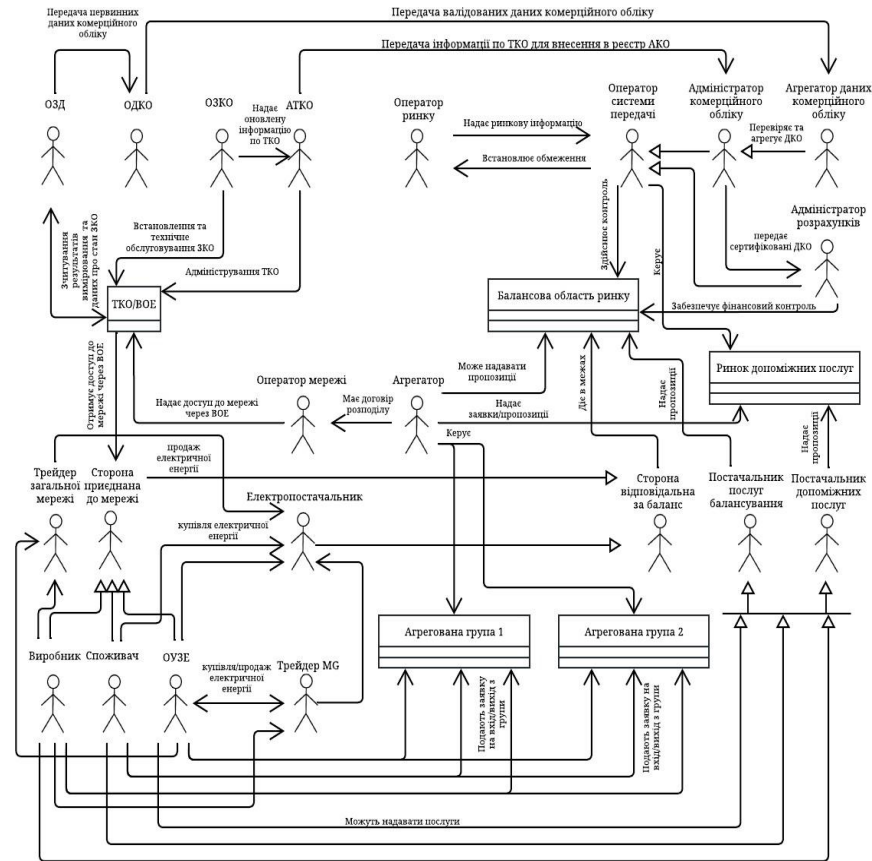


Рисунок 1 — Рольова модель управління мікромережею РС / прибуткового енергетичного кооперативу

Результати дослідження особливостей національної законодавчої бази стосовно енергетичних кооперативів, а саме: можливість їхнього утворення відповідно до Закону України “Про кооперацію” [4] (виключно неприбуткові кооперативи) та Закону України “Про споживчу кооперацію” [5] (можливий варіант отримання прибутку), обумовлюють необхідність розробки двох різних рольових моделей управління їхніми мікромережами. У випадку прибуткового енергетичного кооперативу доцільною бачиться модель РС. Що ж стосується неприбуткового кооперативу, то доцільно передбачити можливість закупівлі електричної енергії для споживача та ОУЗЕ у електропостачальника із загальної мережі (наприклад, коли обсяг генерації в межах мікромережі є недостатнім). Також варто передбачити роль трейдера, що дозволить виробникам та ОУЗЕ мікромережі продавати електричну енергію до загальної мережі (рис. 2).

Наявність ролей електропостачальника і трейдера всередині мікромережі є недоцільною через те, що споживачі можуть напряму обмінюватись електричною енергією з метою досягнення цілей кооперативу. Враховуючи те, що неприбутковий енергетичний кооператив не має на меті отримання прибутку, то можна стверджувати, що головною метою такого енергетичного кооперативу є надійне забезпечення споживачів електричною енергією, яку вироблено власними генерувальними установками.

Відповідно до ч.7-9 ст.58¹ Закону України “Про ринок електричної енергії” [1] активні споживачі (зокрема, енергетичні кооперативи) мають право приєднувати до власних мікромереж генерувальні установки та УЗЕ, що належать третім особам з метою подальшого викупу всього виробленого ними обсягу електричної енергії. При цьому продаж електричної енергії, що вироблена генерувальними установками третіх осіб та/або відпущена з УЗЕ за умови приєднання їх до мереж активного споживача не вважається постачанням електричної енергії в розумінні Закону України “Про ринок електричної енергії”, а отже не потребує отримання ліцензії за умови не перевищення встановленої потужності приєднаних до мікромережі активного споживача генерувальних установок

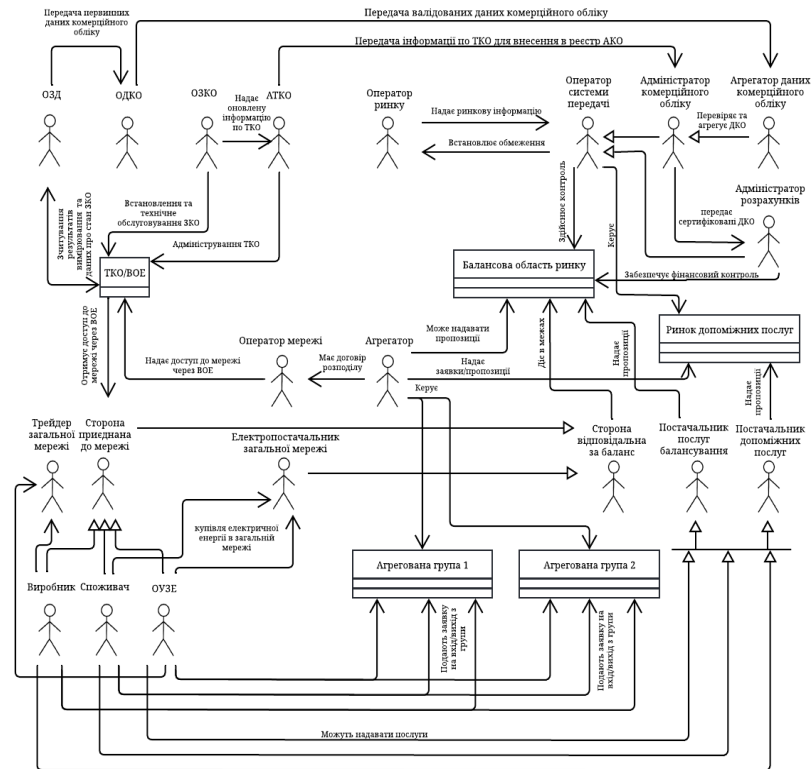


Рисунок 2 — Рольова модель управління мікромережею неприбуткового енергетичного кооперативу

Надлишки, які не було використано активним споживачем, продаються на ринку електричної енергії за механізмом самовиробництва. Що стосується європейського законодавства, то у п.43 Директиви 2019/944 вводиться таке поняття як “спільне використання електричної енергії” (*“Community energy offers an inclusive option for all consumers to have a direct stake in producing, consuming or sharing energy”*) [6]. Під спільним використанням електричної енергії, розуміється обмін електроенергією, що вироблена генерувальними установками в межах енергетичної спільноти. Крім того, п.46 Директиви 2019/944 дозволяє обмінюватись електроенергією не знаходячись в безпосередній фізичній близькості до генерувальної установки [6], але варто зазначити, що у такому випадку енергетичну спільноту не можна вважати мікромережею.

Висновки. Розроблені рольові моделі управління мікромережами враховують особливості національної законодавчої бази щодо моделей мікромереж таких як прибуткові та неприбуткові енергетичні кооперативи. Проте варто зазначити, що наявні численні невизначеності стосовно енергетичних кооперативів, утворення і діяльність яких сьогодні регулюється на основі застарілої законодавчої бази, що стосується різних кооперативів (виробничих, обслуговувальних, споживчих).

Список використаних джерел

1. Про ринок електричної енергії: Закон України від 13 квіт. 2017 р. № 2019. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2019-19#Text> (дата звернення: 20.05.2024).
2. Висновок на проект Закону України “Про внесення змін до деяких законів України щодо врегулювання окремих питань використання термінології у сфері впровадження “розумних мереж”. URL: <https://itd.rada.gov.ua/billInfo/Bills/pubFile/2283863> (дата звернення: 20.05.2024)
3. Behrendt, J. (2023). Microgrids and EU law: Three Microgrid models to solve one regulatory puzzle, Energy Policy, Elsevier, vol. 177(C). URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030142152300068X>
4. Про кооперацію: Закон України від 10 лип. 2003 р. № 1087. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1087-15#Text> (дата звернення: 25.05.2024).
5. Про споживчу кооперацію: Закон України від 10 квіт. 1992 р. № 2265. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2265-12#Text> (дата звернення: 25.05.2024)
6. Про спільні правила внутрішнього ринку електроенергії та внесення змін до Директиви 2012/27/ЄС: Директива Європейського парламенту і Ради (ЄС) 2019/944 від 05 черв. 2019 р. URL: <https://energysecurityua.org/ua/brify/dyrektyva-yes-2019-944-yevropeyskoho-parlamentu-i-rady-vid-05-cherwnia-2019-roku/> (дата звернення: 20.10.2024).

Вірик А.О., магістр
Находов В.Ф., д-р техн. наук, доц
 Навчально-науковий інститут енергозбереження та енергоменеджменту
 Національний технічний університет України
 «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Україна

ОПТИМІЗАЦІЯ ВЗАЄМОДІЇ УЧАСНИКІВ БАЛАНСУЮЧОЇ ГРУПИ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ УПРАВЛІННЯ БАЛАНСОМ

Вступ Оптимізація взаємодії учасників балансууючої групи є ключовою через зростання частки відновлюваних джерел, децентралізацію виробництва та вимоги до стабільності енергосистеми, що особливо актуально в умовах пошкодження інфраструктури в Україні. Дослідження фокусується на порівнянні моделей розподілу витрат на компенсацію небалансів: пропорційно до абсолютних похибок прогнозів, пропорційно та обернено пропорційно з урахуванням характеру небалансів учасників та групи в цілому, а також через штрафи та винагороди. Використання комплексного підходу дозволить знайти оптимальний баланс між стабільністю роботи групи і зниженням витрат учасників на компенсацію, сприяючи гнучкішому управлінню і справедливості розподілу витрат між учасниками.

Мета роботи Порівняння та обґрунтування ефективних механізмів взаємодії учасників балансууючої групи для оптимізації витрат на компенсацію небалансів та підвищення стабільності енергосистеми.

Матеріал і результати дослідження

Відповідно до умов укладених договорів, учасники балансууючої групи зобов'язані надати оператору групи погодинні графіки заявлених обсягів споживання та генерації електричної енергії за 5 днів до початку нового розрахункового місяця. Ці графіки необхідні для визначення обсягів закупівлі базового навантаження у основних оптових продавців електричної енергії, таких як ПРАТ «УКРГІДРОЕНЕРГО», АТ «НАЕК ЕНЕРГОАТОМ» та ДП «ГАРАНТОВАНИЙ ПОКУПЕЦЬ». Відповідна закупівля здійснюється через аукціонний функціонал, який надає ТОВ «Українська енергетична біржа». Цей процес є критично важливим для забезпечення стабільного фінансового положення роботи групи та точного балансування попиту та пропозиції в енергосистемі, оскільки погодинні графіки є основою для планування купівлі електричної енергії та визначення необхідних резервів. Вчасне подання таких даних дозволяє мінімізувати витрати на купівлю електричної енергії на інших сегментах ринку. Заявлений обсяг учасників, що перевищує обсяг закупівлі базового навантаження у оптових продавців докуповується на РДН, ВДР або у трейдерів які забезпечують перепродаж обсягів електричної енергії згідно двосторонніх договорів. Коригування заявлених обсягів протягом розрахункового місяця може здійснюватися учасником кожного дня до 17:00 на Д+2, що дає можливість учасникам адаптувати свої плани до змінних умов ринку [2]. Взаємодія між усіма учасниками групи є критично важливою для забезпечення стабільності енергетичної системи та підтримки балансу між виробництвом і споживанням електричної енергії в середині групи. Графічно зобразимо графік закупівлі балансууючої групи та базового навантаження на рисунку 1.

Відсоток небалансу розраховується як різниця між потенційною вигодою на ринку «на добу наперед» (РДН) та витратами/надходженнями від небалансів. Цей відсоток відображає додаткові витрати, які учасник балансууючої групи несе через відхилення від заявлених обсягів електроспоживання чи генерації [2-3]. Зі збільшенням небалансу, ці витрати пропорційно зростають, впливаючи на кінцеву вартість електричної енергії за 1 кВт*год для учасника, що дозволяє враховувати небаланси при визначенні тарифів для кінцевих споживачів.

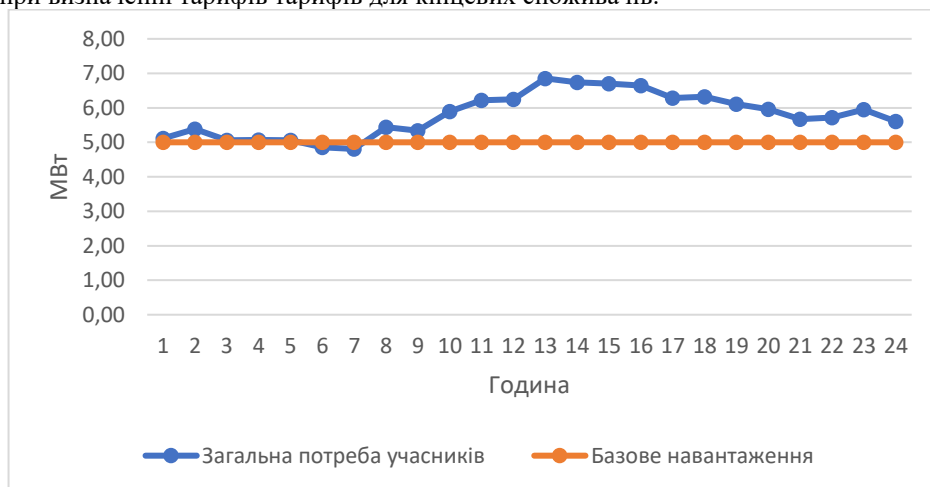


Рисунок 1 – Погодинний графік купівлі електричної енергії БГ

Після отримання фактичних погодинних графіків споживання та генерації від учасників балансууючої групи, оператор проводить індивідуальні розрахунки небалансів кожного з учасників на основі їх заявлених обсягів за

розрахунковий місяць.

Перший механізм компенсації небалансів, заснований на їх характері, позитивному або негативному. Небаланс вважається позитивним, якщо фактичний обсяг виробленої або спожитої електричної енергії більший за заявлений, і негативним — якщо фактичний обсяг менший ніж заявлений [3]. Для компенсації небалансів використовується наступний підхід.

1. Якщо індивідуальний небаланс учасника та загальний небаланс групи мають різний характер:

Учасник отримує компенсацію в розмірі 100% від обсягу свого небалансу. Це означає, що учасник в залежності від характеру небалансу купує або продає електричну енергію оператору балансуючої групи за ціною РДН, що, є вигіднішою альтернативою в порівнянні з цінами на балансуєчому ринку.

Формула компенсації для учасника виглядає наступним чином:

$$C_i^{hd} = IMB_i^{hd}. \quad (1)$$

де:

- C_i^{hd} — обсяг компенсації для учасника;
- h — година;
- d — день;
- IMB_i^{hd} — небаланс учасника.

2. Якщо індивідуальний небаланс учасника та загальний небаланс групи мають однаковий характер:

Компенсація відбувається частково, щоб зберегти пропорційність внеску кожного учасника в загальний небаланс групи. У цьому випадку використовується пропорційний підхід для визначення рівня компенсації. При частковій компенсації, небаланс учасника ділиться на небаланс балансуючої групи з таким же характером та множить на небаланс балансуючої групи з протилежним характером.

Для визначення часткової компенсації використовується наступна формула:

- Якщо небаланс учасника позитивний:

$$C_i^{hd} = \frac{IMB_i^{hd}}{IMB_{BG}^{pos}} IMB_{BG}^{neg}. \quad (2)$$

де:

- IMB_{BG}^{pos} — позитивний небаланс балансуючої групи;
- IMB_{BG}^{neg} — негативний небаланс балансуючої групи.

- Якщо небаланс учасника негативний:

$$C_i^{hd} = \frac{IMB_i^{hd}}{IMB_{BG}^{neg}} IMB_{BG}^{pos}. \quad (3)$$

Даний механізм компенсації небалансів ґрунтується на характері небалансів: він повністю компенсує небаланс учасника, якщо його знак протилежний до групового, і частково — якщо вони однакові. Цей підхід дозволяє ефективно знижувати витрати учасників, коли їхні небаланси врівноважують загальний небаланс групи, що робить механізм вигідним у ситуаціях з різноспрямованими відхиленнями. Проте при однаковому характері небалансів групи та учасника компенсація відбувається пропорційно, що зберігає пропорційність початкового небалансу серед учасників, не враховуючи відсоткове відхилення учасників від заявлених обсягів. Цільову функцію даного методу можна зобразити у такому вигляді:

$$C_i^{hd} = \begin{cases} 0, i \notin K; \\ \frac{IMB_i^{hd}}{IMB_{BG}^{pos}} IMB_{BG}^{neg} C_{IMB}^{neg}, i \in K; \\ \frac{IMB_i^{hd}}{IMB_{BG}^{neg}} IMB_{BG}^{pos} C_{IMB}^{pos}, i \in K; \end{cases} \quad (4)$$

$$K = \{sign(IMB_i^{hd}) = sign(IMB_{BG}^{hd})\}. \quad (5)$$

Другий механізм базується на розподілі витрат балансуючої групи пропорційно до абсолютних значень похибок прогнозів кожного учасника без урахування знаку похибки. Це означає, що компенсація розраховується виключно на основі величини відхилення фактичних обсягів споживання або генерації від заявлених, незалежно від того, чи є це відхилення позитивним чи негативним. Таким чином, чим більша похибка в прогнозуванні учасника, тим вищі витрати, які він покриває у балансуєчій групі. Це стимулює учасників більш точно прогнозувати свої обсяги, адже неточність у прогнозах напряду збільшує їх фінансове навантаження на покриття небалансів, та розраховується як:

$$C_i^{hd} = \frac{|IMB_i^{hd}|}{\sum |IMB_i^{hd}|} C_{BG}^{IMB}. \quad (6)$$

Отримані результати розподілу витрат для постачальників (П1–П6), сонячних станцій (С1–С8), газової (Г1) та біогазової генерації (Б1), розраховані за різними методами, відображено на рисунку 2.

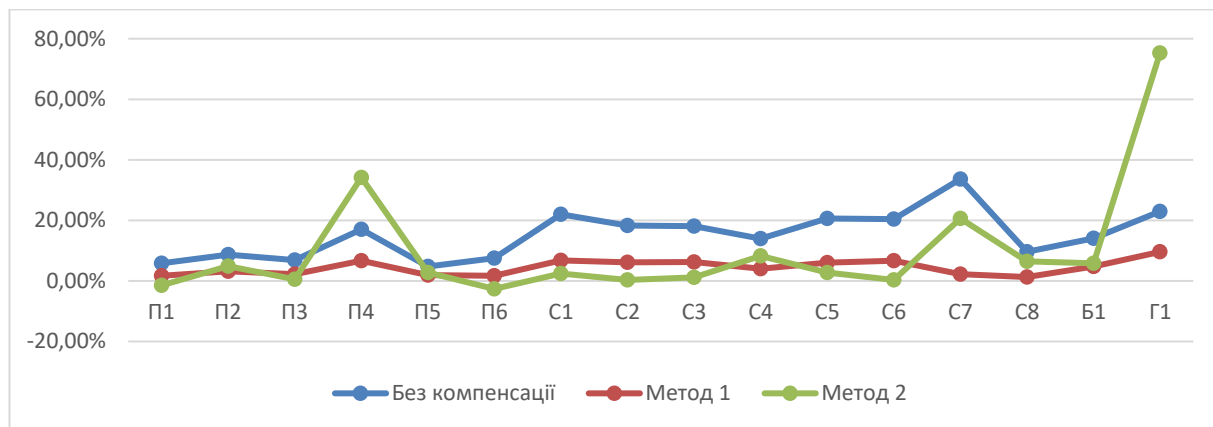


Рисунок 2 – розподіл витрат між учасниками балансувальної групи

Отримані результати демонструють, як різні методи компенсації впливають на розподіл небалансів серед учасників балансувальної групи. Розрахунки за першим методом показують суттєве зниження небалансів, порівняно зі сценарієм без компенсації. Перший метод показує загальне зниження небалансів завдяки рівномірному розподілу витрат на основі точності прогнозування обсягів споживання або генерації.

Другий метод демонструє інший вплив. Хоча він теж знижує небаланси у значної частини учасників, таких як П1, П6, С1, С2 та С6, в інших випадках цей метод призводить до збільшення небалансів, як-от у П4, С7, та Г1. Це зростання пояснюється тим, що при використанні методу 2 значні відхилення обсягів цих учасників спричинили пропорційне зростання їх витрат, що особливо відчутно в умовах великих початкових похибок. Таким чином, другий метод більше стимулює точність прогнозів, але при цьому може бути менш вигідним для учасників із великими відхиленнями, оскільки він не враховує корекцію на невеликі помилки так само ефективно, як перший метод.

Висновки: Аналіз двох методів компенсації небалансів у балансувальній групі показав як їхні переваги, так і обмеження, що дозволяє визначити доцільність кожного з них для певних умов.

Перший метод характеризується рівномірним підходом до розподілу компенсації, що сприяє зниженню витрат для більшості учасників із мінімальними відхиленнями. Він забезпечує підтримку для учасників, які мають стабільні та передбачувані показники небалансів, стимулюючи точність у прогнозуванні обсягів. Таким чином, цей метод мінімізує фінансове навантаження на учасників, для яких відхилення від заявлених обсягів незначні, що робить витрати більш передбачуваними та стабільними. Однак для учасників із великими початковими похибками він може бути менш ефективним, оскільки не завжди адекватно відображає реальні відхилення, що може призвести до зростання витрат у таких випадках.

Другий метод використовує пропорційний підхід, базуючись на абсолютних значеннях похибок кожного учасника, і тим самим більш точно розподіляє витрати за рахунок врахування індивідуальних відхилень. Це забезпечує додатковий стимул до покращення точності прогнозів, адже учасники з меншими похибками несуть менші витрати. Метод також підтримує стабільність системи загалом, оскільки значна компенсація надається учасникам з великими відхиленнями, якщо їхні небаланси протилежні загальному небалансу групи. Проте для учасників із нестабільними чи значними відхиленнями цей підхід може спричинити зростання витрат, що знижує вигоду для таких учасників.

Отже, можна рекомендувати перший метод для груп, у яких переважають учасники з невеликими та стабільними відхиленнями. Він забезпечить більш рівномірне та стабільне зниження витрат, підходячи для тих, хто прагне мінімізувати коливання у фінансових показниках. Проте для різномірних балансувальних груп, де є учасники з великими похибками, оптимальним рішенням буде поєднання підходів. Це дозволить зменшити навантаження на учасників із значними відхиленнями, водночас забезпечуючи стабільність витрат для решти групи.

Список використаних джерел:

1. Сайт оператора балансувальної групи. URL: <http://www.opz.energy>.
2. Про ринок електричної енергії: Закон України від 13.04.2017 №2019-VIII.
3. Про затвердження Правил роздрібного ринку електричної енергії: ПОСТАНОВА НКРЕКП від 14.03.2018 № 312.

СУЧАСНІ МОНІТОРИНГОВІ ЗАХОДИ ДЕРЖЕНЕРГОНАГЛЯДУ ЩОДО БЕЗПЕКИ ПОСТАЧАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

Анотація: В роботі проаналізовані сучасні моніторингові заходи Держенергонагляду щодо безпеки постачання електричної енергії. Основна увага сконцентрована на огляді моніторингових задачах Держенергонагляду в частині безпеки постачання електричної, що поставлені нормативно-правовими актами. Первісна оцінка рівня ризиків безпеки постачання електричної енергії дозволить визначити пріоритетні задачі для забезпечення реалізації заходів, які будуть їх мінімізувати.

Ключові слова: безпека постачання, електроенергія, моніторинг, Держенергонагляд, ризики.

Abstract: The paper analyzes the current monitoring activities of the State Energy Supervision Service on the security of electricity supply. The main attention is focused on the review of the monitoring tasks of the State Energy Supervision in terms of security of electricity supply, which are set by regulatory legal acts. The initial assessment of the level of risks to the security of electricity supply will allow determining the priority tasks to ensure the implementation of measures that will minimize them.

Keywords: security of supply, electricity, monitoring, State Energy Supervision Inspectorate of Ukraine, risks.

Вступ. Для виконання функції державного регулювання щодо забезпечення безпеки постачання електроенергії згідно Закону України «Про ринок електричної енергії» [1] Міненерговугіллям було прийнято Наказ «Про затвердження Правил про безпеку постачання ЕЕ» від 27.08.2018 № 448 [2] (далі – Наказ) згідно з яким встановлено визначення моніторингу безпеки постачання, що означає систему безперервних спостережень за роботою електроенергетичної галузі щодо забезпечення потреб споживачів в електричній енергії.

Державна інспекція енергетичного нагляду України (далі – Держенергонагляд), як структура, яка реалізує державну політику у сфері нагляду (контролю) у галузях електроенергетики, має виконувати пункт 3 розділу V Наказу.

Мета роботи та завдання. Метою роботи є огляд та аналіз підходів щодо формування переліку моніторингових заходів Держенергонагляду щодо безпеки постачання електричної енергії.

Матеріал і результати досліджень

Моніторинг безпеки постачання електричної енергії створений для того щоб виявити ризики та забезпечити реалізацію заходів, які будуть їх мінімізувати. Відповідно до Наказу Держенергонагляд має здійснювати функції щодо державного енергетичного нагляду в галузі електроенергетики відповідно до Закону України «Про ринок електричної енергії» та Положення про Державну інспекцію енергетичного нагляду України, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 14 лютого 2018 року № 77, зокрема щодо: дотримання учасниками ринку вимог правил та інших нормативно-правових актів і нормативних документів з питань технічної експлуатації електричних станцій, установок зберігання енергії і мереж, технічного стану та обслуговування електричних установок і мереж, нагляду за наявністю та станом резервних автономних джерел живлення на об'єктах споживачів електричної енергії першої категорії та особливої групи першої категорії з надійності електропостачання, нагляду за забезпеченням належного технічного стану елементів обладнання системної протиаварійної автоматики, встановлених у учасників ринку (у тому числі споживачів), виконання доручень Міненерго щодо проведення моніторингу безпеки постачання електричної енергії в частині підтвердження готовності суб'єктів електроенергетики до роботи в осінньо-зимовий період, проходження грозового періоду, періодів високих та низьких температур, льодоходу та повені відповідно до програм моніторингів, затверджених Державною інспекцією енергетичного нагляду України.

Таким чином, для реалізації положень Наказу, пропонується здійснювати моніторинг таких

заходів з періодичністю:

- виконання оператором системи розподілу (далі – ОСР) запланованих ремонтів (кожного місяця);
- розчистки трас повітряних ліній та готовності до роботи в грозовий сезон (в грозовий період 2 рази на рік);
- готовності обладнання підстанцій 35-110 (150) кВ до роботи в умовах високих температур (раз у рік весною);
- готовності ОСР до роботи в ОЗП (раз у рік осінню);
- технічного стану автоматичного частотного розвантаження, встановлених на підстанціях 35-110 (150) кВ ОСР та споживачів (раз у рік перед ОЗП).

Зазначені моніторинги потребують розгляду процесів, які відбуваються в електричних мережах з урахуванням циклічності та повторюваності цих процесів протягом року. Для реалізації цих процесів необхідно побудувати модель моніторингових заходів безпеки постачання електричної енергії та підвищення ефективності експлуатації електричних мереж.

Сформовано перелік ризиків не виконання заходів моніторингу Держенергонаглядом: пошкодження електричних мереж через їх незадовільний стан, значні ушкодження електричних мереж через негоду, вихід з ладу підстанцій 35-110 (150) кВ в умовах високих температур через неякісну підготовку ОСР, значна аварійність електричних мереж під час ОЗП (велике навантаження) через не готовність ОСР.

Згідно Наказу оцінювати ризики слід з урахуванням впливу превентивних заходів і результатів моніторингу безпеки постачання електричної енергії. Проаналізовано зазначені ризики використовуючи таблицю ризиків, що зображена в додатку до Наказу. Результати наведено в таблиці 1.

Таблиця 1 - Аналіз ризиків

Ризик	Серйозність наслідків	Ймовірність	Ризик
Пошкодження електричних мереж через їх незадовільний стан	Серйозні	Висока	Високий
Значні ушкодження електричних мереж через негоду	Критичні	Дуже висока	Високий
Вихід з ладу підстанцій 35-110 (150) кВ в умовах високих температур	Серйозні	Висока	Високий
Значна аварійність електричних мереж під час ОЗП	Серйозні	Висока	Високий

Висновки

За результатами дослідження проведено оцінку ризиків не виконання заходів моніторингу для забезпечення належної експлуатації електричних мереж. Сформовано модель. Крім того, сформовані пропозиції щодо переліку наглядових дій, а також їх періодичності, які мають бути реалізовані для моніторингу безпеки постачання.

Список літератури

1. Про ринок електричної енергії: Закон України, 2017 № 1909-IX.Офіційний сайт Верховної Ради України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2019-19#Text> (дата звернення: 10.11.2024).
2. Про затвердження Правил про безпеку постачання електричної енергії : Наказ Міністерства енергетики та вугільної промисловості України від 27.08.2018 № 448. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1076-18#Text> (дата звернення: 01.05.2023)

Шевченко Д.І., магістр

Шевченко О.М., канд.техн.наук, ст.викл.

Навчально-науковий інститут атомної та теплової енергетики

Шовкалюк М.М., канд.техн.наук, доц.

Навчально-науковий інститут енергозбереження та енергоменеджменту

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Україна

МОДЕЛЮВАННЯ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ СУЧАСНОЇ БУДІВЛІ ГУРТОЖИТКУ УНІВЕРСИТЕТУ ЗА РІЗНИМИ СЦЕНАРІЯМИ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ З ВИКОРИСТАННЯМ ПРОГРАМНИХ ЗАСОБІВ

Вступ.

Будівлі всього світу використовують близько 40 % всієї споживаної первинної енергії, близько 60 % електричної енергії, а також виробляють третину всіх викидів вуглекислого газу. Відповідно до Концепції зеленого енергетичного переходу України до 2050 року, визначальними напрямками «зеленого переходу» стають саме енергетичні (енергоефективність і відновлювані джерела енергії, посилення електрифікації різних галузей економіки, зменшення використання технологій на базі викопних видів палива) [1].

Відбувається гармонізація нормативно-правової бази з законодавством ЄС [2], впроваджуються ДБН, ДСТУ з новими вимогами до нового будівництва та реконструкції. Україна спрямована на адаптацію багатьох положень стратегії Європейський зелений курс (European Green Deal), включаючи декарбонізацію. В нашій державі запроваджено низку міжнародних та національних проєктів підвищення енергоефективності громадських і житлових будівель, зокрема діють програми від Фонду енергоефективності і від Фонду декарбонізації України. Однак, вимоги до енергоефективності будівель постійно зростають та переглядаються, тому для вже термомодернізованих та новозведених будівель існує потреба у пошуку нових рішень та технічного відпрацювання сценаріїв їх реалізації. Зокрема, основними напрямками є запровадження відновлюваних джерел енергії для забезпечення функціонування будівлі, а також заходів з забезпечення ефективної експлуатації інженерних систем та обладнання.

Мета роботи. Метою даного дослідження є огляд можливостей і техніко-економічні прорахунки сценаріїв подальшої ефективної модернізації будівлі гуртожитку №5 КПІ ім.Ігоря Сікорського у напрямку до будівель із нульовим споживанням енергії із застосуванням відновлювальних джерел енергії. **Методи дослідження:** спостереження та порівняння; розрахунково-аналітичний, статистико-економічний методи. Для розрахунків використано програмне забезпечення: DesignBuilder, PVSol Premium, GeoTSol, MS Excel.

Матеріал і результати дослідження.

Об'єкт дослідження: студентський гуртожиток для аспірантів та іноземних студентів, що введено в експлуатацію у 2021 році і обладнаний кімнатами на три особи й кімнатами сімейного типу, кількість квартир - 128. Будівля гуртожитку збудована каскадом висотністю 9 та 11 поверхів та має цокольний та технічний поверхи; загальна площа будівлі складає 8667 м², опалювальний об'єм - 23490 м³. На цокольному поверсі будівлі розміщено укриття, господарські кімнати, приміщення індивідуального теплопункту, електрощитової, вузла вводу холодного водопостачання. На першому поверсі розміщені адміністративні приміщення та кафетерій. Теплові навантаження: на опалення: 0,189 Гкал/год, на вентиляцію: 0,022 Гкал/год, на гаряче водопостачання - 0,089 Гкал/год. Система опалення залежна, двотрубна з горизонтальним розведенням, з авторегулюванням в тепловому пункті. Система охолодження відсутня.

Після введення будівлі в експлуатацію, наприкінці 2021 року було прийнято нові вимоги до теплозахисту та рівня енергоефективності будівель [3].

Методологія дослідження. В рамках дослідження будівлі новозбудованого студентського гуртожитку виконано поглиблений енергоаудит, проведено розрахунки енергоспоживання на різні потреби за національним стандартом [4], побудовано модель в програмному середовищі DesignBuilder та розроблено декілька сценаріїв підвищення енергоефективності з проведенням моделювання енергоспоживання [5].

DesignBuilder – програмний інструмент на основі EnergyPlus, який використовується для енергетичного моделювання будівель. В межах даної роботи було створено базову (base line) модель

будівлі гуртожитку з характеристиками інженерних систем, огорожувальних конструкцій та умов експлуатації та запропоновані (proposed) сценарії – такі, які враховують запропоновані заходи енергоефективної модернізації будівлі. У розділі програми Activity для будівлі було задано параметри, що описують режим функціонування, основні параметри мікроклімату, кількість людей на одиницю площі, температуру опалення, середню потужність електроприладів на одиницю площі тощо. Щільність мешканців прийнято середню по будівлі для всіх приміщень (з розрахунку 517 мешканців). У підрозділах програми Construction та Openings були задані теплофізичні властивості огорожувальних конструкцій будівлі. На рисунку 1 наведено фотографію реальної будівлі гуртожитку і побудовану 3D модель, що відповідає реальним геометричним розмірам об'єкту відповідно до технічного паспорту будівлі.



Рисунок 1 – Гуртожиток університету та побудована 3D модель у DesignBuilder

Запропоновано розглянути наступні варіанти енергоефективної модернізації будівлі:

- встановлення: місцевого авторегулювання подачі теплоносія на прилади системи опалення; запровадження графіку автоматичного регулювання подачі теплоносія до системи опалення; системи віддаленого моніторингу енергетичних та температурних параметрів у будівлі;
- влаштування рекуперації теплоти витяжного повітря у будівлі;
- використання теплового насоса для часткового покриття потреби енергії в охолодженні та опаленні;
- встановлення фотоелектричних панелей на даху будівлі для часткового покриття потреби в електричній енергії.

Результати моделювання енергопотреб та енергоспоживання будівлі для базової та запропонованої моделей у DesignBuilder наведено в табл. 1. Клас енергоефективності наведено з ілюстративною метою для порівняння сценаріїв, оскільки методика розрахунку в DesignBuilder дещо відрізняється від методики ДСТУ [4], за результатами застосування якої має визначатися клас. Для сценаріїв з відновлюваними джерелами енергії використано програмне середовище PVSol Premium (для моделювання фотоелектростанції) та GeoTSol (для моделювання системи з тепловими насосами). За базову модель були використані результати динамічного моделювання споживання з DesignBuilder. результати в табл.2.

Фотоелектричну систему запропоновано розмістити на даху будівлі (66 модулів). Оскільки по периметру даху влаштований парапет на висоту 1,5 м, то для уникнення затінення сонячні панелі необхідно підняти на висоту 1,5 м над дахом.

Таблиця 1 – Результати моделювання у програмному продукті DesignBuilder

№	Найменування показника/сценарію	Базова модель, кВт·год/рік	Пропонована модель, кВт·год/рік		
			Сценарій 1	Сценарій 2	Сценарій 3
1	Енергопотреба для опалення, кВт·год/рік	306 601,67	299 120,08	72 357,95	60 446,13
2	Енергопотреба для охолодження, кВт·год/рік	96 223,32	96 223,32	95 658,38	95 658,25
3	Енергопотреба для гарячого водопостачання, кВт·год/рік	256 414,11	256 414,11	256 414,11	256 414,11
4	Питоме енергоспоживання на опалення, охолодження, EP_{use} , кВт·год/м ²	46,29	45,3 2	15,6 9	14,1 3
5	Δ (від базової моделі), %	-	- 2,11	- 66,12	- 69,48
6	Клас енергоефективності	B	B	A	A

Таблиця 2 – Результати моделювання у PVSol Premium

PV система		Одиниця вимірювання
Потужність PV генератора	36,3	кВт·пік
Очікувана річна генерація PV генератора	28 614	кВт·год
Коефіцієнт продуктивності (PR)	89,6%	%
Уникнення викидів CO ₂ *	12 819	кг/рік
Рівень самодостатності		
Загальне електроспоживання будівлі	80 025	кВт·год/рік
Покрите мережею	51 894	кВт·год/рік
Рівень самодостатності	35,7	%

*Примітка: Під час розрахунку скорочення викидів використано перевідний коефіцієнт 0,448 тон/МВт*год (рекомендації Міжнародного енергетичного агентства IEA [6]).

В програмному комплексі GEOT*SOL проведено моделювання забезпечення потреби в тепловій енергії з використанням теплового насосу для двох варіантів: повітряний або ґрунтовий тепловий насос; визначений термін окупності заходу становить близько 15 років.

Висновки: виконано енергетичне моделювання енергоспоживання будівлі гуртожитку за допомогою спеціалізованих програмних продуктів. Показано значний потенціал подальшої енергоефективної модернізації новозбудованих будівель в напрямку досягнення енергоефективності на рівні будівель з близьким до нульового енергоспоживання.

Список використаних джерел:

4. Шевченко О.М., Шевченко Д.І. Енергетичне моделювання варіантів підвищення енергоефективності будівлі після термомодернізації/Сучасні проблеми наукового забезпечення енергетики. У 2-х т. : Матеріали XX Міжнар. наук.-практ. конф. молод. вчених і студ., м. Київ, 25-28 квітня 2023 р. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», с. 220-221.
5. Закон України «Про енергетичну ефективність будівель». Законопроект № 2118-VIII // Відомості Верховної Ради (ВВР), 2017, № 33, ст.359.
6. ДБН В.2.6-31:2021 «Теплова ізоляція та енергоефективність будівель»
7. ДСТУ 9190:2022 Енергетична ефективність будівель. Метод розрахунку енергоспоживання при опаленні, охолодженні, вентиляції та гарячого водопостачання.
8. Шевченко, Д. І. Підвищення енергоефективності гуртожитку №5 КПІ ім. Ігоря Сікорського за рахунок використання енергії з альтернативних джерел : магістерська дис. : 144 Теплоенергетика / Шевченко Дмитро Ігорович. – Київ, 2023. – 170 с.
9. CO₂-Emission from Fuel Combustion 2016, pp. 122-124. Режим доступу: https://www.oecd-ilibrary.org/energy/co2-emissions-from-fuel-combustion-2016_co2_fuel-2016-en

МОДЕЛЮВАННЯ ПОКАЗНИКІВ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ БАГАТОКВАРТИРНОЇ БУДІВЛІ З ВИКОРИСТАННЯМ СПЕЦІАЛІЗОВАНИХ ПРОГРАМНИХ ПРОДУКТІВ

До одного з ключових завдань енергетичної стратегії України до 2030 року входить зменшення **Вступ.** Підвищення енергоефективності будівельного фонду і зменшення енергетичної залежності є стратегічним завданням для України. Для залучення фінансування на комплексні проекти термомодернізації через Фонд енергоефективності [1] потрібно проводити енергетичний аудит та розробляти енергосертифікат будівлі. Енергоаудитори зазвичай розробляють власні моделі для проведення розрахунків, проте існують програмні продукти, що дозволяють виконувати моделювання енергоспоживання будівель з урахуванням особливостей експлуатації, характеристик огорожень та інженерних систем. Вивчення їх можливостей і порівняльний аналіз є актуальною задачею.

Мета роботи. Метою є огляд можливостей програмних продуктів для розрахунків класу енергоефективності та розробки енергетичного сертифікату [2] з виконанням порівняльного аналізу показників енергоспоживання. **Методи дослідження:** техніко-економічні розрахунки з використанням програмного забезпечення Е-Аудит, MS Excel та ін.

Матеріал і результати дослідження.

Об'єкт дослідження: Об'єктом дослідження є житловий будинок з П-подібною формою в плані, розташований у м. Буча, Київської області і введений в експлуатацію у 2009 році. На типовому поверсі розташовано 5 квартир, загальна кількість квартир – 213. Під усім першим поверхом розташовано неопалювальний підвал, над 9 поверхом – неопалювальне горище. Над третім парадним - дахова газова котельня на будинок. Система опалення двотрубна, з супутнім рухом теплоносія. Опалювальний об'єм - 63 673,2 м³. Зовнішні стіни з силікатної цегли. Вікна, балконні двері - металопластикові.

Методологія дослідження. На початковому етапі було проведено енергетичне обстеження та оформлено звіт з енергетичного аудиту будівлі. В ході дослідження було розроблено математичну модель і виконано розрахунки показників питомого енергоспоживання на потреби опалення, охолодження, гарячого водопостачання, освітлення та визначено клас енергоефективності. Порівняльний аналіз здійснювався шляхом співставлення результатів із даними, отриманими за допомогою програмного продукту Е-Аудит, який дозволяє з урахуванням національної методики [3] визначати показники енергетичної ефективності та розробляти енергосертифікат будівлі. Далі пропонувалися заходи для підвищення класу енергоефективності та за допомогою Е-Аудит визначалися енергетичні показники до та після впровадження заходів. Також на прикладі даного об'єкту досліджень вивчалися можливості спеціалізованих програмних комплексів DesignBuilder, Audytor OZC для моделювання енергоспоживання будівель (рис.1).

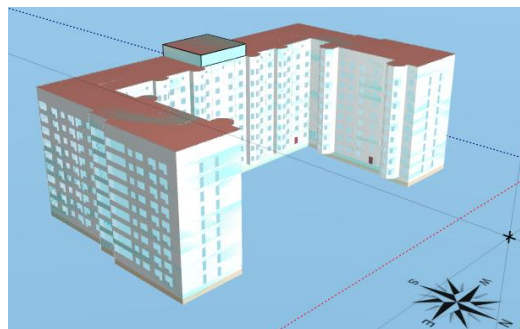


Рисунок 1 – Зовнішній вигляд будівлі та 3Д модель в Audytor OZC

Опис алгоритму виконання розрахунків.

Для оцінки енергетичної ефективності будівель і розробки енергетичних сертифікатів згідно до [2] використовується методика з ДСТУ 9190:2022 [3]. Ця методика враховує (рис.1): зовнішні кліматичні

умови і умови внутрішнього мікроклімату, конструктивні особливості огорожень, умови експлуатації і охоплює аналіз тепловтрат через огорожувальні конструкції, вентиляцію, інфільтрацію повітря, теплові надходження від зовнішніх і внутрішніх джерел, додаткові витрати на попередній підігрів та охолодження; враховує характеристики інженерних системах та ефективність роботи генеруючого обладнання. В ході дослідження була розроблена математична модель для виконання обчислень енергетичних показників до та після впровадження заходів з енергоефективності.

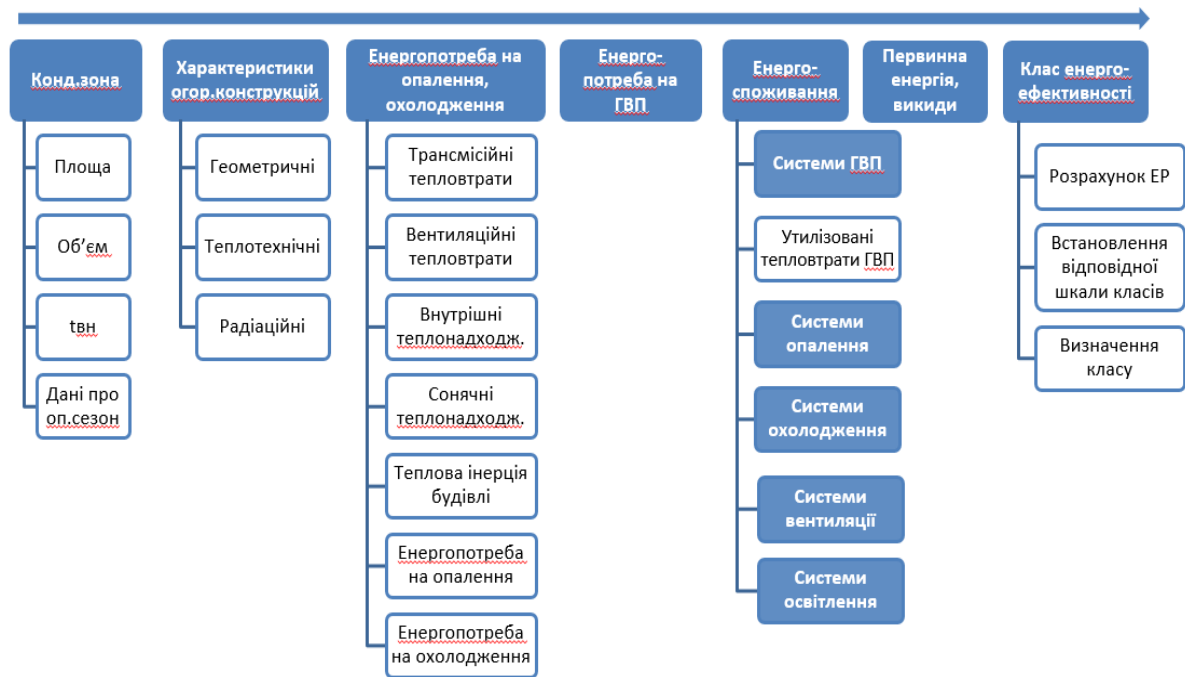


Рисунок 1 – Розрахунковий алгоритм розробленої математичної моделі

Основні показники енергетичних втрат будівлі визначаються на основі теплопередачі непрозорих (стіни, дах, підлога) та прозорих (вікна, балконні двері) огорожень. Приведені опори теплопередачі існуючих огорожень, обчислені за методикою [3] не відповідають нормативним вимогам [4]. В таблиці наведено 1 питомі показники, отримані за допомогою розрахунків за розробленою в Excel математичною моделлю. Питоме енергоспоживання на потреби опалення та охолодження становить 98,08 кВт·год/м², встановлені мінімальні вимоги при цьому – 85 кВт·год/м² [4]. Клас енергоефективності існуючої будівлі: Д (рис.2).

Таблиця 1 – Розрахунки питомого енергоспоживання (за математичною моделлю)

№	Найменування показника	Одиниця вимірювання	Значення показника
1	Питома енергопотреба на опалення, охолодження, гаряче водопостачання	кВт·год/м ²	99,97
2	Питоме енергоспоживання опалення	кВт·год/м ²	96,72
3	Питоме енергоспоживання охолодження	кВт·год/м ²	1,36
4	Питоме енергоспоживання гарячого водопостачання	кВт·год/м ²	36,38
5	Питоме енергоспоживання освітлення	кВт·год/м ²	9,75
7	Питоме споживання первинної енергії	кВт·год/м ²	225,12

Заходи, що було запропоновані з метою підвищення енергоефективності (табл.2):

- утеплення фасадів та цоколю, утеплення горищного перекриття,
- заміна зовнішніх дверей та облаштування тамбурами входів,
- модернізація системи освітлення місць загального користування,
- заміна вікон в місцях загального користування,
- утеплення перекриття над неопалювальним підвалом,
- гідравлічне балансування системи опалення,

– встановлення поквартирного обліку теплової енергії (прилади-розподільвачі) та ін.

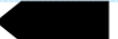
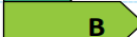
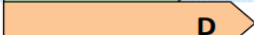
Шкала класів енергоефективності		Клас енергетичної ефективності та питоме енергоспоживання	
	кВт·год/м ²		
 A	< 42,5		 D
 B	< 68		
 C	≤ 86		
 D	≤ 102		
 E	≤ 114,75		
 F	≤ 127,5		
 G	> 127,5		
Питоме споживання первинної енергії, кВт·год/м ² :		225,12	

Рисунок 2 – Клас енергетичної ефективності (з енергетичного сертифікату будівлі)

За допомогою спеціалізованого програмного продукту для енергоаудиторів E-audit проведено моделювання енергоспоживання будівлі до та після впровадження заходів (рис.3). Відхилення показників, отриманих шляхом розрахунків в MS Excel та за допомогою E-audit становить по окремим складовим енергоспоживання в межах до 5-10%.

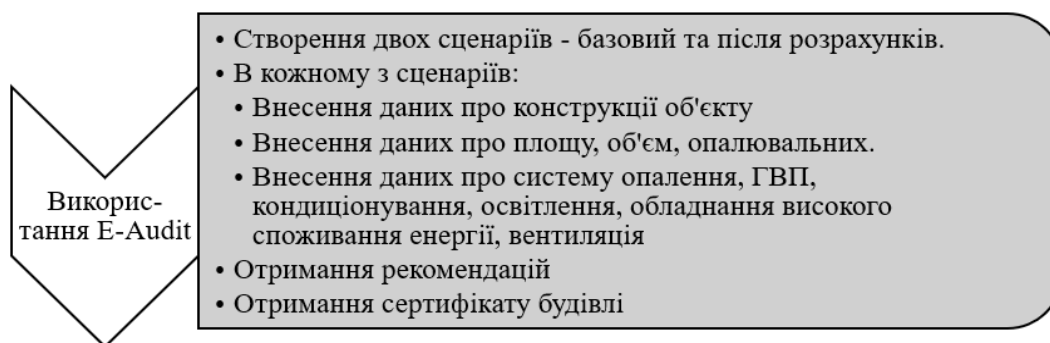


Рисунок 3 – Схема роботи в програмному продукті E-audit

Таблиця 2– Аналіз показників енергоспоживання будівлі до та після заходів (Е-Аудит)

Вид енергоспоживання	Обсяг енергоспоживання за рік			
	До впровадження заходів		після впровадження заходів	
	тис. кВт · год	кВт · год/м ²	тис. кВт · год	кВт · год/м ²
На опалення	2003,45	95,17	1026,75	48,78
На охолодження	30,05	1,43	60,91	2,89

Висновки: виконано деталізоване енергетичне обстеження житлової будівлі та моделювання енергоспоживання за допомогою розробленої моделі в Excel та спеціалізованого програмного продукту E-audit.

Список використаних джерел:

10. Про Фонд енергоефективності: Закон України № 2095-VIII, ред. від 30.06.2024.
11. Про енергетичну ефективність будівель: Закон України 2118-VIII, ред. від 30.06.2024.
12. ДСТУ 9190:2022 Енергетична ефективність будівель. Метод розрахунку енергоспоживання при опаленні, охолодженні, вентиляції та гарячого водопостачання.
13. ДБН В.2.6-31:2021 Теплова ізоляція та енергоефективність будівель.

Оборонов Т.Ю., канд.техн.наук,
начальник відділу підтримки клієнтів та супроводу проектів Фонду енергоефективності
Шовкалюк М.М., канд.техн.наук, доц.
Ткач М.О., магістр
Навчально-науковий інститут енергозбереження та енергоменеджменту
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Україна

ОГЛЯД ПРОГРАМ ПІДТРИМКИ КОМПЛЕКСНИХ ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ З ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ В ЖИТЛОВОМУ СЕКТОРІ

Вступ.

Енергетична незалежність держави є умовою сталого економічного розвитку. Зважаючи на те, що у житлово-будівельному фонді споживається близько 40% енергії і припадає близько третини викидів парникових газів, підвищення енергоефективності в цьому секторі є стратегічною проблемою держави. Стан житлово-комунального господарства (ЖКГ) є серйозною проблемою України, зважаючи на зростання вартості енергоносіїв, зношеність основних фондів, застарілість технологій. Близько 70% житлового фонду збудовано в часи масової забудови, енергоємність послуг у кілька разів перевищує показники розвинених країн. Відновлення країни після закінчення військових дій повинно відбуватися із дотриманням вимог щодо енергоефективності. Серед інструментів державного регулювання процесів підвищення енергоефективності в сфері ЖКГ можна виокремити: правові, адміністративні, економічні (див. рис.1).



Рисунок 1 – Інструменти державного регулювання в сфері ЖКГ

Мета роботи: огляд програм підтримки комплексних проектів підвищення енергоефективності в житловому секторі, що вже були реалізовані в Україні та діють на теперішній час.

Матеріал і результати дослідження.

Зважаючи на міжнародні зобов'язання України, відбувається удосконалення законодавчої [1,2] та нормативної [3] бази в сфері підвищення енергоефективності будівельного фонду і її гармонізація з нормативною базою ЄС. В Україні за участю міжнародних організацій та донорів вже реалізовано [4] значну кількість проєктів підвищення енергоефективності житлового сектору (за програмами, що фінансувалися USAID, NEFKO, GIZ, SECO, ЄБРР, Світовим банком, банком KfW та ін.). Україна має позитивний досвід фінансування енергоефективних заходів для житлових будівель (табл.1), зокрема завдяки програмі «Теплі кредити» було отримано довіру і створено попит на енергоефективні проєкти серед населення, причому 53% ОСББ скористались програмою 2 і більше разів. В багатьох містах впроваджено грантові програми (наприклад, програма 70/30 в місті Києві), в територіальних громадах затверджені програми підтримки для багатоквартирних будівель (в основному для ОСББ), зокрема перебачено часткове покриття відсотків чи тіла кредиту по енергоефективним проєктам.

Таблиця 1 – Порівняльний аналіз реалізованих програм підтримки заходів з підвищення енергоефективності в житловому фонді України

Назва показника	Теплі кредити	Програма IQ energy
Джерело фінансування	Державна програма, міжнародні і приватні інвестиції	Міжнародні і приватні інвестиції
Період	2014-2020	2016-2020
Цільова група	Фізичні особи (власники будинків, квартир), ОСББ, ЖБК	Власників індивідуальних будівель та ОСББ
Умови для участі	Впровадження енергоефективних заходів, обладнання, матеріалів, нетрадиційних джерел енергії	Енергоефективне обладнання та матеріали з переліку, вказаного на сайті програми
Загальна сума	1,1 млрд. грн	75 млн. євро.
Умови фінансування	відшкодування 30-70% тіла кредиту на обладнання	відшкодування 15-20% частини тіла кредиту
Обмеження	14000 грн/особу	верхня межа 3000 є/особу

Фонд енергоефективності [1] - державна установа, утворена з метою стимулювання впровадження заходів з енергозбереження в житловому секторі. Починаючи з 2019 року реалізується програма «Енергодім», що є результатом трансформації програми «Теплі кредити» в більш масштабну, адже дозволяє впроваджувати комплексні проєкти термомодернізації житлових будівель за двома пакетами (пакет А «Легкий» та пакет Б «Комплексний», кожен з яких містить обов'язкові та додаткові заходи для реалізації). Станом на листопад 2024 року до Фонду подано вже більше 1000 заявок (за пакетом «А» - 280, за пакетом «Б» - 730, сукупна заявлена вартість проєктів – 6824 млн. грн.); кількість завершених проєктів – 292. Заявлена річна економія енергії для вказаних проєктів – 318096,65 кВт-год/рік, скорочення викидів при цьому – 86,32 тис. тон CO₂. Середній рівень заявленої економії енергії: пакет «А» -17,5%, пакет «Б» - 37,78%. Середня вартість проєктів, що подаються за пакетом «А» - близько 2 млн., за пакетом «Б» - 13,25 млн.грн. Кількість домогосподарств, що беруть участь у програмі «Енергодім» - біля 70тис., кількість домогосподарств у завершених проєктах – 18363. Крім програми «Енергодім», Фондом енергоефективності реалізується програми «Віднови дім» та «Гріндім», їх порівняльний аналіз показаний на рис.2.



Рисунок 2 – Програми для населення, що реалізуються Фондом енергоефективності

На рис нижче показано роки побудови будівель, які подали заявки до Фонду енергоефективності з метою фінансування проєктів підвищення енергоефективності. Як бачимо, основна маса будівель – це серійні будівлі, теплотехнічні показники яких значно нижче діючих вимог [3]: опір теплопередачі стін більше 70% будівель становить близько $0,8-1 \text{ м}^2\cdot\text{К}/\text{Вт}$. Серед заходів, які передбачаються в проєктах: утеплення стін, перекриттів, заміна вікон, встановлення вузлів обліку, модернізація ІТП, балансування системи опалення, теплоізоляція труб в неопалювальних приміщеннях та ін.

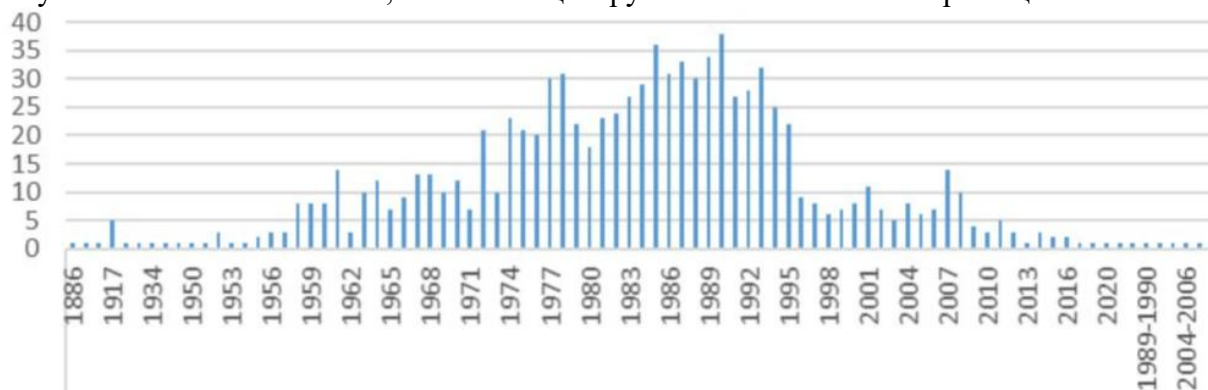


Рисунок 3 – Розподіл будівель за роками побудови

Висновки: розглянуто інструменти державного регулювання в сфері енергоефективності і різні програми підтримки комплексних проєктів енергоефективності, що вже були впроваджені або реалізуються на теперішній час в Україні.

Список використаних джерел:

1. Про Фонд енергоефективності: Закон України № 2095-VIII, ред. від 30.06.2024.
2. Про енергетичну ефективність будівель: Закон України 2118-VIII, ред. від 30.06.2024.
3. ДБН В.2.6-31:2021 Теплова ізоляція та енергоефективність будівель.
4. М.М. Шовкалюк. Співпраця України з міжнародними фінансовими організаціями у сфері підвищення енергоефективності ЖКГ // Збірник праць XIV Всеукр. наук.-практ.конф. «Міжнародне науково-технічне співробітництво: принципи, механізми, ефективність» - [Київ, КПІ, 15-16 березня 2018 р.], - с.34-37.
5. Офіційний сайт Фонду енергоефективності: Режим доступу: <https://eefund.org.ua/>

NET METERING: ШЛЯХ ДО ЕФЕКТИВНОГО УПРАВЛІННЯ ЕНЕРГОРЕСУРСАМИ

Вступ. Системи "net metering" стають все більш популярними в Україні, оскільки вони дозволяють власникам сонячних панелей ефективно використовувати власну вироблену електроенергію, не лише споживати самостійно вироблену електроенергію, а й продавати надлишки в енергосистему. У країні, де енергетична незалежність та відновлювані джерела енергії набувають все більшого значення інноваційні рішення для ефективного функціонування таких систем стають надзвичайно важливими.

Мета роботи. Аналіз поточного стану систем "net metering" в Україні та визначення основних проблем та викликів. Розглянуто світовий досвід у сфері net metering та розробка рекомендацій для покращення ефективності систем "net metering" в Україні.

Матеріал і результати дослідження. Незважаючи на війну, система net metering в Україні демонструє стійкий розвиток. Законодавство підтримує розвиток net metering, однак з 2025 року очікується перехід на аукціонну модель підтримки відновлюваної енергетики. Кількість домогосподарств з приватними сонячними електростанціями постійно зростає, перевищивши 50 000 у 2024 році. Загальна встановлена потужність таких станцій також збільшилася, перевищивши 1235 МВт. Це свідчить про зростаючий інтерес українців до енергетичної незалежності та відновлюваних джерел енергії. Незважаючи на позитивну динаміку, війна пошкодила енергетичну інфраструктуру, створивши додаткові перешкоди. Проте, перспективи розвитку системи залишаються оптимістичними. Впровадження систем накопичення енергії зробить net metering ще привабливішим для домогосподарств. [1]

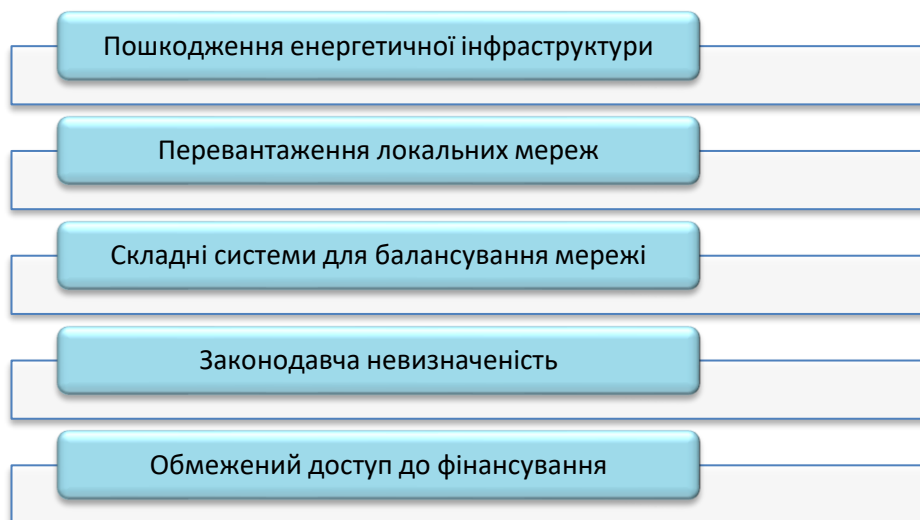


Рисунок 1- Основні перешкоди для розвитку net metering

Розвиток net metering потребує модернізації, нових інвестицій та підготовки кадрів. Це забезпечить енергетичну незалежність України. [2]

Щодо світового досвіду було розглянуто країну, яка впевнено йде до ефективного управління енергоресурсами. Норвегія, незважаючи на багаті гідроелектроресурси, активно розвиває сонячну енергетику. За останні два роки встановлена потужність сонячних електростанцій подвоїлася. Програма підтримки Енова сприяла цьому зростанню, але її скорочення ставить під питання майбутні темпи розвитку. Норвегія впроваджує інноваційні рішення в системі net metering:

- **Віртуальний net metering:** дозволяє використовувати енергію, вироблену в одному місці, в іншому.

- **Інтеграція з електромобілями (V2G):** електромобілі можуть віддавати енергію назад у мережу.
- **Розумні мережі та прогнозування:** оптимізація роботи мережі за допомогою штучного інтелекту.
- **Динамічні тарифи:** стимулюють ефективне споживання енергії. [3]

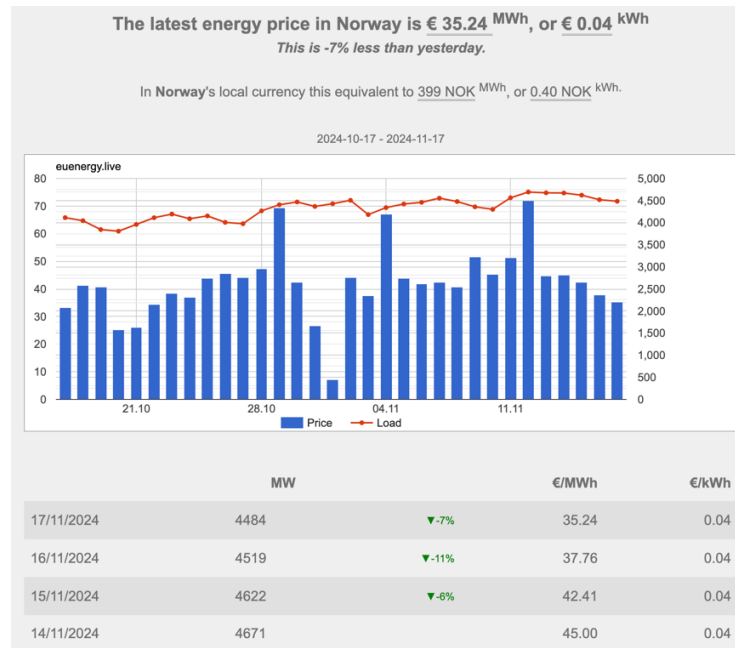


Рисунок 2 – Зміна тарифу на електроенергію у реальному часі [4]

- **Системи накопичення енергії:** дозволяють ефективніше використовувати сонячну енергію.
- **Централізована платформа обміну даними:** забезпечує точний облік. [5]
- **Інтеграція з тепловими насосами:** оптимізує енергоспоживання будинків.

Досвід Норвегії показує, що net metering може бути ефективним навіть у країнах з обмеженою сонячною радіацією. Комплексний підхід, що включає технологічні інновації та підтримку держави, сприяє розвитку відновлюваної енергетики.

Для покращення функціонування систем "net metering" в Україні слід впроваджувати інноваційні рішення, такі як:

1. Автоматизація та цифровізація процесів підключення та управління.
2. Стимулювання інвестицій у відновлювані джерела енергії.
3. Покращення законодавчої бази та підтримка з боку держави.
4. Залучення міжнародних інвестицій: залучення міжнародних інвестицій для фінансування проектів з відновлюваної енергетики.
5. Податкові пільги: надання податкових пільг для виробників електроенергії з відновлюваних джерел.
6. Модернізація електромереж: інвестування в модернізацію електромереж для забезпечення їхньої готовності до підключення великої кількості розподілених джерел генерації.
7. Удосконалення законодавства: розробка та прийняття чітких та всеосяжних нормативно-правових актів, які регулюватимуть всі аспекти "net metering", включаючи технічні вимоги, процедури підключення, розрахунки та тарифи.

Висновок. Незважаючи на виклики війни, система net metering в Україні демонструє стійкий розвиток. Зростання кількості сонячних електростанцій та загальної встановленої потужності свідчить про зростаючий інтерес українців до енергетичної незалежності та відновлюваних джерел енергії. Україна може взяти приклад з Норвегії, яка успішно поєднує розвиток гідроенергетики з активним

впровадженням сонячної енергетики та інноваційних рішень в системі net metering. Система net metering має потенціал стати потужним інструментом для декарбонізації економіки України та переходу до більш сталої енергетичної системи.

Список використаних джерел:

1. Net Metering та систему видачі гарантії походження енергії [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.kmu.gov.ua/news/derzhenergoefektivnosti>
2. NET ENERGY METERING в Україні [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://saee.gov.ua/sites/Net_Energy_Metering
3. Johannes Mauritzen; April 5, 2023; With great power (prices) comes great tail pipe emissions? A natural experiment of electricity prices and electric car adoption. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.researchgate.net/publication/369792492>
4. Тариф на електроенергію у реальному часі (Норвегія) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://euenergy.live/country.php?a2=NO2>
5. Тариф на електроенергію у реальному часі з податками (Норвегія) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.ssb.no/en>

References:

1. Net Metering and the system for issuing a guarantee of energy origin [Electronic resource] – Access mode: <https://www.kmu.gov.ua/news/derzhenergoefektivnosti>
2. NET ENERGY METERING in Ukraine [Electronic resource]. – Access mode: https://saee.gov.ua/sites/Net_Energy_Metering
3. Johannes Mauritzen; April 5, 2023; With great power (prices) comes great tail pipe emissions? A natural experiment of electricity prices and electric car adoption. [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.researchgate.net/publication/369792492>
4. Real-time electricity tariff (Norway) [Electronic resource]. – Access mode: <https://euenergy.live/country.php?a2=NO2>
5. Real-time electricity tariff with taxes (Norway) [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.ssb.no/en>

СУЧАСНІ АСПЕКТИ РОЗВИТКУ І ВПРОВАДЖЕННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ SMART GRID

Сучасне суспільство дедалі прагне стати більш енергозалежним, у зв'язку з чим потребує стабільного, надійного та безперервного постачання електричної енергії. Окрім того, зростає потреба у розробці нових методів використання відновлюваних джерел енергії для зменшення негативного впливу енергоспоживання на навколишнє середовище, адже енергетичний сектор наразі є основним джерелом майже половини всіх викидів парникових газів. У вирішенні цих проблем важливу роль відіграє система інтелектуального енергопостачання (Smart Grid), що представляє собою електричну мережу, яка включає різноманітні заходи щодо оптимізації та ефективного використання енергії [1, 2]. Це може включати застосування розумних лічильників, інтеграцію інтелектуальних споживачів, а також використання відновлюваних джерел енергії та ресурсів [3, 4]. Ключовими елементами цієї системи є електронне керування параметрами енергопостачання, а також регулювання виробництва та розподілу електроенергії.

Термін “Smart Grid” був вперше введений у 2003 році, коли Electric Power Research Institute запропонував замінити традиційні електромеханічні пристрої енергосистеми на системи електронного керування. Офіційне визначення “розумної мережі” було закріплено у 2007 році в США в рамках закону “Про енергетичну незалежність та безпеку”. Найбільші програми Smart Grid реалізуються в США, Канаді, Китаї та Європейському Союзі, а також розглядаються в таких країнах, як Індія, Бразилія та Мексика [5].

Системи Smart Grid призначені для створення енергоефективної, надійної та гнучкої мережі, здатної адаптуватися до зростаючого попиту на енергію та інтеграції відновлюваних джерел, таких як сонячна та вітрова енергія, а також покращення якості обслуговування та залучення споживачів до керування енергоспоживанням, де користувачі можуть не тільки споживати, а й виробляти енергію (так звані “проз’юмери”). Це дає змогу ефективно інтегрувати децентралізовані джерела енергії і створювати економічні стимули для раціонального використання ресурсів [6, 7].

Впровадження Smart Grid включає ключові етапи та технології, які забезпечують інтеграцію сучасних рішень в енергетичну інфраструктуру. Першочерговим є інсталяція розумних лічильників і датчиків для точного обліку електроенергії, моніторингу та оптимізації споживання в реальному часі. Інтеграція відновлюваних джерел енергії (сонячної, вітрової) сприяє зменшенню втрати від традиційних ресурсів та мінімізації негативного впливу на довкілля, забезпечуючи баланс енергетичних потоків [8, 9]. Автоматизація керування потоками енергії і створення мікромереж спрямовані на гнучке реагування на зміну попиту й зменшення навантаження на основну мережу. Важливою складовою є залучення споживачів як активних учасників енергетичного ринку (проз’юмерів), які виробляють і надають енергію за допомогою смарт-контрактів. Для забезпечення безпеки системи використовують методи шифрування, захист від кібератак і цифрові двійники для тестування і прогнозування поведінки мережі [10].

Інтелектуальні енергетичні системи Smart Grid вже активно впроваджуються в різних країнах світу. У США для модернізації застарілої енергетичної інфраструктури встановлюються розумні лічильники та мережі, що дає змогу ефективно керувати попитом на енергію та інтегрувати відновлювані джерела енергії. Китай працює над модернізацією своїх електромереж, використовуючи розумні лічильники та автоматизовані системи керування для забезпечення надійного енергопостачання. У країнах ЄС, зокрема в Німеччині, Франції та Іспанії, реалізуються проекти Smart Grid, спрямовані на підвищення ефективності використання електроенергії та інтеграцію відновлюваних джерел енергії, що сприяє сталому енергопостачанню і скороченню викидів [11, 12].

Потенціал систем Smart Grid є значним і багатограним. Smart Grid дає змогу оптимізувати використання електроенергії, знижуючи загальні витрати для постачальників і споживачів та

скорочуючи потребу в резервних потужностях. Інтеграція відновлюваних джерел енергії, таких як сонячна і вітрова енергія, робить енергетичну систему більш стійкою і зменшує залежність від традиційних джерел.

Список використаних джерел:

1. Nerubatskyi V. P., Hordiienko D. A. Energy efficient ways of using energy accumulators in the Smart Grid concept. *Праці Інституту електродинаміки Національної академії наук України*. 2023. Вип. 66. С. 11–15. DOI: 10.15407/publishing2023.66.011.
2. Chubai N., Аврука І. Роль та перспективи впровадження розумної енергосистеми Smart Grid в сучасному світі. *Modeling Control and Information Technologies*. 2023. № 6. С. 282–285. DOI: 10.31713/МСІТ.2023.087.
3. Нерубацький В. П., Гордієнко Д. А. Підвищення енергоефективності системи тягового електропостачання електричного рухомого складу за допомогою інтегрованої системи SMART GRID. Матеріали п'ятої всеукраїнської науково-практичної інтернет-конференції студентів, аспірантів і молодих вчених «Актуальні проблеми сучасної енергетики» (Херсон, ХНТУ, 20–22 травня 2020 р.). Херсон: ПП «Резнік», 2020. С. 165–168.
4. Денисюк С. П., Стшелецькі Р. Формування складових інтелектуальної платформи керування енергетичними системами та мережами. *Енергетика: економіка, технології, екологія*. 2019. № 3. С. –22.
5. Sospiro P., Amarnath L., Di Nardo V., Talluri G., Gandoman F. H. Smart Grid in China, EU, and the US: State of Implementation. *Energies*. 2021. Vol. 14, Iss. 18. 5637. DOI: 10.3390/en14185637.
6. Nerubatskyi V. P., Hordiienko D. A. Analysis of the smart grid concept in the railway traction power supply system. *Power engineering: economics, technique, ecology*. 2024. No. 2. P. 7–13. DOI: 10.20535/1813-5420.2.2024.303066.
7. Матвеева Ю. Т., Колосок С. І., Вакуленко І. А. Аналіз зарубіжного досвіду щодо забезпечення енергетичної ефективності на основі моделі Smart Grid. *Ефективна економіка*. 2019. № 4. DOI: 10.32702/2307-2105-2019.4.36.
8. Nerubatskyi V., Plakhtii O., Ananieva O., Zinchenko O. Analysis of the Smart Grid concept for DC power supply systems. *International scientific journal «Industry 4.0»*. 2019. Vol. 4, Issue 4. P. 179–182.
9. Nerubatskyi V. P., Hordiienko D. A. Application concepts of the element base of power electronics in the smart grid network. Матеріали VII всеукраїнської науково-практичної інтернет-конференції студентів, аспірантів і молодих вчених «Актуальні проблеми сучасної енергетики» (Хмельницький, ХНТУ, 25 травня 2023 р.). Херсон: Книжкове видавництво ФОП Вишемирський В. С., 2023. С. 119–121.
10. Бовчалюк С. Я., Тимчук С. О., Фурман І. О., Піскарьов О. М. Перспективи побудови інтелектуальних мереж SMART GRID базі ПЛІС-технологій. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. 2017. Вип 5. С. 80–85.
11. Nerubatskyi V. P., Hordiienko D. A. Implementation of the railway traction substation in the smart grid concept. Матеріали доповідей II всеукраїнської науково-практичної конференції «BIM-технології в будівництві: досвід та інновації» (Харків, ХНУМГ імені О. М. Бекетова, 15–16 грудня 2023 р.). Харків: ХНУМГ імені О. М. Бекетова, 2023. С. 79–80.
12. Мареха І. С. Детермінанти ефективного розвитку технологічної концепції SMART GRID в умовах глобального енергетичного простору. *Держава та регіони*. 2020. № 3. С. 49–54.

ОСОБЛИВОСТІ ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНОГО ОБҐРУНТУВАННЯ МЕРЕЖЕВОЇ КОМБІНОВАНОЇ ВІТРО-СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ

Вступ. Відновлювані джерела енергії (ВДЕ) відіграють важливу роль у досягненні цілей декарбонізації енергетики. Основними технологіями ВДЕ для вироблення електричної енергії за приростом встановленої потужності в світі є сонячні фотоелектричні установки (СФЕУ) та наземні вітрові електроустановки (ВЕУ), бо їх цінова конкурентоспроможність суттєво зросла за останнє десятиліття. Міжнародне агентство з ВДЕ (IRENA) та інвестиційні інституції (наприклад, Lazard) наголошують, що сьогодні середньозважена вартість електричної енергії (LCOE) у таких проєктах нижча, порівняно з використанням традиційних технологій електрогенерації з викопного палива. Комбіновані електростанції поєднують вітрові та сонячні електроустановки на одному майданчику, збільшуючи загальний виробіток електричної енергії та зменшуючи залежність його обсягу від погодних умов. У дослідженні [1] показано, що завдяки такому комбінуванню досягається економія витрат до 16 %, порівняно з віртуальним об'єднанням окремих сонячної та вітрової електростанцій тієї ж потужності; обсяг потенційної економії залежить від сумарної встановленої потужності: кращі показники має мережева комбінована електростанція 50 МВт і вище.

Після цілеспрямованих атак Російської Федерації енергетичних об'єктів, доступна встановлена потужність в об'єднаній енергосистемі України скоротилася на 66 %, із 27 ГВт у 2021 р. до 18 ГВт у 2023 р. [2]. Це ускладнює стабільне забезпечення споживачів електричною енергією сьогодні, і унеможливає його за умови подальшого зростання електроспоживання.

Мета: визначити особливості техніко-економічного обґрунтування мережевої комбінованої вітро-сонячної електростанції на прикладі проєкту будівництва об'єкта встановленою потужністю 50 МВт у м. Канів, Черкаської області.

Матеріал і результати досліджень. Енергетична ефективність використання СФЕУ та ВЕУ суттєво залежить від кліматичних умов у місці розташування електростанції. За даними атласу енергетичного потенціалу ВДЕ України [3], сумарна сонячна радіація (ρ) за рік у м. Канів Черкаської області складає $1150 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^2$, швидкість вітру (v) на висоті 10 м – 3,3 м/с, коефіцієнт використання номінальної потужності для типової ВЕУ трьохмегавтного класу (висота осі ротора 135 м, діаметр вітроколеса 126 м) – 0,36.

Разом із тим, впродовж доби і протягом року обсяг генерованої потужності ВЕУ та СФЕУ суттєво коливається. У роботі досліджувалися дані про швидкість вітру та рівень сонячної радіації в місці розташування проєктованої електростанції, доступні у відкритих джерелах: (1) типовий метеорологічний рік на платформі PVGIS; (2) проєкт NASA POWER; (3) платформа обробки метеоданих Open-Meteo. Результати представлено на рис. 1.

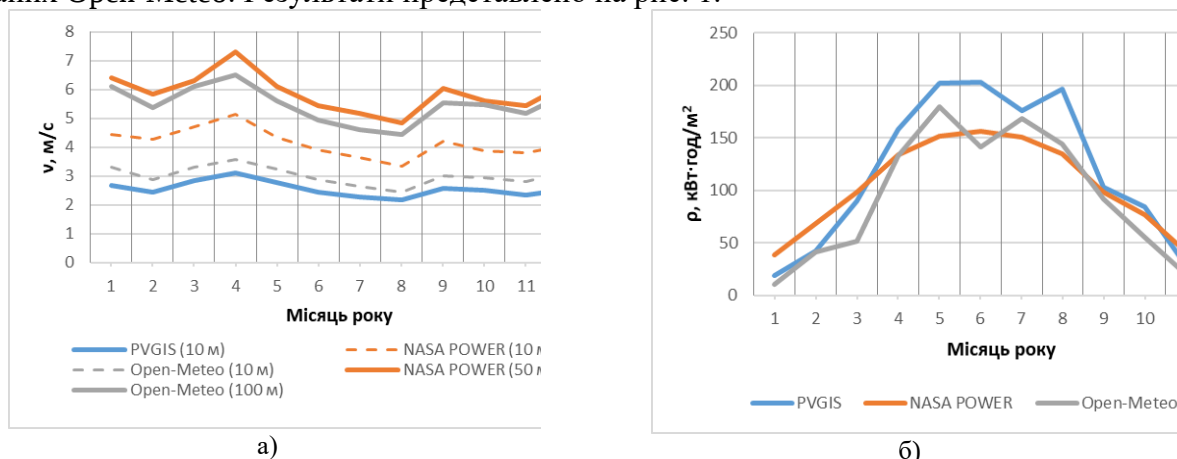


Рисунок 1 – Кліматичні умови в місці розташування проєктованої електростанції за даними відкритих джерел: а) швидкість вітру; б) сумарна сонячна радіація за місяцями року

На платформі PVGIS наявні дані про швидкість вітру лише на висоті 10 м, середнє значення швидкості вітру протягом року менше 3 м/с, тобто не досягає значень, необхідних для старту роботи більшості БЕУ. На сайті проєкту NASA POWER доступні дані про швидкість вітру на висоті 10 м та 50 м; на платформі Open-Meteo – 10 м та 100 м. Як бачимо з рис. 1 (а), швидкість вітру на висоті 50 м та 100 м варіює впродовж року від 4,5 до 7 м/с, що достатньо для старту БЕУ. Разом із тим, достовірність даних у відкритому доступі викликає сумніви, бо швидкість вітру за даними NASA POWER на висоті 50 м вища, ніж на висоті 100 м за даними Open-Meteo. Можемо зробити висновок, що для реалістичної оцінки швидкості вітру і відповідного прогнозу виробітку електричної енергії БЕУ протягом року необхідно виконати вітровимірювання в місці розташування проєктованої електростанції. Альтернативним варіантом дій під час техніко-економічного обґрунтування проєкту є прогнозування виробітку електричної енергії БЕУ протягом року за даними швидкості вітру із відкритих джерел разом із оцінкою імовірності прогнозу.

Для заданої сумарної потужності комбінованої електростанції виникає задача визначення оптимальних значень встановленої потужності БЕУ та СФЕУ. В [4] запропоновано використання в якості критерію коефіцієнта варіації потужності (на мінімум). Але для інвестора критерієм прийняття рішення є значення чистої приведеної вартості (NPV) проєкту, тому в роботі розглянуто іншу цільову функцію (1), яка включає інвестиційні витрати (CAPEX) та загальний дисконтований прибуток від продажу електричної енергії за увесь період експлуатації електростанції (T).

$$NPV = \sum_{i=0}^T \frac{CF_i}{(1+d)^i} = -CAPEX + \sum_{i=1}^T CF_i \rightarrow \max. \quad (1)$$

Сьогодні реалізація проєктів мережевих комбінованих вітро-сонячних електростанцій в Україні обмежена не лише військовим станом, а і недостатньою підготовкою регуляторної бази. «Зелений» тариф, передбачений для ВДЕ, поширюється лише на комбіновані електростанції встановленою потужністю до 150 кВт. Тому електрична енергія, вироблена комбінованою електростанцією більшої потужності, буде продаватися на загальних умовах ринку двосторонніх договорів та ринку на добу наперед.

У (1) також необхідно врахувати вартість приєднання комбінованої електростанції до електричних мереж. Технічні вимоги СОУ НЕК 341.001:2019 щодо паралельної роботи з об'єднаною енергосистемою України стосуються сонячних та вітрових електростанцій, але не їх комбінації. Згідно вимог Кодексу системи передачі, комбінована електростанція зі встановленою потужністю 50 МВт може бути віднесена до типу С або типу D, залежно від напруги в точці приєднання (до 110 кВ чи вище).

Під час розроблення техніко-економічного обґрунтування мережевої комбінованої електростанції запропоновано візуалізувати результати розрахунків за допомогою дерева рішень. Це дозволить порівнювати NPV проєкту, розраховані для різних значень імовірності прогнозованого сукупного виробітку електричної енергії та різних припущень щодо цін на електричну енергію за час експлуатації електростанції.

Висновки. Розглянуто особливості техніко-економічного обґрунтування проєкту мережевої комбінованої електростанції: використання кліматичних даних із відкритих джерел для прогнозування сумарного виробітку електричної енергії БЕУ та СФЕУ; визначення оптимальної комбінації встановленої потужності БЕУ та СФЕУ за критерієм максимального NPV проєкту; обмеженість регуляторної бази для проєктів мережевих комбінованих електростанцій; доцільність представлення результатів розрахунків у вигляді дерева рішень.

Список використаних джерел

1. Barker A., Bhaskar P., Anderson B., Eberle A. Potential Infrastructure Cost Savings at Hybrid Wind Plus Solar PV Plants. *National Renewable Energy Laboratory*. Golden, CO: NREL/TP-5000-78912. 2021. URL: <https://www.nrel.gov/docs/fy22osti/78912.pdf>.
2. Звіт про результати діяльності НКРЕКП, 2023. *Національна комісія, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг*. URL: https://www.nerc.gov.ua/storage/app/sites/1/Docs/Byuleten_do_richnogo_zvitu/broshura_do_richnogo_zvitu_nkrekp-2023.pdf.
3. Атлас енергетичного потенціалу відновлюваних джерел енергії України / за заг.ред. С.О. Кудрі. Київ: Інститут відновлюваної енергетики НАН України, 2020. 82 с.
4. Кузнецов М. П. Особливості комбінованих енергосистем з відновлюваними джерелами енергії: монографія. Київ: Інститут відновлюваної енергетики НАН України, 2022. 142 с.

ВПРОВАДЖЕННЯ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ІННОВАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ В ЕНЕРГЕТИЧНІЙ ГАЛУЗІ

Інноваційні технології в енергетиці охоплюють широкий спектр рішень, спрямованих на підвищення ефективності виробництва та використання енергії, зменшення негативного впливу на навколишнє середовище та адаптацію енергетичних систем до сучасних викликів [1, 2]. Однією з ключових тенденцій тут є перехід від централізованих джерел енергії до децентралізованих та відновлюваних, що допомагає стабілізувати систему та зменшити залежність від викопних видів палива. У багатьох країнах цей процес відомий як “енергетичний перехід” і включає заміну старих технологій на сучасні з використанням енергії сонця, вітру, гідроенергії та біомаси, що дає змогу значно скоротити викиди CO₂ та підвищити екологічність енергетичного сектору.

В роботі було розглянуто напрямки можливих інновацій. Децентралізація енергосистеми – відмова від великих централізованих електростанцій, все більший перехід на місцеві, децентралізовані об’єкти виробництва енергії, що дає змогу швидше реагувати на зміни попиту і пропозиції та підвищує стійкість до потенційних перебоїв. Розумні мережі (Smart Grid), наприклад, дають можливість інтегрувати відновлювані джерела енергії у систему, забезпечуючи гнучке керування та економію ресурсів. Штучний інтелект та Інтернет – це цифрові рішення, які дозволяють контролювати енергосистеми в режимі реального часу. Завдяки цьому зростає ефективність використання енергії, знижується навантаження на мережі та забезпечується оптимальне використання ресурсів. Крім того, ці технології дають змогу передбачати пікові навантаження та керувати виробництвом відповідно до поточних потреб. Системи накопичення – великі акумуляторні батареї, здатні накопичувати надлишок енергії, виробленої відновлюваними джерелами, і використовувати його під час пікових навантажень. Це значно стабілізує енергопостачання, особливо коли виробництво знижується через несприятливі погодні умови. Воднева енергетика розглядається як перспективне джерело енергії для важкої промисловості та транспорту. Застосування “зеленого” водню, який виробляється з відновлюваних джерел, дозволяє зменшити викиди вуглецю і сприяє розвитку екологічно чистих виробництв. В Україні водневі технології розглядаються як один із ключових напрямків для скорочення залежності від викопних джерел палива. Технологія блокчейн – прозоре відстежування ланцюжка постачання енергії та керування операціями, пов’язаними з торгівлею відновлюваною енергією. Це також забезпечення надійності обліку даних та сприяння розвитку децентралізованих систем енергетики, де кожен споживач може стати і виробником, і споживачем енергії.

Переваги інноваційних технологій в енергетиці охоплюють ефективність, екологічність та надійність. Впровадження таких рішень сприяє більш економічному використанню ресурсів, зниженню витрат на енерговиробництво, а також мінімізує вплив на навколишнє середовище [3, 4].

У процесі аналізу впровадження інноваційних технологій в енергетиці було визначено основні переваги, а саме підвищення енергоефективності, екологічна стійкість, збільшення надійності та гнучкості енергосистеми, а також зниження витрат. Інноваційні технології сприяють зменшенню енергетичних втрат на етапах виробництва, транспортування і споживання енергії. Нові технології, особливо у відновлюваній енергетиці, сприяють зниженню вартості виробництва електроенергії. Водночас, розвиток технологій, як-от перовскітові сонячні панелі, допомагає знизити вартість установок і збільшити доступність чистої енергії навіть у віддалених регіонах.

Інноваційні технології в енергетичній галузі стикаються з низкою викликів, що уповільнюють їх впровадження. По-перше значною перешкодою є висока вартість реалізації, оскільки для запуску інноваційних проєктів, особливо на початкових етапах, потрібні великі інвестиції, що створює труднощі для країн із низьким рівнем доходів. По-друге, існує проблема нестабільності виробництва відновлюваних джерел, таких як сонячна і вітрова енергія, які залежать від погодних умов, що вимагає використання систем накопичення енергії з їх власними обмеженнями. Третім викликом є обмежена

інфраструктура. У багатьох країнах розподільчі мережі та комунікаційні технології не готові для інтеграції нових енергетичних рішень, що ускладнює модернізацію через відсутність належного фінансування. Крім того, соціальні та регуляторні перешкоди теж мають значний вплив. Брак відповідної правової бази та нестабільність енергетичної політики обмежують розвиток нових технологій [5, 6]. До того ж, деякі громади виступають проти встановлення вітрових чи сонячних електростанцій через екологічні та естетичні побоювання.

Ці виклики вимагають комплексного підходу для подолання, включаючи фінансову підтримку, розвиток інфраструктури, створення стабільної правової бази та інформування громадськості про переваги таких змін.

Таким чином, для подолання викликів у впровадженні інноваційних технологій необхідно залучати інвестиції через субсидії та податкові пільги, поліпшувати акумуляторні системи, модернізувати розподільчі мережі, створювати стабільну політику, інформувати громадськість, розвивати програми навчання та підвищення кваліфікації, підтримувати наукові дослідження, впроваджувати механізми торгівлі вуглецевими кредитами і сприяти міжнародній співпраці.

Інноваційні технології в енергетичній галузі мають великий потенціал для трансформації енергетичних систем, зниження екологічного впливу та забезпечення сталого розвитку, що робить їх важливим інструментом для вирішення глобальних енергетичних і екологічних викликів.

Список використаних джерел:

1. Денисюк С. П., Стшелецькі Р. Формування складових інтелектуальної платформи керування енергетичними системами та мережами. *Енергетика: економіка, технології, екологія*. 2019. № 3. С –22.
2. Nerubatskyi V. P., Hordiienko D. A. Energy efficient ways of using energy accumulators in the Smart Grid concept. *Праці Інституту електродинаміки Національної академії наук України*. 2023. Вип. 66. С. 11–15. DOI: [10.15407/publishing2023.66.011](https://doi.org/10.15407/publishing2023.66.011).
3. Матвєєва Ю. Т., Колосок С. І., Вакуленко І. А. Аналіз зарубіжного досвіду щодо забезпечення енергетичної ефективності на основі моделі Smart Grid. *Ефективна економіка*. 2019. № 4. DOI: [10.32702/2307-2105-2019.4.36](https://doi.org/10.32702/2307-2105-2019.4.36).
4. Nerubatskyi V. P., Hordiienko D. A. Analysis of the smart grid concept in the railway traction power supply system. *Power engineering: economics, technique, ecology*. 2024. No. 2. P. 7–13. DOI: [10.20535/1813-5420.2.2024.303066](https://doi.org/10.20535/1813-5420.2.2024.303066).
5. Бовчалюк С. Я., Тимчук С. О., Фурман І. О., Піскарьов О. М. Перспективи побудови інтелектуальних мереж SMART GRID базі ПЛІС-технологій. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. 2017. Вип 5. С. 80–85.
6. Nerubatskyi V., Plakhtii O., Ananieva O., Zinchenko O. Analysis of the Smart Grid concept for DC power supply systems. *International scientific journal «Industry 4.0»*. 2019. Vol. 4, Issue 4. P. 179–182.

ГІБРИДНЕ ЕЛЕКТРОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРОМИСЛОВИХ ОБ'ЄКТІВ ВІД ДАХОВИХ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ СИСТЕМ

Вступ. Внаслідок знищення рф великого відсотка теплових електростанцій, що здійснювали генерування потужностей в пікові години, були задіяні графіки відключення світла, що в свою чергу істотно вплинуло на роботу багатьох підприємств. Одним із рішень було впровадити фотоелектричні сонячні системи. У зв'язку з досить швидким розвитком альтернативних джерел енергії, державним програм, які сприяють використанню даного виду СЕС та екологічності цього виду енергії, впровадження СЕС дозволяє власникам сонячних батарей зекономити кошти, тобто є досить вигідним капіталовкладенням.

Мета роботи. Метою даного дослідження є розгляд доцільності впровадження гібридної фотоелектричної установки для промислового підприємства.

Матеріал і результати дослідження.

В ході проведення дослідження для даного підприємства, було запропоновано, що місцезнаходження його - Львівська область. Відповідно до площі кожної будівлі, проектувались сонячні панелі, на рисунку. 1.

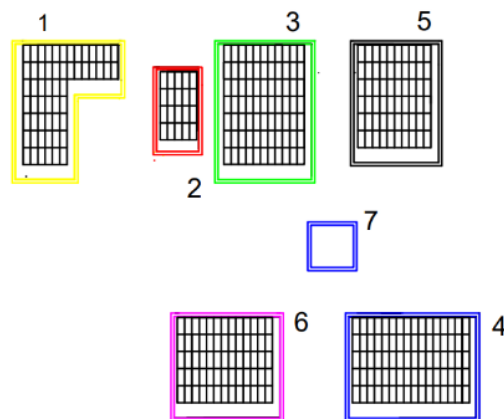


Рисунок 1 - Схема розміщення сонячних панелей на дахах підприємства

На території підприємства знаходяться такі будівлі: 1 – Адміністративно-побутовий корпус; 2 – Котельня; 3 – Склад первинної сировини; 4 – Сушарня; 5 – Виробничий цех; 6 – Склад готової продукції; 7 – Трансформаторна підстанція.

Загальні результати дослідження щодо генерування СЕС для усіх будівель дорівнюють 166 086 кВт·год. На рисунку 2 показана діаграма річної генерації фотоелектричної системи об'єкта, згідно звіту програми PVsyst.

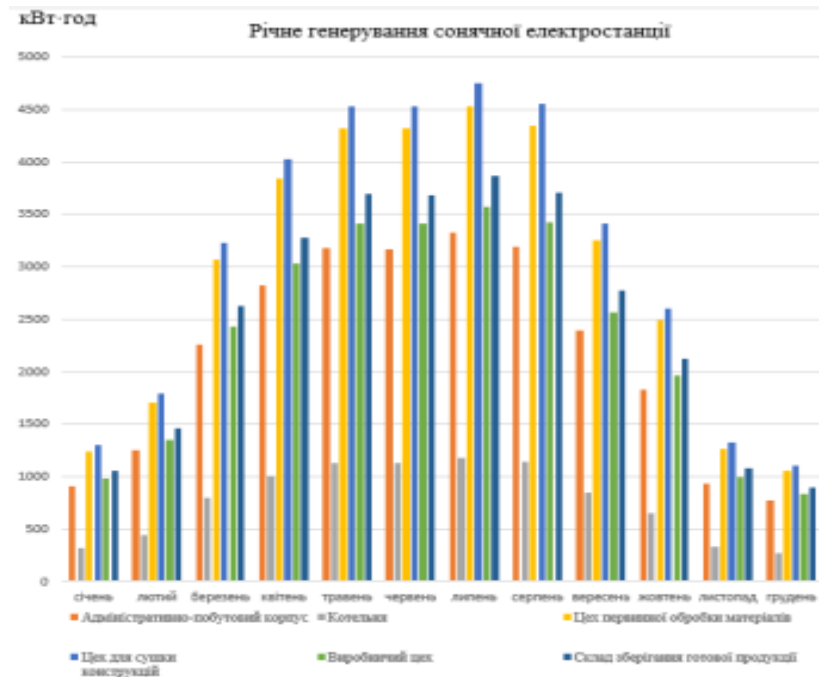


Рисунок 2 - Діаграма помісячної генерації СЕС

В ході роботи для розрахунку економічної доцільності впровадження даної сонячної електростанції були розраховані капітальні витрати, загальна вартість яких - 3 991 487,412 грн з ПДВ. Для розрахунку вартості, необхідно було дізнатись який діє тариф, згідно сайту ТОВ «Львівенергозбут» [1], а також яка облікова ставка НБУ [2]. Після чого, програмою EXCEL відбувся розрахунок окупності даної фотоелектричної установки, в результаті чого він склався – 2,6 років, у терміні двадцяти років експлуатації.

Висновки

У даному дослідженні було опрацьоване гібридне електрозабезпечення промислових об'єктів від дахових фотоелектричних систем, а саме: загальне значення генерування фотоелектричної установки та вартість капітальних витрат. В ході дослідження визначено, що термін окупності є хорошим показником, який показує що в найближчі роки це капіталовкладення зможе покрити свої витрати, і забезпечить підприємству менші витрати на виробництво.

Список використаних джерел:

1. (No date) Персональний кабінет для юридичних клієнтів | Енергопостачальна компанія Львівенергозбут. Доступно за адресою: https://lez.com.ua/personalniy_kabinet_yurydychni_kliienty_lvivenergozbut (Дата звернення: 15 листопада 2024).
2. Облікова ставка національного банку (no date) Національний банк України. Доступно за адресою: <https://bank.gov.ua/ua/monetary/archive-rish> (Дата звернення: 15 листопада 2024).
3. References:
4. (No date) Personal office for legal clients | Energy supply company Lvivenergosbut. Available at: https://lez.com.ua/personalniy_kabinet_yurydychni_kliienty_lvivenergozbut (Accessed: 15 November 2024).
5. Discount rate of the national bank (no date) National Bank of Ukraine. Available at: <https://bank.gov.ua/ua/monetary/archive-rish> (Accessed: 15 November 2024).

1. .

НАВЧАЛЬНИЙ ЗАСТОСУНОК ELECTRYKA ДЛЯ ЗАЛУЧЕННЯ ПОБУТОВИХ СПОЖИВАЧІВ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ ДО УПРАВЛІННЯ ПОПИТОМ

Вступ. Управління попитом на електричну енергію набуває нової актуальності з огляду на дефіцит генерувальних потужностей, що виник після масових атак Російської Федерації об'єктів енергетики України. До управління попитом важливо залучити побутових споживачів, які станом на 2023 рік складають 38 % роздрібного ринку електричної енергії з річним обсягом споживання 31,6 млрд кВт·год [1]. Звичайно, саме по собі підвищення тарифів на електричну енергію для побутових споживачів з 01.06.2024 року до 4,32 грн/кВт·год стимулює населення скорочувати власні витрати. Разом із тим, досвід впровадження програм управління попитом в інших країнах, де побутові споживачі завжди сплачували за електричну енергію за ринковими цінами (наприклад, кампанія взимку 2022 року у Великобританії [2]), показує не лише значний потенціал залучення домогосподарств до управління попитом, а і необхідність навчання учасників таких програм.

Мета роботи: розробити навчальний застосунок для побутових споживачів електричної енергії, який би враховував особливості електроспоживання домогосподарств та допомагав залучати їх до управління попитом.

Матеріал і результати дослідження. Для залучення побутових споживачів до управління попитом важливо враховувати наступне. По-перше, це досить чисельна група, всередині якої будуть суттєві відмінності. Обсяг електроспоживання залежить від багатьох чинників: характеристик будівлі, зокрема використання електричної енергії для опалення та гарячого водопостачання; соціально-демографічних характеристик домогосподарства; побутових електроприладів, що наявні в користуванні; звичок та ставлення споживачів до енергозбереження. По-друге, побутові споживачі сплачують за спожиту електричну енергію, як правило, один раз на місяць; і саме вартість електроспоживання є тим показником, який мотивуватиме змінювати усталені поведінкові моделі. По-третє, для побутових споживачів електричної енергії в Україні доступний тариф, диференційований за періодами часу. Оскільки його використання потребує облаштування спеціального обліку, то важливо для конкретного домогосподарства порівнювати потенційну економію в оплаті та витрати на встановлення зонного лічильника. Зазначені особливості покладено в основу розроблення навчального застосунку для побутових споживачів електричної енергії ELECTRYKA.

Ядром цільової аудиторії навчального застосунку вважаємо учнів середньої та старшої школи, а також їхніх батьків і вчителів. Саме підлітки можуть стати тими, хто змінює поведінкові моделі своєї сім'ї у споживанні електричної енергії, а пізніше, у самостійному дорослому житті – активними споживачами.

Оцінка вартості електричної енергії, що споживається домогосподарством за місяць, у застосунку ELECTRYKA розраховується за формулою (1), тобто залежить від наявних у користуванні електроприладів, тривалості їх роботи та тарифної системи.

$$EB = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m P_{ij} \times t_{ij} \times C_j \times k_j \times d, \quad (1)$$

де EB – оцінка вартості електричної енергії для домогосподарства за місяць, грн; P_{ij} – потужність i -го електроприладу в часовому інтервалі доби j , кВт; t_{ij} – тривалість роботи i -го пристрою в часовому інтервалі доби j , год; C_j – ціна електричної енергії в часовому інтервалі доби j , грн/кВт·год; n – загальна кількість побутових електроприладів; m – загальна кількість часових інтервалів доби; k_j – коефіцієнт диференційованого тарифу в часовому інтервалі доби j ; d – кількість днів у місяці.

Запропоновано п'ять профілів побутових споживачів, залежно від річного обсягу електроспоживання (табл. 1): I – дуже низький обсяг електроспоживання (ДН), II – низький (Н), III – середній (С), IV – високий (В), V – дуже високий (ДВ). В основу цієї класифікації покладено кількісні оцінки, затверджені наказом Державної служби статистики України від 09.02.2023 р. № 47, та

стандартну структуру кінцевого споживання електричної енергії домогосподарства за цілями призначення.

Таблиця 1

Запропоновані профілі побутових споживачів за обсягом електроспоживання

Профіль побутового споживача	Річний обсяг електроспоживання ($EB_{\text{рік}}$), кВт·год	Використання електричної енергії за призначенням: (+) / (-)					
		Опалення	Кондиціювання	Підігрів води	Приготування їжі	Освітлення та побутові прилади	Інше
I – ДН	$EB_{\text{рік}} < 1000$	(-)	(-)	(-)	(-)	(+)	(-)
II – Н	$1000 \leq EB_{\text{рік}} < 2500$	(-)	(+) / (-)	(-)	(+) / (-)	(+)	(-)
III – С	$2500 \leq EB_{\text{рік}} < 5000$	(-)	(+)	(+) / (-)	(+)	(+)	(+) / (-)
IV – В	$5000 \leq EB_{\text{рік}} < 15000$	(+) / (-)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+) / (-)
V – ДВ	$EB_{\text{рік}} \geq 15000$	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)

Першу версію застосунку ELECTRYKA розроблено для користувачів iOS, короткий відеоогляд функціоналу представлено у відкритому доступі [3].

Для апробації розрахункової формули (1) використано дані про електроспоживання квартири в м. Києві. Результати розрахунків у застосунку ELECTRYKA показано на рис. 1.

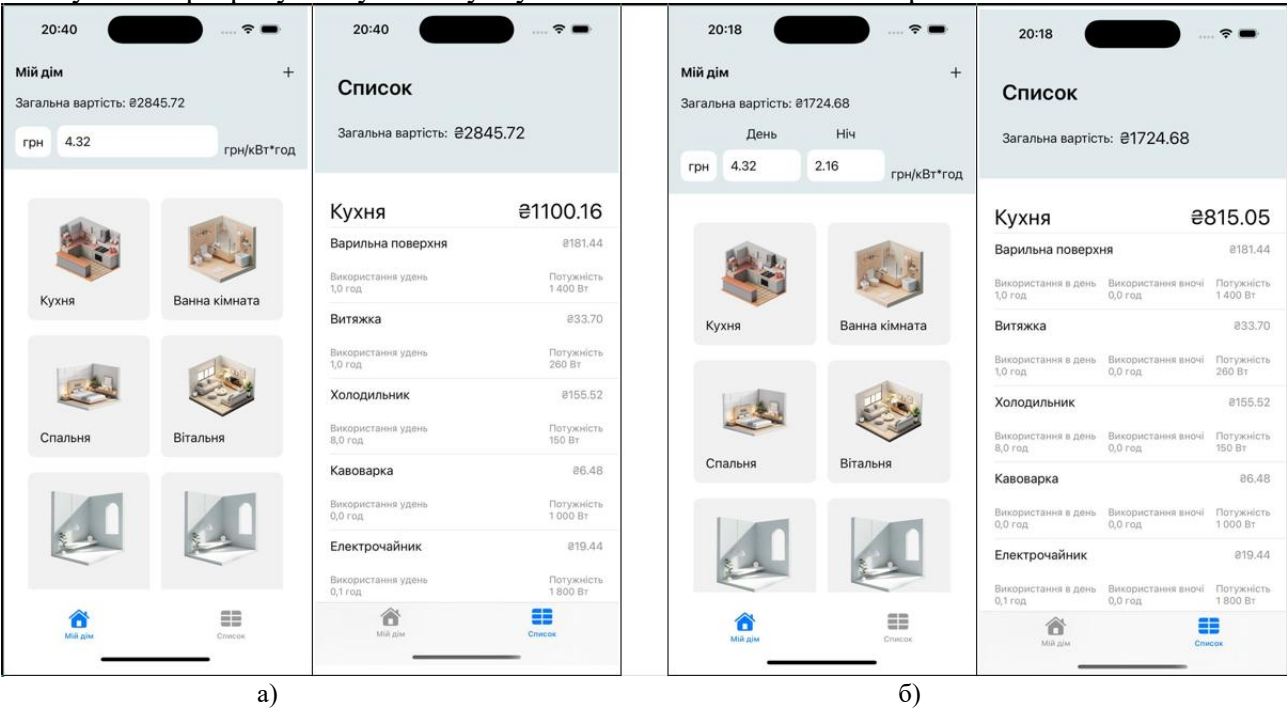


Рисунок 1 – Скріншоти розробленого застосунку ELECTRYKA: а) однозонний облік; б) двозонний

Висновки. Розроблений навчальний застосунок ELECTRYKA допомагає в інтерактивному форматі оцінювати вартість електричної енергії, що споживається домогосподарством за місяць, для залучення побутових споживачів до управління попитом.

Список використаних джерел:

1. Звіт про результати діяльності НКРЕКП, 2023. Національна комісія, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг. URL: https://www.nerc.gov.ua/storage/app/sites/1/Docs/Byuleten_do_richnogo_zvitu/broshura_do_richnogo_zvitu_nkrekp-2023.pdf.
- 2.Domestic Scarcity Reserve: trial results. Octopus-National Grid Energy System Operator. July, 2022 URL: https://octoenergy-production-media.s3.amazonaws.com/documents/OE-NGESO_Domestic_Scarcity_Reserve_Trial_Results_vSEND_v2.pdf.
- 3.Відеопрезентація першої версії застосунку ELECTRYKA для користувачів iOS. YouTube канал Сергей Молодец. URL: <https://www.youtube.com/shorts/RsyAlIxsYhw>.

УЛАШТУВАННЯ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ЗА РІЗНИХ КЛАСІВ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ БУДІВЛІ

Вступ. Коректне улаштування системи електропостачання є основою безпечної, енергоефективної та зручної експлуатації будівлі. Вона забезпечує надійність електропостачання, комфорт, мінімізує ризики аварій і сприяє екологічності. Якісна система дозволяє будівлі не лише відповідати вимогам сьогодення, а й легко адаптуватися до майбутніх потреб.

Метою роботи є визначення вимог до архітектурних та функціональних характеристик систем електропостачання будівлі цивільного призначення у відповідності до її класу енергоефективності.

Об'єкт дослідження - Центр розвитку дитини – садочок, який складається з основної будівлі та будівлі з басейном, знаходиться в м. Київ. Мережа груп - 194 дитини. Режим роботи: п'ятиденний з 7.30 до 18.00. Основними споживачами енергії є ТЕНи для нагріву води басейну, електричні водяні нагрівачі накопичувального типу (бойлери) для забезпечення потреб гарячого водопостачання, побутова техніка для забезпечення потреб дітей, система тепlopостачання, система освітлення. За результатами розрахунків будівлі закладу базово відповідають класу енергоефективності Е.

В роботі проведений аналіз системи електропостачання будівлі центру розвитку дитини на предмет її відповідності сучасним нормам та правилам. Досліджено можливості підвищення класу енергоефективності будівлі та перелік необхідних змін в системі електропостачання для їх реалізації.

Аналіз можливостей підвищення класу енергоефективності будівель цивільного призначення. Енергетична ефективність – це кількісне співвідношення між роботою, послугами, товарами або енергією на виході та витраченою енергією на вході [1]. Тож чим менше енергії будівля споживає, тим менше шкоди довкіллю вона завдає і тим легше буде поступово заміщувати брудне паливо більш чистими та безпечними відновлюваними джерелами енергії (сонце, вітер, біомаса тощо).

В рамках даної роботи було проведене дослідження, які умови мають виконуватись для досягнення цивільною будівлею з різними конструктивними характеристиками відповідного класу енергоефективності.

Таблиця 1 – Впроваджені заходи відповідно різних класів енергоефективності

Класи енергоефективності та характеристики будівлі / Заходи до впровадження	D	C	B
• утеплення стін/даху/підлоги; • часткова заміна вікон та дверей; • встановлення ІТП; • утеплення трубопроводів ГВП та опалення в неопалювальних об'ємах;	Рік побудови – 1982 Стіни – кладка з цегли керамічної порожнистої 1400 кг/м ³ 0,51 м Коефіцієнт компактності 0,59 1 температурна зона	Рік побудови – 1983 Стіни- керамзитшлакобетон 0,2 м Коефіцієнт компактності – 0,32 2 температурна зона	-
• часткове встановлення автоматичних балансувальних клапанів; • повна заміна системи освітлення на енергоефективну.	Рік побудови – 2004 Стіни- цегла керамічна порожниста 0,51 м Коефіцієнт компактності – 0,32 1 температурна зона	Рік побудови – 1977 Стіни – кладка з цегли силікатної 0,51 Коефіцієнт компактності – 0,32 2 температурна зона	-

• утеплення стін/даху/підлоги; • заміна вікон та дверей; • встановлення ІТП; • утеплення трубопроводів ГВП та опалення в неопалювальних об'єктах; • встановлення автоматичних балансувальних клапанів; • повна заміна системи освітлення на енергоефективну; • система диспетчеризації; • тепловий насос; • СЕС.	-	-	Рік побудови – 1965 Стіни – кладка з цегли керамічної порожнистої 1400 кг/м ³ 0,78 м Коефіцієнт компактності – 0,34 1 температурна зона
	-	-	Рік побудови – 2019 Стіни – кладка з цегли керамічної звичайної 0,25 м Коефіцієнт компактності – 0,27 1 температурна зона

Особливості улаштування системи електропостачання будівлі цивільного призначення відповідно до класу енергоефективності. Побудова системи електропостачання повинна базово відповідати вимогам [2]. Аналіз даного документу показав невідповідність системи електропостачання об'єкту сучасним нормам і правилам (рис.1).

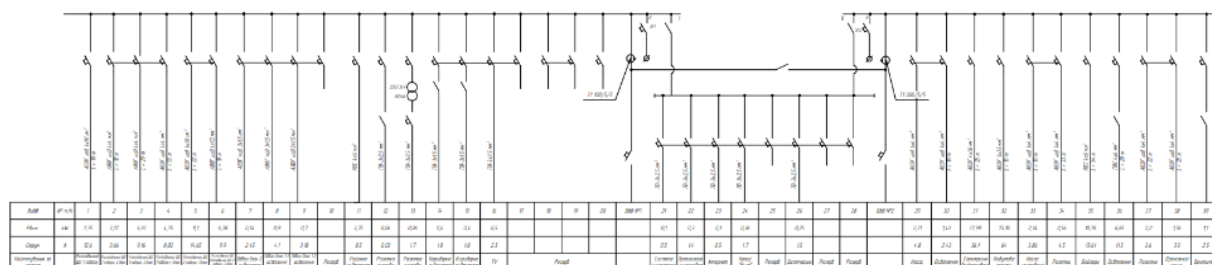


Рисунок 1. Система електропостачання будівлі центру розвитку дитини

Для досягнення будівлею об'єкта класу енергоефективності С не має необхідності вносити зміни в систему електропостачання. Достатньо приведення схеми електропостачання до вимог [2]. Проте, для досягнення вищих класів енергоефективності (А та В), є необхідним інтеграція джерел генерації на відновлювальних джерелах енергії (ВДЕ), модернізація системи освітлення, побудова системи диспетчеризації, встановлення ІТП. Відповідно, це потребує внесення змін до системи електропостачання будівлі та виконання вимог [4, 5, 6].

Висновки. Було проведено аналіз заходів з енергоефективності, сучасних вимог та правил до побудови систем електропостачання будівель цивільного призначення, визначено перелік заходів щодо модернізації системи електропостачання будівель у відповідності до певного класу енергоефективності.

Список використаної літератури

1. Закон України «Про енергетичну ефективність». Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1818-20#Text>;
2. ДБН В.2.5-23:2010 Інженерне обладнання будинків і споруд. Проектування електрообладнання об'єктів цивільного призначення;
3. ПУЕ Правила улаштування електроустановок (перше переглянуте, перероблене, доповнене та адаптоване до умов України видання);
4. ДСТУ ІЕС 61727:2019 Системи фотоелектричні. Характеристики точок підключення до інженерних мереж (ІЕС 61727:2004, ІДТ). Режим доступу: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=86631;
5. ІЕС/TS 62548:2013 Photovoltaic (PV) arrays – Design requirements. Режим доступу: <https://cdn.standards.iteh.ai/samples/16211/eac248ca7d804093aa32dbf95376325b/IEC-TS-62548-2013.pdf>;
6. ДСТУ HD 60364-5-56:2021 Низьковольтні електричні установки. Частина 5-56. Вибірання та монтування електричного устаткування. Системи безпеки (HD 60364-5-56:2018, ІДТ; ІЕС 60364-5-56:2018, ІДТ). Режим доступу: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=94399;
7. ДСТУ ІЕС 60364-7-712:2019 Електроустановки низьковольтні. Частина 7-712. Вимоги до спеціальних електроустановок або місць їх розташування. Системи живлення з використанням фотоелектричних батарей (ІЕС 60364-7-712:2017, ІДТ). Режим доступу: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=86629.

ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПРОМИСЛОВОГО ПІДПРИЄМСТВА ВІД НАЗЕМНОЇ СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ

Вступ

Тема набуває великої актуальності з точки зору економії е.е та заощадження коштів. Особливо в пікові години генерація СЕС припадає на пікові години споживання е.е. споживачами. Що в свою чергу призводить до підвищення ціни за 1 кВт е.е. на ринку е.е. Та використання системи (СЕС-гібридний інвертор- мережа) в довоєнні часи це була значна економія для юридичних споживачів.

В наш час російський агресор щодня б'є по електроенергетичній системі як по генерації так і по розподіленню що наносить не виправної шкоди системі. В прифронтових районах під удар попадають не потужні ТП навіть ЛЕП та ПЛ, що є най простішими елементами мережі та не потребують великих грошових вкладень та відновлюся швидко. Всі енергетики країни сумлінно виконують відновлювальні роботи навіть під обстрілами та намагаються забезпечити е.е. всіх споживачів.

Ці фактори вносять постійний небаланс в мережу та не дають швидко відновити баланс в генерації та споживанню. Для того щоб система стабілізувалася постійно виконуються аварійні відключення як споживачів так і генерації. Сам по собі небаланс системи може бути більш руйнівним в порівнянні з обстрілами. В моменти критичного підвищення чи пониження частоти необхідно негайно вимикати від системи елементи мережі. Що в свою чергу затягує відновлення електропостачання. Тому що для нарощування генерації потрібно симетрично нарощувати споживання та генерацію. В такому випадку навіть коли вся електромережа ціла, відновлення генерації до сталих потужностей займає не менше 4 днів.

Отже СЕС для підприємства може забезпечити додаткові години роботи в часи відключень світла та грошову економію в часи стабільного електропостачання. А правильно підібраний інвертор дозволить підвищити якість електроенергії для власних споживачів.

Мета та завдання

Метою статті є визначення можливості підвищення ефективності системи енергозабезпечення промислового підприємства шляхом застосування сонячної електростанції, економічна доцільності використання СЕС.

Матеріал і результати досліджень

1. Основні данні проекту.

Для забезпечення безперебійного живлення в часи аварійних відключень та часи стабілізаційних відключень, розглянемо застосування сонячної електростанції в парі з гібридним інвертором та акумуляторною батареєю.

Потужність підприємства 358 кВт у пікові години.

Параметри СЕС: 350 кВт, 625 панелей Redbo LR5-72HPH-550M, 2 інвертори Huawei SUN2000-175KTL-H0, 146 акумуляторних батарей.

Річна генерація 429 МВт-год.

Економія до 2,7 млн грн щорічно.

Порівняємо споживання підприємства з генерацією сонячної електростанції:

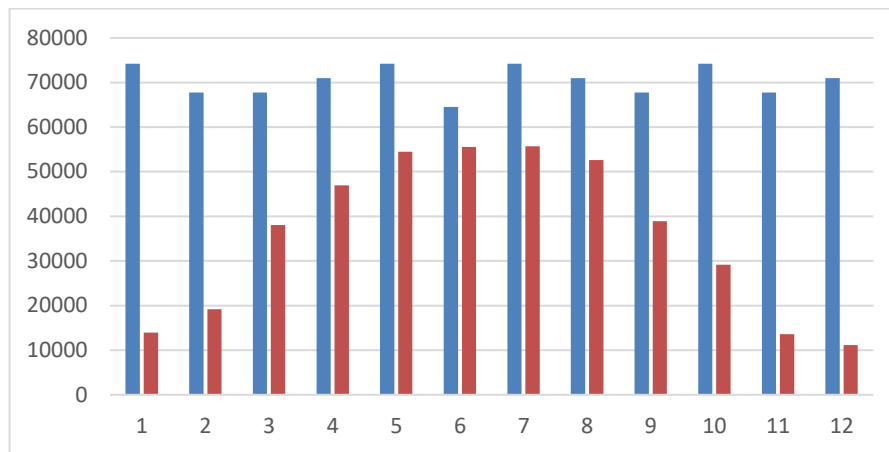


Рисунок 1 – Діаграма порівняння спожитої та згенерованої електроенергії.

Отже за допомогою діаграми видно що в літні місяці генерація сонячної електростанції майже перевищує споживання підприємства але в зимні місяці коли сонячного випромінювання замало сонячна електростанція покриває тільки 1/5 споживання підприємства.

2. Економічна доцільність.

Загальні витрати на побудову СЕС становлять 8,7 млн грн. При прогнозованій економії електроенергії проєкт окупається за 3,3 роки, а чистий приведений дохід (NPV) за 20 років становить 38,7 млн грн (зеконмлених грошей за реалізації проєкту). Дисконтований термін окупності – 4 роки.

Висновок

Сонячна електростанція – це ефективне рішення для енергозабезпечення промислових підприємств. Вона не тільки забезпечує економію коштів, але й сприяє екологічній стійкості, скорочуючи викиди CO₂. Окупність у 3,3 роки підтверджує інвестиційну привабливість проєкту, особливо в сучасних умовах України.

Перелік використаних джерел

1. Правила улаштування електроустановок [Текст]: вид. 3-є, перероб. і доп. Офіц. вид. К.: Мінпаливенерго України, 2010 - 736 с.
2. ДСТУ-Н В.2.5-80:2015 Настанова з проектування систем електропостачання промислових підприємств
3. Довідкова книга з світлотехніки. Айзенберг Ю.Б. (Ред.). 1983
4. Зеркалов Д.В. Енергозбереження в Україні. [Електронний ресурс] Монографія. – К.: Основа, 2012. – 582 с. Режим доступу: <http://www.zerkalov.kiev.ua/sites/default/files/ezu-mz.pdf>.
5. Офіційний сайт ТОВ «КОЕК» [електронний ресурс] URL: <https://koec.com.ua/page?root=23> (дата звернення 01.11.2021)
6. Putrus G.A, Suwanapingkarl P, Johnston D., Bentley E.C., Narayana M. Impact of electric vehicles on power distribution networks // Vehicle Power and Propulsion Conference VPPC '09, IEEE. – 2009. – pp.827 – 831.

ГАЛУЗЕВІ ОСОБЛИВОСТІ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ: ПРАКТИЧНІ ПІДХОДИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ

Анотація: Розглядаються галузеві аспекти підвищення енергоефективності, основні практичні підходи, а також перспективи для розвитку у різних секторах економіки, зокрема промисловості, транспорті, будівництві та сільському господарстві. Розуміння специфіки кожної галузі дає можливість формувати цілеспрямовані енергетичні стратегії, що забезпечують максимальну ефективність та стійкість.

Ключові слова: Енергоефективність, галузеві особливості, енергозбереження, промисловість, транспорт, будівництво, сільське господарство, біогазова установка, енергозберігаючі технології, розумні системи управління будівлями, сталий розвиток, енергетична зміна.

Abstract. This article examines sectoral aspects of improving energy efficiency, key practical approaches, and development prospects across various sectors, including industry, transport, construction, and agriculture. Understanding the specifics of each sector enables the development of targeted strategies that ensure maximum efficiency and sustainability.

Keywords: Energy efficiency, sectoral features, energy saving, industry, transport, construction, agriculture, biogas plant, energy-saving technologies, smart building management systems, sustainable development, energy transition.

Вступ. Сучасні виклики в енергетиці, пов'язані з обмеженістю природних ресурсів, зміною клімату й економічними трансформаціями, змушують країни, підприємства й окремі галузі економіки шукати нові підходи до підвищення енергоефективності. Україна, як частина глобальної економіки, активно інтегрується у світові процеси енергетичної трансформації, що вимагає адаптації стратегій підвищення енергоефективності до специфіки окремих секторів економіки.

Мета роботи Метою роботи є аналіз галузевих особливостей підвищення енергоефективності в різних секторах економіки, визначення основних практичних підходів до зниження енергоспоживання, а також виявлення перспектив впровадження сучасних технологій і стратегій для забезпечення сталого розвитку України.

Матеріал і результати досліджень. Було проведено комплексний аналіз стратегій підвищення енергоефективності в різних секторах економіки, таких як промисловість, транспорт, будівництво та сільське господарство. Дослідження включало огляд наукової літератури, галузевих звітів і прикладів з національного та міжнародного досвідів.

У промисловому секторі акцент було зроблено на впровадженні енергозберігаючих технологій, таких як системи рекуперації тепла та перехід на більш енергоефективне обладнання. Приклади з металургійної та хімічної промисловостей показали, що заміна застарілого обладнання на енергоефективні аналоги дає можливість зменшити енергоспоживання на 20–30% [1]. Окрім того, інтеграція відновлюваних джерел енергії, таких як сонячні панелі та біогазові установки, дала змогу значно зменшити залежність від викопних видів палива.

Дослідження показало, що у сільському господарстві використання енергоефективних систем зрошення, біогазових установок для переробки органічних відходів і застосування відновлюваних джерел енергії може призвести до значного скорочення енергоспоживання [2]. Наприклад, використання крапельного зрошення й енергоефективних насосів дає можливість зменшити енергоспоживання на 20–25 % для зрошення.

У будівельному секторі дослідження підкреслило важливість модернізації будівель за допомогою сучасних утеплювальних матеріалів, енергоефективних систем опалення й охолодження, а також впровадження розумних систем управління будівлями (*Building management system*). Ці технології дали змогу знизити енергоспоживання на опалення та охолодження до 30–50 % [3].

Інтеграція відновлюваних джерел енергії, таких як сонячні панелі, також сприяла підвищенню сталості будівель.

Дослідження показало, що сектор транспорту, зокрема в автомобільній і залізничній галузях, може значно знизити енергоспоживання за рахунок електрифікації транспорту та використання альтернативних видів палива, таких як біопаливо. Впровадження електричних транспортних засобів у громадському транспорті дає можливість знизити енергоспоживання до 40 %, а також зменшити викиди CO₂.

Висновки.

1. Підвищення енергоефективності в промисловості дало змогу знизити енергетичні витрати та викиди парникових газів на 30 %.
2. Перехід на електричні та біопаливні транспортні засоби в секторі транспорту дав можливість значно зменшити енергоспоживання та викиди.
3. Модернізація будівель за допомогою сучасних утеплювальних матеріалів та *Building management system* дала змогу заощаджувати до 50 % енергії на опалення й охолодження.
4. Впровадження енергоефективних систем зрошення та біогазових установок у сільському господарстві дало можливість зменшити енергоспоживання на 20–25 %.

Список використаних джерел:

1. Дронов О.І. Енергоефективні технології в промисловості: сучасні тенденції та перспективи розвитку. *Вісник технічних наук*. 2022. № 5 (43). С. 123–128.
2. Губін Є.А., Шевченко М.Л. Біогазові установки: технології та перспективи застосування в сільському господарстві України. *Агроекологічний журнал*. 2021. № 3. С. 98–104.
3. Іваненко О.В. Розумні системи управління будівлями: ефективність та впровадження в умовах урбанізації. *Енергоефективність та екологія*. 2023. Т. 11, № 2. С. 45–51.
4. Сорока П.М. Інноваційні підходи до зменшення енергоспоживання в транспортному секторі. *Наукові записки НаУКМА*. 2022. Т. 8, № 1. С. 33–40.
5. International Energy Agency. Energy Efficiency 2023: Key findings and recommendations. – OECD/IEA, 2023.
6. European Commission. Energy Efficiency Trends and Policies in the EU. – Brussels: European Union, 2022.

ВИКОРИСТАННЯ МАШИННОГО НАВЧАННЯ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ ОБСЯГІВ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ НА ПІДПРИЄМСТВАХ З ПЕРЕРОБЛЕННЯ МОЛОКА

Значення енергетичної ефективності відіграє важливу роль у сучасному світі і, зокрема в молочній промисловості, де переробні підприємства споживають значну кількість як електричної, так і теплової енергії. Сучасні підходи машинного навчання кардинально змінюють спосіб прогнозування й оптимізації споживання енергії на цих об'єктах. У роботі пропонується дослідити можливість використання на підприємствах молочної галузі технології машинного навчання для прогнозування економії енергії при збереженні якості виробництва.

Процес перероблення молока є енергоємним, за даними Державної служби статистики України за 2020 р. підприємствами молочної галузі було спожито 18769 Гкал теплової енергії та 10254 тис. кВт·год [1]. Для молочної промисловості характерним є те, що електрична і тепла енергія споживаються одночасно, при цьому до 60% електроенергії споживається на виробництво холоду. Питоме енергоспоживання відрізняється значною мірою серед підприємств молочної галузі і залежить від асортименту продукції, завантаженості підприємства, ефективності і технічного стану устаткування. У виробничих витратах молокозаводів витрати на енергоресурси в Україні складають близько 10%, а в країнах-членах ЄС тільки 0,8-2% [2].



Рисунок 1 - Співвідношення обсягів споживання електроенергії та природного газу в балансі енергоспоживання молочними підприємствами України, 2018 р. [3]

Існують певні традиційні підходи до підвищення енергоефективності та прогнозування енергозбереження, проте пропонується розглянути метод, який тільки починає набирати популярність, – прогнозування через машинне навчання. Досі цей метод використовували більше для прогнозування споживання енергії, проте він може бути застосований і до прогнозування обсягів енергозбереження.

Для машинного навчання використовують різні підходи. Наведемо приклад застосування машинного навчання для прогнозування обсягів енергозбереження компресорами [4]. В дослідженні були використані історичні дані про енергоспоживання виробничим обладнанням на підприємстві для створення кількох моделей машинного навчання, щоб можна було їх порівняти за значеннями похибки та визначити найкращу модель. Було створено п'ять моделей ML: Deep Learning (DL), Distributed Random Forest (DRF), Gradient Boosting Machine (GBM), Generalized Linear Modeling (GLM) та Stacked Ensemble (SE).

Моделі не так важко створити, але необхідні докази того, що вони точні та надійні, тому важливо перевірити їх на історичних даних про енергоспоживання. Модель перевіряється за значеннями похибки – це спосіб порівняти моделі та зрозуміти, наскільки добре модель може

прогнозувати обсяги енергозбереження. Для порівняння якості моделей в дослідженні було використано три ключові показники для перевірки похибки прогнозу: R-квадрат (R^2), середня абсолютна похибка (MAE) і середньоквадратична похибка (RMSE). Застосовуючи п'ять різних моделей до трьох промислових сценаріїв споживання, було помічено, що модель машинного навчання GBM та модель SE не передбачили точно економії, із середнім відсотком похибки приблизно 30%. Для дослідження було отримано лише 170 точок даних споживання, тому очевидно, що моделі все ще недостатньо точні. DRFM може прогнозувати економію енергії для усунення витоків із середньою похибкою 17%. Більше історичних даних про енергоспоживання покращило б цю середню відсоткову похибку, але цю модель можна використовувати в енергетичному аудиті для прогнозування економії енергії з похибкою 17%. Одним із обмежень цього дослідження є відсутність зворотного зв'язку від виробників, щоб визначити, чи є ці обсяги енергозбереження точними [4].

Традиційне управління енергією базується на простих статистичних моделях, на основі яких не просто відобразити складну динаміку перероблення молока. Алгоритми машинного навчання можуть обробляти декілька змінних одночасно та виявляти тонкі закономірності, які впливають на споживання енергії.

Для потенційного оцінювання обсягів енергозбереження на підприємствах, зокрема молочної галузі, потрібні наступні історичні дані (найбільш надійні дані можна отримати за наявності системи енергоменеджменту (СЕНМ) на підприємстві): споживання енергії, обсяги виробництва, час роботи, екологічні умови та стан обладнання. Далі мають бути створені такі функції як: змінні на основі часу (година, день, сезон), показники ефективності виробництва, показники роботи обладнання та екологічні показники. На основі цих функцій за допомогою програмного коду прогнозуються обсяги енергозбереження.

Загалом, СЕНМ містить велику кількість даних, які можна аналізувати за допомогою методів машинного навчання (МН). Ці методи можуть створити математичну модель основного явища, використовуючи історичні дані, які можна використовувати для прогнозування споживання енергії, визначення моделей споживання, автоматичного керування системами освітлення, вентиляції, опалення та охолодження, короткострокового прогнозу навантаження [5].

Висновки. Тестування та поступова імплементація машинного навчання та інтернету речей в промисловості в Україні можуть сприяти досягненню значної економії енергії або підвищенні ефективності виробництва. Наразі технологія є не досить точною, проте забезпечення якісних даних і створення досконаліших моделей зможуть забезпечити отримання дедалі точніших прогнозів.

Перелік використаних джерел:

1. Постачання та використання енергії у 2020 році [Електронний ресурс] - https://od.ukrstat.gov.ua/stat_info/energ/energ6.htm.
2. Енергозабезпечення підприємств харчової промисловості [Електронний ресурс] - <http://www.economic-energy.com.ua/article/article44.html>
3. Скільки енергії споживається при виробництві молочної продукції? [Електронний ресурс] - https://saee.gov.ua/sites/default/files/Dairy_Ukr_23.11.2020.pdf
4. Utilizing machine learning models to estimate energy savings from an industrial energy system [Електронний ресурс] - <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666916122000470#sec3>.
5. Study on Potential of Energy Optimization in German Dairy Industry [Електронний ресурс] - <file:///C:/Users/User/Downloads/I001831868Thesis.pdf>.

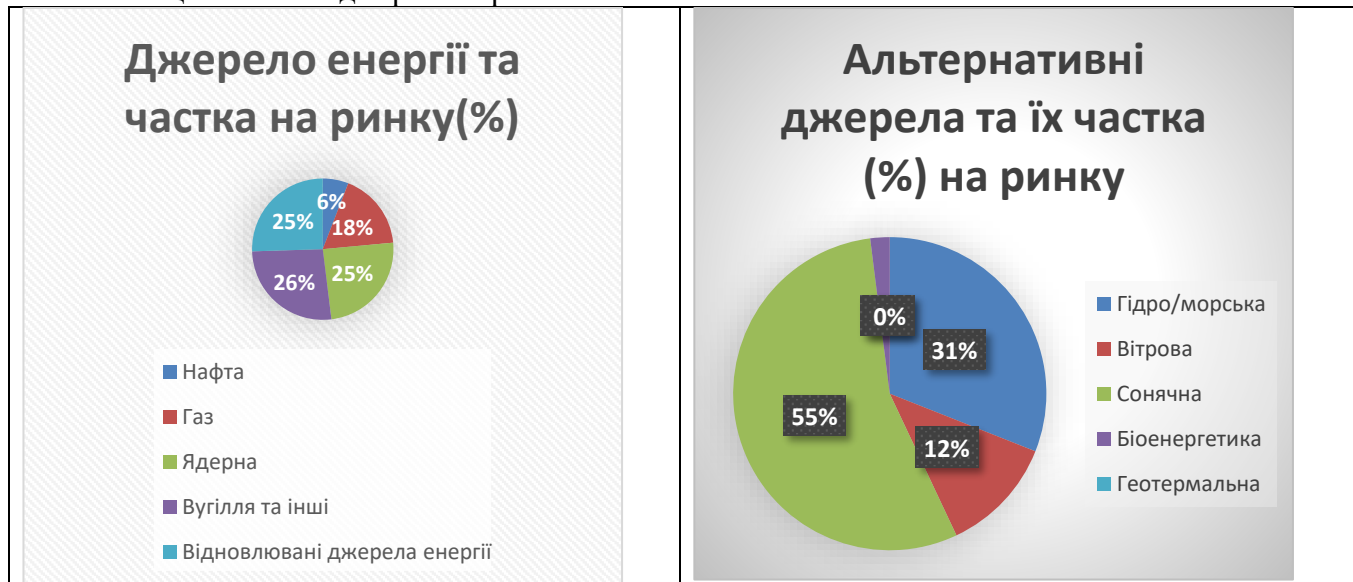
ФОРМУВАННЯ ОПТИМАЛЬНОЇ СТРАТЕГІЇ ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТОРГОВЕЛЬНОГО ЦЕНТРУ

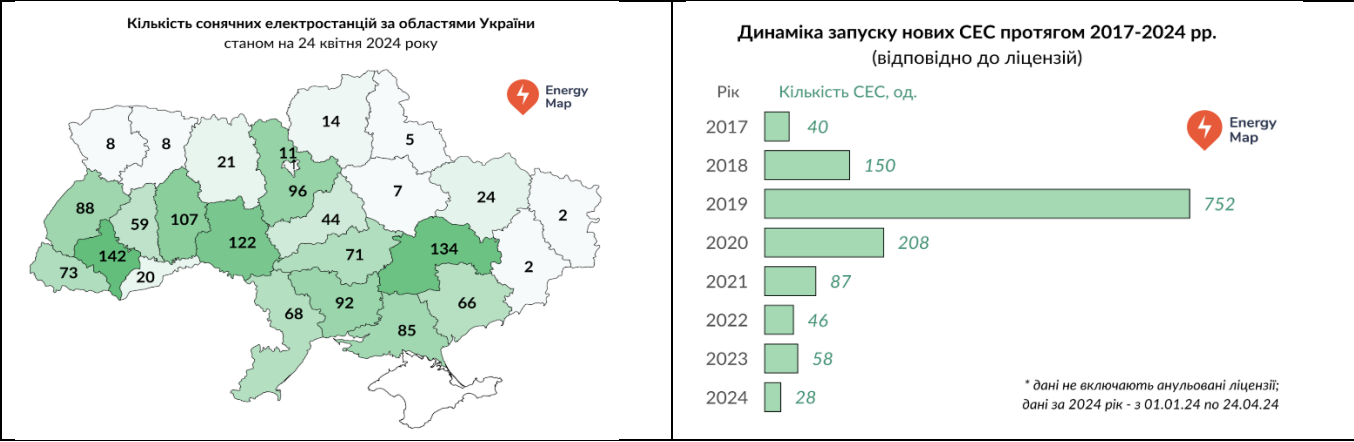
Останні десятиліття характеризуються стрімким зростанням інтересу до відновлюваних джерел енергії в усьому світі, сонячна енергетика, як одна з найперспективніших галузей, залучає все більше уваги дослідників, інвесторів та урядів. Війна в Україні, яка завдала величезних страждань і призвела до руйнування критичної інфраструктури, вимагає термінових дій для відновлення країни та її енергетичної системи. Сьогодні Україна значною мірою залежить від викопного палива, на яке у 2020 році припадало близько 70% її первинної енергетики. Російське вторгнення призвело до окупації (Запорізької АЕС і близько 44% загальних теплових потужностей) та знищення критичної енергетичної інфраструктури, що спричинило різке скорочення загального постачання енергії, тоді як попит на електроенергію впав на 40% до жовтня 2022 року.

Таблиця 1. Загальне енергопостачання в Україні згідно International Renewable Energy Agency (IRENA)

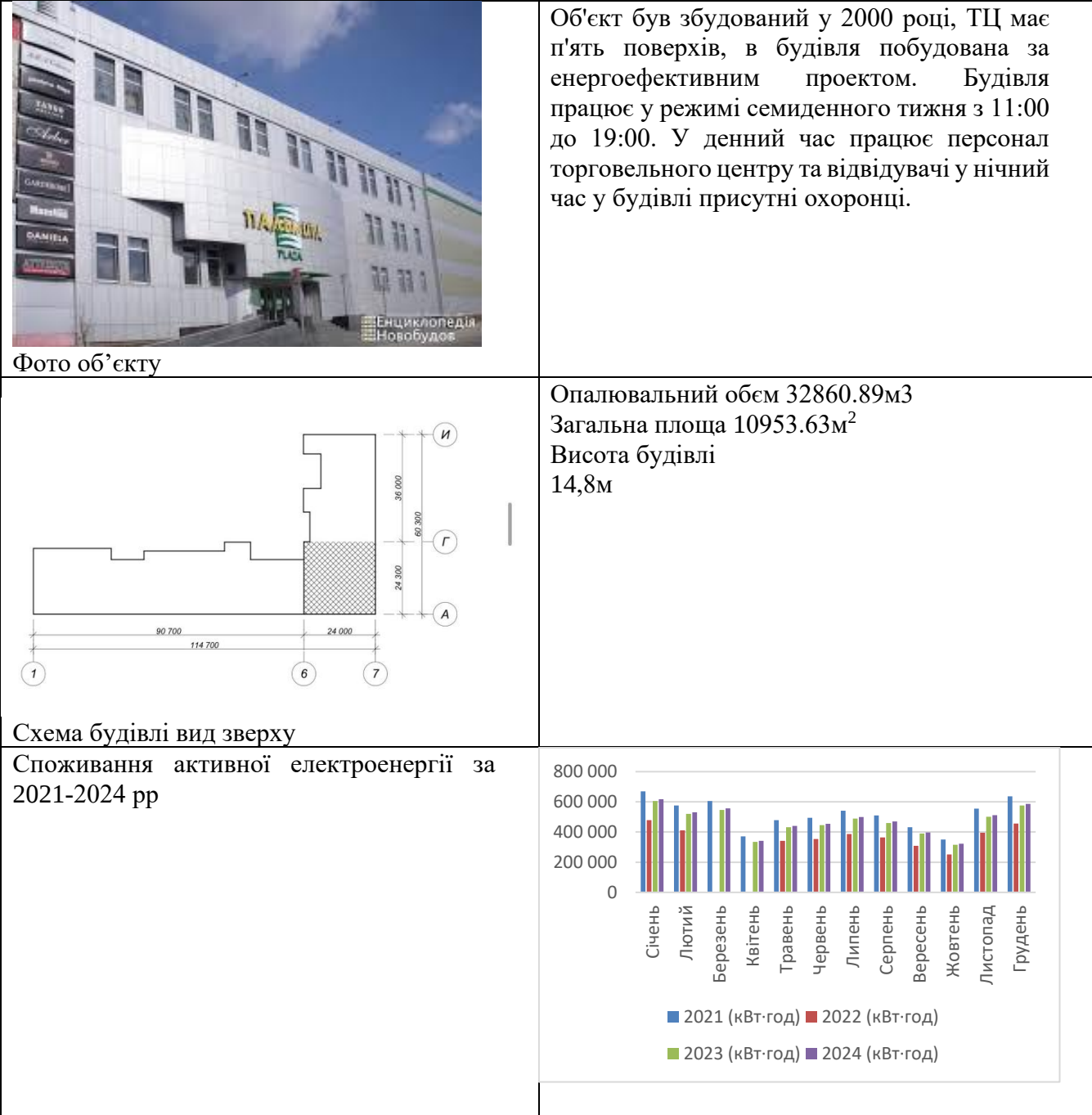
Показник	2016 рік	2023 рік
Загальне енергопостачання (ТЕС), ТДж	3944735	3665638
- Невідновлювані джерела, ТДж	3828394	3454463
- Відновлювані джерела, ТДж	116341	211175
Частка відновлюваних джерел, %	3	6

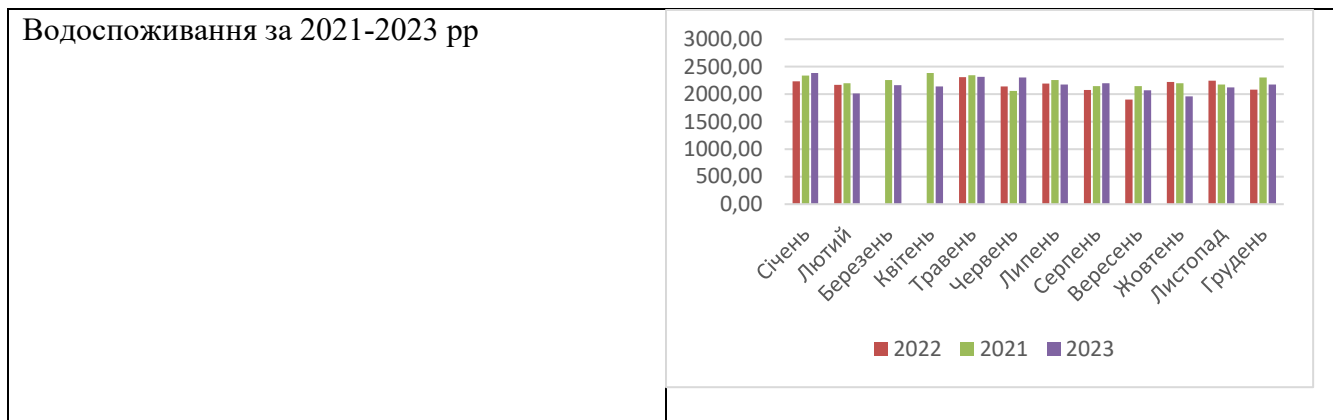
Таблиця 2. Аналіз джерел енергії





Об'єктом енергетичного аудиту є торговельний центр Пальміра Плаза, знаходиться за адресою м. Запоріжжя проспект Соборий 92



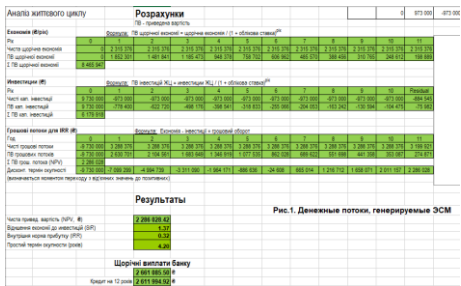


Дослідницька робота, щодо проведених заходів, що були проведені для формування оптимальної стратегії енергозбереження торговельного центру

назва	опис
Встановлення теплової завіси на входних дверях	Торгівельному центрі присутні 2 розсувні системи дверей, які встановлені для комфортного входу та виходу людей з тц, за великою проходимістю людей є великі теплові потері з цих дверей. Пропонується встановити теплову завісу. Оберемо електрична повітряну завісу Wing E150 EC Основні показники проекту - Щорічні експлуатаційні витрати: 4,900 грн - Загальна вартість проекту: 53,500 тис. грн - Річна економія енергоспоживання: 34,011.53 кВт·год - Річна економія витрат: 176,859.95 грн
Встановлення теплового насосу для опалення	Торгівельний центр опалюється чилером, він є досить старою моделлю, і не дуже економний варіант, тому на перспективу розглядається більш енергоефективний іаріант опалювання тепловим насосом. Оскільки біля будинку немає великої земельної ділянки, будемо використовувати для системи тепlopостачання теплові насоси «повітря – вода» фірми MYCOND у кількості 3шт Основні показники проекту - Щорічні експлуатаційні витрати: 27,000 грн - Загальна вартість проекту: 1,728,600 грн - Річна економія енергоспоживання: 704,759.96 кВт·год - Річна економія витрат: 2,272,295.89 грн

Дослідницька робота, щодо проведених заходів, що були проведені для формування оптимальної стратегії енергозабезпечення торговельного центру

Назва	Опис	Життєвий цикл проекту
Встановлення СЕС на даху	Основні характеристики проекту - Номінальна потужність СЕС – 100 кВт - Кут нахилу – -39° - Потужність мережевих інверторів: 25 кВт (FRONIUS ECO 25.0.3-s) - Кількість панелей – 384 шт - Потужність панелей – 330 Вт - Тип панелей – полікристалічні - Площа сонячних панелей – 745,2 м²	

Встановлення генератора для забезпечення освітлення при вимкненні світла	Рекомендовано інсталиувати дизельний генератор Matari MC500LS з такими характеристиками: • Номінальна потужність: 500 кВт • Запасна потужність: 550 кВт • Витрата палива: 50 л/год при 60% навантаженні • Об'єм паливного бака: 894 л Цей генератор забезпечує стабільну роботу за умови тривалого відключення.	 Рис. 1. Деневні потоки, генеруємі ЕСМ
---	---	---

Висновок

Запропоновані заходи є економічно доцільними, мають короткий період окупності та суттєво підвищують енергоефективність об'єкта. Інтеграція сучасних енергозберігаючих технологій сприятиме зниженню витрат, покращенню автономності та екологічності. Ці рішення особливо важливі в умовах нестабільного енергозабезпечення. Найактуальнішим заходом є встановлення сонячних панелей на даху торгового центру є стратегічно важливим рішенням для забезпечення його енергонезалежності. Це дозволить мінімізувати ризики, пов'язані з відключенням електроенергії, та суттєво скоротити витрати на енергоспоживання в довгостроковій перспективі. Завдяки цій інвестиції торговий центр стане більш надійним, економічним та екологічним об'єктом. у часи відключення світла пропонується використання сонячних панелей у місяці з найбільш активним сонцем а в інші дні за потребою генератором.

Література

1. <https://www.kmu.gov.ua/news/herman-halushchenko-sytuatsiia-v-enerhosystemi-skladna-vazhlyveoshchadlyve-spozhyvannia>.
2. <https://t.me/Ukrenergo/2844>
3. https://ep3.nuwm.edu.ua/30488/1/%D0%92%D0%B8%D0%BF.1%2821%292024_%D0%9E%D1%81%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%B2%D1%81%D1%8C%D0%BA%D0%B8%D0%B9%20%D0%AE.%D0%9C._%D0%A1%20105-110.pdf
4. https://pdf.usaid.gov/pdf_docs/PA00MD8N.pdf
5. https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Statistics/Statistical_Profiles/Europe/Ukraine_Europe_RE_SP.pdf?country=Ukraine®ionID=&countryID=ff9c618d-0b5c-43f0-ba29-c40d53d0fd1d
6. <https://ua-energy.org/uk/posts/tryfonivska-ses-foto-dtek>
7. <https://ecopolitic.com.ua/ua/news/vijna-zminjuie-masshtab-ta-geografiju-ob-iektiv-ukrainskoi-sonyachnoi-generacii-oksana-zuieva/>
8. <https://sil.media/p/bitva-za-svitlo-iak-vidnoviti-ukrayinsku-energosisitemu-850331-17917>

ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ПІДПРИЄМСТВ АГРАРНОЇ ГАЛУЗІ В УМОВАХ ЄВРОІНТЕГРАЦІЙНИХ ПРОЦЕСІВ В УКРАЇНІ

Вступ. За останні роки в Україні здійснено низку важливих дій, спрямованих на підвищення енергоефективності підприємств аграрної галузі, що відповідають євроінтеграційним стандартам. Прийнято та впроваджено низку законодавчих актів, зокрема Закони України «Про енергоефективність», «Про комерційний облік теплової енергії та водопостачання», а також закони щодо створення умов для підвищення енергоефективності та використання відновлюваних джерел енергії. Для підприємств аграрної галузі важливість підвищення енергоефективності полягає в можливості зменшити витрати на енергоресурси, оптимізувати виробничі процеси та знизити вуглецевий слід, що відповідає сучасним екологічним вимогам.

Мета роботи. Метою даного дослідження є аналіз можливостей, підходів і технологій, спрямованих на підвищення енергоефективності підприємств аграрної галузі, а саме тепличного комплексу в умовах євроінтеграційних процесів в Україні. Особливу увагу приділено огляду існуючих нормативно-правових ініціатив ЄС, а саме впровадженню систем енергоменеджменту та використанню сучасних технологічних рішень для моніторингу, управління енергоспоживанням і підвищення конкурентоспроможності агропромислових підприємств.

Матеріал і результати дослідження.

В основу формування комплексний підхід до збільшення рівня євроінтегрованості підприємства аграрної галузі (тепличного комплексу) в частині енергоефективності відповідно до європейських документів та нормативно правових актів було покладено методологію Best Available Techniques Reference Documents (BREF), а також чинні директиви та регламенти ЄС, які активно використовуються в країнах ЄС. Даний підхід базується на аналізі найкращих доступних технологій, що сприяє оптимізації виробничих процесів, зниженню енергетичних витрат та дотриманню екологічних стандартів.

Основні можливості для підвищення енергоефективності підприємства аграрної галузі (тепличного комплексу) у рамках європейських норм та стандартів показано в таблиця 1.

Таблиця 1 – Можливості для підвищення енергоефективності підприємства аграрної галузі (тепличного комплексу) у рамках європейських стандартів.

Системи підприємства аграрної галузі (тепличного комплексу)	Європейські практики та нормативно правові акти	Виявлені можливості для підвищення енергоефективності підприємства
Системи управління та моніторингу	Best Available Techniques Reference Documents for Energy Efficiency («Energy efficiency management» 4.2.7 Effective control of processes) Директива 2012/27/ЄС "Про енергоефективність" ISO 50001:2018	Впровадження інноваційних систем моніторингу енергоспоживання для аналізу та оптимізації закупівлі ресурсів
		Впровадження централізованої системи управління енергоресурсами для оптимізації енерговитрат
		Оптимізація витрат електроенергії шляхом автоматизації виробничих процесів
Виробничі процеси	Директива 2012/27/ЄС «Про енергоефективність»	Модернізація аміачної холодильної установки із розширенням її потужності
Огороджувальні конструкції будівель	Reference Document on Best Available Techniques for Energy Efficiency 4.2.8 Maintenance Директива 2010/31/ЄС про енергетичну ефективність будівель (Directive 2010/31/EU on the Energy Performance of Buildings (EPBD))	Зменшення тепловтрат за рахунок утеплення підлоги
		Встановлення теплової завіси для зменшення тепловтрат через ролетні двері
Система управління мікрокліматом	EN 13779:2007 "Вентиляція для нежитлових будівель — Вимоги до вентиляційних систем і систем кондиціонування приміщень" (EN	Збільшення терміну служби теплиць за рахунок технічного обслуговування

Системи підприємства аграрної галузі (тепличного комплексу)	Європейські практики та нормативно правові акти	Виявлені можливості для підвищення енергоефективності підприємства
	13779:2007 "Ventilation for non-residential buildings — Performance requirements for ventilation and room-conditioning systems")	
Штучне освітлення	Регламент ЄС 2019/2020 Директива ЄС 2009/125/ЄС "Про встановлення вимог до екодизайну енергоспоживчих продуктів" Директива ЄС 2010/30/ЄС "Про маркування енергоспоживчих продуктів"	Зниження витрат на освітлення за рахунок переходу від люмінесцентних ламп до світлодіодних
Система опалення, клімат-контролю та вентиляції	Best Available Techniques Reference Documents for Energy Efficiency (4.3.8 Pumping systems, 4.2.8 Maintenance) Директива 2010/31/ЄС про енергетичну ефективність будівель (Directive 2010/31/EU on the Energy Performance of Buildings (EPBD)) Регламент ЄС 2016/2281 (Regulation (EU) 2016/2281 establishing ecodesign requirements for heating and cooling products)	Встановлення теплових насосів
		Заміна або перевірка та налаштування манометрів, давачів тиску та температури.
		Контрольована вентиляція
Традиційні та відновлювані джерела енергії	Best Available Techniques Reference Documents for Energy Efficiency (4.3.4 Cogeneration, 4.2.2.Continuous environmental improvement, 4.2.3 Energy-efficient design (EED)) Директива 2018/2001/ЄС про сприяння використанню енергії з відновлюваних джерел (Renewable Energy Directive II, RED II) Директива 2009/28/ЄС про сприяння використанню енергії з відновлюваних джерел (RED I)	Скорочення залежності від традиційних джерел за рахунок встановлення когенераційної біогазової установки
Система водопостачання	Рамкова водна директива (Директива 2000/60/ЄС)	Система збору дощової води для потреб поливу

В межах цієї роботи було запропоновано комплексний підхід до збільшення рівня євроінтегрованості підприємства аграрної галузі (тепличного комплексу) в частині енергоефективності відповідно до європейських документів та нормативно правових актів. Такий підхід сприятиме підвищенню конкурентоспроможності підприємств у контексті євроінтеграції.

Висновки: Аналіз існуючих підходів та технологій показав значний потенціал для підвищення енергоефективності підприємства аграрної галузі (тепличного комплексу) у рамках європейських стандартів, що сприятиме зниженню експлуатаційних витрат і підвищенню конкурентоспроможності агропромислових підприємства. Застосування запропонованих рішень може призвести до зменшення витрат на енергію та зниження впливу на довкілля що відповідає інтересам підприємства, цілям сталого розвитку та є частиною євроінтеграційного процесу.

Список використаних джерел:

1. Закон України «Про енергетичну ефективність» // Відомості Верховної Ради України (ВВР), 2022, № 2, ст.8.
2. Довідковий документ з найкращих доступних технологій: Енергоефективність (ENE)/ https://eippcb.jrc.ec.europa.eu/sites/default/files/2019-11/ENE_Adopted_02-2009.pdf
3. ДСТУ ISO 50001:2020 Системи енергетичного менеджменту. Вимоги та настанова щодо використання. (ISO 50001:2018, IDT) – (Державний стандарт України).
4. Порядок впровадження систем енергетичного менеджменту // Затв. постановою КМУ від 23 грудня 2021 р. № 1460 – 17 с.

References:

1. Law of Ukraine "On Energy Efficiency ". // Bulletin of the Verkhovna Rada, 2022, No.2, p.8.
2. Best Available Techniques Reference Document: Energy efficiency (ENE) / https://eippcb.jrc.ec.europa.eu/sites/default/files/2019-11/ENE_Adopted_02-2009.pdf
3. DSTU ISO 50001:2020 Energy management systems. Requirements and instructions. (ISO 50001:2018, IDT).
4. Procedure for implementing energy management systems // Approved. Resolution of the Cabinet of Ministers of December 23, 2021 No.1460 – 17 p.

АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ВЛАСНОЇ ГЕНЕРАЦІЇ ДЛЯ ПІДПРИЄМСТВ МОЛОЧНОЇ ГАЛУЗІ В УМОВАХ ВІЯЛОВИХ ВІДКЛЮЧЕНЬ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

Вступ. В умовах повномасштабної агресії Російської Федерації та частих віялових відключень електроенергії, проблема забезпечення надійного енергопостачання стає критичною для промислових підприємств, зокрема в молочній галузі. Висока залежність молокопереробних підприємств від стабільного електропостачання обумовлена технологічними особливостями: перебої в електроживленні можуть призводити до зупинки виробничих ліній, втрат продукції через псування, порушення санітарних норм та значного зниження ефективності бізнесу. Це безпосередньо впливає на економічні показники підприємств, їх стійкість на внутрішньому ринку та конкурентоспроможність у міжнародному середовищі.

Окрім того, через пошкодження значної частини енергетичної інфраструктури України внаслідок війни навіть після завершення бойових дій централізоване енергопостачання може залишатися нестабільним. У зв'язку з цим впровадження систем власної генерації стає одним із ключових завдань для молочних підприємств, забезпечуючи не лише стійкість виробництва, але й сприяючи екологізації виробничих процесів.

Мета роботи: Описати можливості власної генерації для промислових підприємств молочної галузі, проаналізувати їх переваги і недоліки з урахуванням специфіки галузі, та на основі проаналізованих даних запропонувати найбільш підходящі можливості.

Основний зміст. Загалом способи власної генерації для промислових підприємств можна на 3 групи: способи традиційної генерації, генерація з використання відновлюваних джерел енергії та інноваційні способи генерації. Розглянемо детальніше кожен з груп, а саме які безпосередньо способи генерації до них відносяться та визначимо їх переваги та недоліки з урахуванням специфіки підприємств молочної галузі (Таблиця 1 – 3).

Таблиця 1 – Способи традиційної генерації, їх переваги та недоліки

	Переваги	Недоліки
Газотурбінні установки (ГТУ)	- Висока ефективність: можливість одночасного виробництва тепла і електроенергії.	- Висока вартість обладнання та обслуговування.
	- Швидкий запуск і зупинка.	- Залежність від постачання газу.
	- Використання природного газу, доступного на підприємстві.	- Зниження ефективності при низькому навантаженні.
	- Компактність.	
Дизельні генератори	- Мобільність і швидкий запуск.	- Висока вартість палива.
	- Відносно низькі початкові витрати.	- Шкідливі викиди.
		- Обмежений термін роботи, потреба у частому обслуговуванні.
Когенерація (ТЕЦ)	- Комплексне використання енергії.	- Високі початкові інвестиції.
	- Зменшення витрат на паливо.	- Складність управління.
	- Можливість використання різних видів палива.	- Залежність від постійного споживання тепла.

Таблиця 2 - Генерація з використанням відновлюваних джерел енергії, переваги та недоліки [2, 3]

	Переваги	Недоліки
Сонячні електростанції (СЕС)	- Екологічність.	- Нестабільність виробництва, потреба у системах накопичення енергії.
	- Використання дахів для встановлення панелей.	- Висока вартість початкових інвестицій.
	- Низькі експлуатаційні витрати.	- Залежність від погодних умов.
Вітрові електростанції (ВЕС)	- Висока генерація у вітряних регіонах.	- Залежність від локації.
	- Екологічність.	- Потреба у великих площах.
		- Нерівномірність генерації, необхідність додаткових накопичувачів або джерел енергії.
Біоенергетичні установки	- Утилізація відходів молочного виробництва.	- Складна логістика (зберігання й транспортування біомаси).
	- Стабільність генерації, незалежність від погоди.	- Обмеженість ресурсів (нестача біомаси на підприємстві).
	- Зменшення витрат на утилізацію відходів.	

Таблиця 3 - Інноваційні підходи, переваги та недоліки[1]

	Переваги	Недоліки
3.1 Водневі установки	- Екологічність (нульові викиди).	- Висока вартість технології.
	- Можливість інтеграції з іншими джерелами енергії.	- Складність зберігання та транспортування водню.
3.2 Теплові насоси	- Висока ефективність для опалення та охолодження.	- Висока вартість встановлення.
	- Використання геотермальної енергії.	- Зниження ефективності у регіонах із холодним кліматом, потреба у додаткових джерелах енергії.

Висновки. У дослідженні проведено аналіз переваг і недоліків різних підходів до генерації енергії. Для комплексного висновку щодо доцільності використання певних способів генерації або їх комбінацій необхідно виконати економічний і енергетичний аналіз. Зокрема, слід визначити базове споживання енергії для забезпечення мінімальних потреб у разі відключень, розрахувати вартість виробництва 1 кВт·год енергії, а також врахувати індивідуальні особливості підприємства, особливо якщо йдеться про відновлювані джерела енергії (ВДЕ).

На основі отриманих даних було зроблено висновок про доцільність використання газотурбінних установок, які забезпечують високу потужність та використовують природний газ, що вже є звичним паливом для молокозаводів. Крім того, газотурбінні установки характеризуються високою маневреністю, що дозволяє оперативно перемикається між генерацією власної енергії та споживанням із загальної мережі.

Перспективним також є використання сонячних електростанцій. Проте для забезпечення

стабільності енергопостачання в умовах несприятливих погодних умов необхідно впроваджувати системи накопичення енергії. Важливо зазначити, що молочні підприємства часто мають значну площу дахів, придатну для встановлення сонячних панелей. Вітрові електростанції є менш привабливими через залежність від географічного розташування підприємства та необхідність великих площ для розміщення вітрогенераторів, що робить цей спосіб ефективним лише у специфічних умовах.

Дизельні генератори мають високі операційні витрати, зокрема на паливе, що робить їх використання економічно недоцільним у разі тривалих періодів роботи (4-8 годин на добу) під час відключень електроенергії.

Когенераційні установки виявилися менш актуальними для підприємств, які вже мають газові котельні, здатні забезпечувати виробництво пари або тепла.

Використання біоенергетичних установок є доцільним у випадках, коли відходи (наприклад, сироватка або інші біологічні залишки) переробляються на біогаз. Проте обсяги відходів часто недостатні, що вимагає додаткової закупівлі біогазу.

Водневі установки, попри їхню інноваційність, мають суттєвий недолік — високу вартість. Газотурбінні установки тієї ж потужності є дешевшими у придбанні, простішими в експлуатації та менш витратними в обслуговуванні.

Таким чином, вибір оптимальної технології генерації енергії має базуватися на детальному аналізі економічних, енергетичних і технологічних параметрів з урахуванням специфіки кожного підприємства.

Список використаних джерел:

4. Гребенюк М. О., Гаєвський О. Ю. Фотоелектрично–воднева система для безперебійного живлення споживачів під час відключень від мережі. 2023.
5. Рикованова І. С., Таранський І. П. Вітрова електрогенерація: світовий досвід та перспективи розвитку в Україні. 2017.
6. Ребрик Б. Д., Макаренко М. Є., Богатов О. І. Сонячні електростанції - переваги та недоліки // XX Всеукраїнська студентська науково-практична конференція. 2024

ОГЛЯД СУЧАСНИХ СИСТЕМ ЗБЕРІГАННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

Вступ. Системи зберігання енергії (ESS) відіграють ключову роль у відновлюваній енергетиці. Вибір технології залежить від вимог системи, витрат і характеристик ефективності.

Поширені типи ESS включають:

- • Електрохімічне зберігання енергії (акумулятори, паливні елементи для зберігання водню, поточні батареї);
- • Механічне зберігання (гідроакумулятори, гравітаційне, стиснуте повітря, маховики);
- • Електричне зберігання (суперконденсатори, надпровідникове магнітне зберігання);
- • Гібридні системи (наприклад, інтеграція акумуляторів із гідроакумуляторами або комбінація суперконденсаторів і теплових систем).

Ці системи дозволяють накопичувати і використовувати надлишкову енергію з відновлюваних джерел, забезпечуючи стабільне енергопостачання. Вибір оптимальної технології залежить від специфічних потреб системи, таких як потужність, ефективність, витрати, масштабованість і довговічність [1-3].

Мета роботи аналіз сучасних систем зберігання енергії для локальних електроенергетичних систем
Матеріали досліджень

Розглянемо різні системи [1-4]:

Електрохімічне зберігання охоплює різні технології, включаючи акумулятори й паливні елементи. Воно має переваги: універсальність для різних вимог, масштабованість, модульність і високу ефективність. Недоліками є необхідність спеціалізованої інфраструктури, обмежений життєвий цикл і високі початкові витрати.

1. Системи зберігання енергії на основі акумуляторів (BESS) Акумулятори працюють завдяки хімічній реакції, яка генерує потік електронів для живлення пристроїв чи інших навантажень. Існують різні типи акумуляторів, що відрізняються за вартістю, життєвим циклом, енергетичною щільністю та ефективністю.

2. Паливні елементи для зберігання енергії на водні (HES) Водень виробляється електролізером, зберігається в резервуарах і використовується у паливних елементах для виробництва електроенергії й води. HES є гарним вибором для автономних систем, адже водень можна зберігати довгий час і виробляти з відновлюваних джерел.

Водночас, HES має недоліки:

- висока вартість виробництва й зберігання водню,
- необхідність у спеціалізованій інфраструктурі (трубопроводах, паливних елементах), що потребує значних витрат на встановлення та обслуговування.

Механічне зберігання енергії включає кілька технологій, які використовують фізичні принципи для збереження та відновлення енергії.

1. Гідроакумуляуюче зберігання енергії (PHES) Ця система використовує два резервуари на різних висотах. Надлишкова енергія застосовується для перекачування води у верхній резервуар, зберігаючи її як потенціальну енергію. Під час високого попиту вода спускається вниз через турбіни, генеруючи електроенергію. PHES підходить для довгострокового зберігання, але потребує специфічної топографії та значних витрат на встановлення.

2. Стиснене повітря (CAES) Енергія зберігається через стискання повітря в підземних кавернах або резервуарах. Коли енергія потрібна, повітря випускається і проходить через турбіну, генеруючи електроенергію. CAES підходить для великомасштабного зберігання, але вимагає доступу до геологічних утворень і високих початкових витрат.

3. Маховики (FES) Ця технологія зберігає енергію через обертання маховика у вакуумі. Енергія зберігається у формі кінетичної енергії й відновлюється за допомогою генератора. Маховики мають

швидкий час відгуку та тривалий термін служби, але менш ефективні для довготривалого зберігання через втрати енергії.

4. Гравітаційне зберігання (GES) Енергія зберігається через підняття вантажів на висоту. При потребі енергії вантажі опускаються, приводячи в дію генератор. GES підходить для короткотривалого зберігання і може бути корисним у специфічних умовах.

Електричне зберігання енергії охоплює кілька технологій, які використовують електростатичні, магнітні або теплові властивості для накопичення та відновлення енергії [1-4].

1. Надпровідникові магнітні системи (SMES) Складаються з надпровідникової котушки, системи кондиціонування енергії та криогенної системи охолодження. Надпровідникові матеріали (наприклад, ніобій-титан) охолоджуються до наднизьких температур, створюючи магнітне поле для зберігання енергії.

2. Конденсатори (CES) Енергія накопичується через створення електричного поля між двома пластинами, розділеними діелектриком. Після прикладання напруги пластини заряджаються, а енергія зберігається у вигляді електромагнітного поля, яке можна використовувати за потреби.

3. Теплове зберігання енергії (TES) Застосовується для виробництва електроенергії, промислових процесів, опалення та охолодження будівель. Системи TES використовують різні середовища для зберігання тепла, такі як вода, розплавлена сіль або матеріали з фазовими переходами. Збережене тепло можна використовувати для генерації енергії чи тепла.

Гібридні системи зберігання енергії об'єднують кілька технологій для створення більш комплексного та гнучкого рішення для відновлювальних джерел енергії. Поєднуючи різні технології, ці системи можуть максимізувати переваги кожної з них, зменшуючи недоліки. Вибір системи залежить від специфічних вимог до зберігання енергії, використовуваних відновлювальних джерел та доступних ресурсів і інфраструктури.

Висновок: Дослідження аналізує технології зберігання енергії для відновлюваних джерел. Основні типи систем зберігання енергії включають електрохімічні, механічні, електричні та гібридні системи. Кожна технологія має свої переваги та недоліки, залежно від вимог системи, витрат, ефективності та інших факторів. Вибір оптимальної технології залежить від специфічних потреб, забезпечуючи стабільне енергопостачання

Список використаних джерел:

10. Rekioua, D. Energy Storage Systems for Photovoltaic and Wind Systems: A Review. *Energies* 2023, 16, 3893. <https://doi.org/10.3390/en16093893>
11. Nie, Y.; Nasr Esfahani, M.; Hu, Y.; Li, X.; Alkahtani, M. Multi-Port Energy Router in Mobile Energy Storage for Emergency Power Outage in Urban Cities. *Energies* 2024, 17, 2927. <https://doi.org/10.3390/en17122927>
12. Aranzabal, I.; Gomez-Cornejo, J.; López, I.; Zubiria, A.; Mazón, J.; Feijoo-Arostegui, A.; Gaztañaga, H. Optimal Management of an Energy Community with PV and Battery-Energy-Storage Systems. *Energies* 2023, 16, 789. <https://doi.org/10.3390/en16020789>
13. Yi, T.F.; Sari, H.M.K.; Li, X.; Wang, F.; Zhu, Y.R.; Hu, J.; Zhang, J.; Li, X. A review of niobium oxides based nanocomposites for lithium-ion batteries, sodium-ion batteries and supercapacitors. *Nano Energy* **2021**, 85, 105955.
14. Ibrahim, H.; Ilinca, A.; Perron, J. Energy storage systems—Characteristics and comparisons. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2008, 12, 1221–1250.

А. Войнич, магістрант,
Г.І. Черкашина, канд. техн. наук, доцент
 Національний технічний університет України
 «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м Київ

ОСОБЛИВОСТІ РОЗТАШУВАННЯ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ МОДУЛІВ НА ОБМЕЖЕНІЙ ЗЕМЕЛЬНІЙ ДІЛЯНЦІ НАСОСНОЇ СТАНЦІЇ

Вступ: Оптимальний вибір варіанту розташування сонячних панелей на обмеженій території об'єкту є важливим з точки зору забезпечення необхідних технічних параметрів генерації фотоелектричної станції (ФЕС) - електрична потужність, кількість енергії, що генерується; економічних параметрів - вартість 1 кВт·год електричної енергії ФЕС. Об'єкт проектування ФЕС - каналізаційна насосна станція, що розташована в місті Кривий Ріг, Дніпропетровської області (47° північної широти). На об'єкті головним споживачем електричної енергії є насосний агрегат потужністю 45 кВт. Територія об'єкту проектування є обмеженою за площею. **Метою** дослідження є обрати оптимальний варіант розташування сонячних модулів для улаштування найкращих технічних та економічних характеристик функціонування ФЕС. **Завдання роботи:** огляд наявних технологій побудови фотоелектричних модулів (ФЕМ), що представлені на ринку України; вибір технології для умов об'єкту проектування; визначення місць та способів розташування, компоновки ФЕМ за допомогою моделювання системи в програмному продукті PV SYST.

Матеріал і результати дослідження

На першому етапі роботи були обрані тип ФЕМ для побудови ФЕС. Порівняння типів ФЕМ виконувалось за критеріями: ККД, вартість, розмір.

Основним розгалуженням в виборі модулів розглядалось: полікристалічні, монокристалічні. В табл. 1 наведено результати порівняння.

Таблиця 1 – Порівняння полікристалічних та монокристалічних панелей

Параметр	Полікристалічна	Монокристалічна
ККД	15-20%	18-24%
Ціна, грн/Вт	6,15-9,84	8-16,4
Розміри	Більші для тієї ж потужності	Компактніші
Температурна стабільність	Гірша	Краща
Естетика	Синій колір, неоднорідність	Чорний колір, однорідний
Термін служби	Приблизно однаковий, за межами терміну окупності проекту	

Сонячні панелі мають різновид за технологіями побудови [1], наведеними в табл. 2.

Таблиця 2 – Технології, що використовуються в монокристалічних панелях і їх порівняння

№	Технологія	ККД	Ціна, грн/Вт	Розмір
1	PERC (пасивовані комірки)	20-23%	8,2-16,4	Стандартний
2	N-type	20-25%	9,30-18,55	Стандартний
3	Split cells	21-23%	10,25-18,45	Стандартний
4	Multi busbar (MBB)	21-24%	9,02-17,22	Стандартний
5	IBC	22-26%	14,35-24,6	Компактний
6	Bifacial (Двосторонні)	20-30%	16,40-28,5	Стандартний
7	HJT	23-26%	14,35-26,7	Стандартний

Були обрані монокристалічні фотопанелі Jinko Tiger Neo N-type 54HL4-(V) 415W[2].

На другому етапі було визначене місце розташування ФЕМ на об'єкті, способи розташування, конструкції кріплень. Адміністрація насосної станції заздалегідь визначила місця на території, які можливо використати для улаштування ФЕС (рис. 1).



Рисунок 1 – Варіанти розташування сонячних модулів на об'єкті
Розміри та орієнтація кожної ділянки наведено в табл. 3.

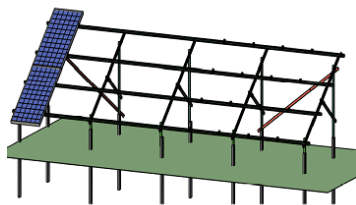
Таблиця 3 – Земельні ділянки для сонячних панелей

Варіант	Висота (м)	Довжина (м)	Ширина (м)	Орієнтація
1.1	1	19	10	Південь
1.2	3	26	17	Південь
2	2,92	Площа – 48 м ²		Південь
3.1	1	17	11	Південний схід
3.2	1	11	17	Південний захід

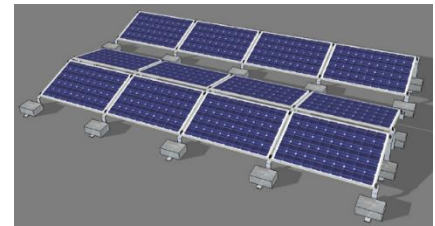
Для розташування ФЕМ на наведених вище земельних ділянках було розглянуто декілька варіантів: розташування на землі рядами (рис. 2, а), наземне розташування суцільною площею (рис. 2, б) та розташування з невеликим кутом нахилу з чергування орієнтації схід-захід (рис. 2, в).



а



б



в

Рисунок 2 – Варіанти улаштування ФЕМ на земельних ділянках насосної

Третій етап роботи - моделювання варіантів розташування сонячних модулів з метою визначення кількості модулів на відповідній площі та за відповідним розташуванням на земельній ділянці, встановленої потужності групи модулів, річної генерації електричної енергії, загальної вартості модулів. Для моделювання було використане програмне середовище PVsyst[3].

Результати моделювання наведено в табл. 5.

Таблиця 5 – Моделювання варіантів розташування сонячних модулів на земельних ділянках

Варіант	Кут нахилу модулів	Річна генерація, кВт · год	Питома енергія кВт · год/м ²	Кількість панелей, шт	Встановлена потужність групи, кВт	Вартість модулів, тис. грн	Вартість енергії, грн/кВт · год
1.1	а	39°	25700	135,26	48 (16 × 3)	19,9	216,480
	б	39°	61400	323,16	112 (16 × 7)	46,5	505,120
1.2	а	39°	48100	108,82	88 (22 × 4)	36,5	396,880
	в	5°	92300	208,82	198 (22 × 9)	83,0	892,980
3.1 (б)	30°	48300	258,29	98 (14 × 7)	40,7	441,980	9,15
3.2 (а)	36°	18500	98,93	36 (9 × 4)	14,9	162,360	8,78

Висновок: на основі моделювання найкращим варіантом за критеріями питомої енергії, потужності та вартості енергії було обрано варіант розташування ФЕМ суцільною площею на земельній ділянці 1.1. Для забезпечення додаткової потужності можна обрати один з варіантів на земельній ділянці 3, в залежності від потреби в додатковій потужності.

Список використаної літератури

1. "Photovoltaic Systems Engineering" – Roger A. Messenger, Jerry Ventre.
2. Jinko Tiger Neo N-type 54HL4-V Solar Panel 410W 415W 420W 425W 430W Solar Panel Jinko Solar PV Panels. Режим доступу: <https://www.jinkosco.com/jinko-solar-panel/94.html>.
3. <https://www.pvsyst.com/>

ОПТИМІЗАЦІЯ НАДІЙНОСТІ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ КОМУНАЛЬНО-ПОБУТОВИХ ОБ'ЄКТІВ, ЯК ЕЛЕМЕНТ ПОЛІТИКИ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ТА ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ В УКРАЇНІ

Вступ. Надійність електропостачання є ключовим параметром функціонування сучасних енергетичних систем, особливо у секторі комунально-побутових об'єктів. Зростання енергоспоживання, старіння інфраструктури та необхідність забезпечення енергетичної безпеки України зумовлюють актуальність впровадження шляхів оптимізації параметрів надійності електропостачання.

Мета дослідження. *Розробка методів і технічних рішень для оптимізації показників надійності електропостачання комунально-побутових об'єктів з урахуванням економічних, технічних та екологічних аспектів різного характеру.*

Завдання дослідження:

1. Аналіз сучасного стану електропостачання комунально-побутового сектору.
2. Оцінка впливу різних факторів (наприклад, зношеність обладнання, нерівномірність навантаження, аварійні ризики) на надійність систем електропостачання.
3. Розробка математичної моделі та аргументованих методів оптимізації надійності електропостачання.
4. Пропозиція практичних заходів щодо модернізації систем електропостачання.

Основні результати:

1. **Технічний стан.** Значна частина інфраструктури електропостачання у комунально-побутовому секторі України є застарілою, використовується зношене та малоефективне обладнання, що призводить до втрат електроенергії та частих аварійних відключень.
2. **Математичне моделювання.** Модель оптимізації надійності, яка враховує розподіл навантаження, резервування джерел живлення та економічну доцільність.
3. **Економічна оцінка.** Заходи, такі як модернізація трансформаторного обладнання, впровадження інтелектуальних систем управління, дають можливість суттєво скоротити аварійність і значно зменшити витрати на експлуатацію.

Практична значимість. *Результати дослідження можуть бути використані для:*

- розробки програм енергозбереження та модернізації інфраструктури комунально-побутового сектора;
- формування рекомендацій щодо впровадження енергетичного менеджменту на комунально-побутових об'єктах;
- підвищення енергетичної ефективності та зменшення впливу на довкілля.

Висновки. *Оптимізація надійності електропостачання комунально-побутових об'єктів є важливим елементом реалізації політики енергоефективності та енергозбереження в Україні. Впровадження сучасних технологій і методів дасть можливість підвищити стійкість енергосистем, забезпечити стабільне функціонування критичних об'єктів і сприятиме досягненню енергетичної безпеки країни.*

Ключові слова: надійність електропостачання, комунально-побутові об'єкти, оптимізація, енергетичний менеджмент, енергоефективність.

Список використаних джерел:

1. Glover, J. D., Sarma, M. S., & Overbye, T. J. *Power System Analysis and Design*. 6th Edition, Cengage Learning, 2016.
2. Brown, R. E. *Electric Power Distribution Reliability*. 2nd Edition, CRC Press, 2008.
3. Momoh, J. A. *Smart Grid: Fundamentals of Design and Analysis*. Wiley-IEEE Press, 2012.
4. Фактори надійності електропостачання // IX Міжнародна конференція молодих учених і студентів, Тернопіль, 2020.

ПЕРСПЕКТИВА ВИКОРИСТАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ СОНЯЧНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ

Анотація. У статті розглядається перспектива використання штучного інтелекту для підвищення енергоефективності сонячних електростанцій. Описано можливості оптимізації роботи сонячних панелей, прогнозування погодних умов та інтеграції в енергомережі з метою зниження витрат і підвищення продуктивності.

The article discusses the potential of artificial intelligence to enhance energy efficiency in solar power plants. It explores opportunities for optimizing solar panel performance, forecasting weather conditions, and integrating into energy grids to reduce costs and increase productivity.

Ключові слова: штучний інтелект, енергоефективність, сонячні електростанції, оптимізація, прогнози, енергетика, автономні системи, прогнозування, обробка даних, енергетичний потенціал.

В останні роки питання енергоефективності в сфері альтернативної енергетики стали одними з найактуальніших у світі. Сонячна енергетика, завдяки своїй безвуглецевій природі, є одним із найбільш перспективних напрямків розвитку. Однак для досягнення максимальної продуктивності сонячних електростанцій необхідно враховувати безліч факторів, які можуть змінюватися залежно від погодних умов, пори року, географічного розташування тощо. Традиційні методи управління сонячними електростанціями часто не дозволяють досягти оптимальних результатів. У зв'язку з цим на перший план виходять новітні технології, зокрема штучний інтелект (ШІ), здатний забезпечити ефективне управління і оптимізацію роботи таких об'єктів. Впровадження ШІ в енергетичні процеси сонячних електростанцій відкриває нові перспективи для досягнення високої енергоефективності, зменшення витрат і підвищення надійності системи.

Метою цієї роботи є вивчення перспективи використання штучного інтелекту для підвищення енергоефективності сонячних електростанцій, аналіз основних методів оптимізації їх роботи та визначення шляхів інтеграції новітніх технологій для досягнення максимальної продуктивності та зниження витрат.

Штучний інтелект має потенціал трансформувати сонячну енергетику завдяки здатності обробляти великі обсяги даних, виявляти закономірності та здійснювати прогнози, які традиційні методи аналізу не можуть виявити. Завдяки використанню машинного навчання, глибоких нейронних мереж та алгоритмів оптимізації, ШІ може значно підвищити ефективність роботи сонячних електростанцій.

Один із найбільших викликів у сфері сонячної енергетики полягає в тому, що вироблення електроенергії залежить від сонячної активності, що коливається протягом дня, сезону та в залежності від погодних умов. Штучний інтелект дозволяє створювати прогнози щодо цих змін, оптимізувати роботу сонячних панелей і забезпечити їх найкраще розташування під час експлуатації. Для цього використовуються датчики, які збирають інформацію про інтенсивність сонячного випромінювання, температуру повітря та інші фактори, а ШІ проводить аналіз і визначає, як правильно налаштувати обладнання для досягнення максимального ККД [2].

Одним з важливих застосувань ШІ є моніторинг і діагностика стану сонячних панелей. За допомогою алгоритмів машинного навчання можна передбачати збої в роботі обладнання на ранніх стадіях, що дозволяє вчасно проводити ремонт і запобігати великим витратам на обслуговування та непередбачувані поломки. Це також допомагає знизити кількість відключень і підвищити надійність сонячних електростанцій.

Прогнозування погодних умов і сонячної активності є ще одним важливим напрямком застосування ШІ для підвищення енергоефективності сонячних електростанцій. Штучний інтелект може допомогти передбачити, коли сонячна активність буде на високому рівні, а коли очікуються

хмари чи інші атмосферні явища, які можуть вплинути на вироблення енергії. Завдяки цим прогнозам можна заздалегідь налаштовувати системи для максимального збору енергії або коригувати виробничі потужності для підготовки до змін в умовах роботи.

Ще однією важливою можливістю ШІ є оптимізація управління розподілом енергії, що виробляється на сонячних електростанціях. Сонячна енергія має періодичний характер, і необхідно ефективно розподіляти її використання в залежності від споживання та поточного попиту. Враховуючи ці обставини, ШІ здатен здійснювати автоматичне керування збереженням енергії в акумуляторах або передачею її до мережі для зменшення навантаження на енергосистему[4].

Одним з найбільш важливих аспектів є інтеграція сонячних електростанцій у загальну енергосистему з використанням штучного інтелекту. Завдяки автоматизації і реальному моніторингу ШІ може здійснювати інтеграцію сонячної енергії у вже існуючі енергомережі таким чином, щоб забезпечити стабільність та надійність енергопостачання без значних втрат. Водночас ШІ дозволяє інтегрувати альтернативні джерела енергії та знижувати залежність від традиційних, викопних джерел енергії.

Використання ШІ для розробки нових матеріалів і технологій також може підвищити енергоефективність сонячних панелей. Наприклад, за допомогою алгоритмів оптимізації можна розробляти нові структури матеріалів, які будуть більш ефективно поглинати сонячне випромінювання, збільшувати термін служби панелей і знижувати виробничі витрати[5].

Використання штучного інтелекту для підвищення енергоефективності сонячних електростанцій відкриває нові горизонти для розвитку цієї галузі. Завдяки можливостям ШІ для аналізу великих даних, прогнозування, оптимізації і автоматизації процесів, можна досягти значних покращень у роботі сонячних панелей, підвищити їх продуктивність та знизити витрати на обслуговування. Водночас ШІ дозволяє зменшити вплив зовнішніх факторів, таких як погодні умови, та інтегрувати сонячну енергію в загальну енергосистему, що сприяє зниженню залежності від традиційних джерел енергії та досягненню сталого розвитку енергетики. Технології штучного інтелекту можуть стати важливим інструментом для забезпечення енергоефективності і розвитку інфраструктури відновлюваних джерел енергії, зокрема в контексті глобальних змін клімату та переходу до більш чистих джерел енергії.

Література:

1. Бердо Р. С., Расюн В. Л., Величко В. А.. Штучний інтелект та його вплив на етичні аспекти наукових досліджень в українських закладах освіти. Академічні візії, № 22, 2023. URL.: Доступно: <https://academy-vision.org/index.php/av/article/view/469>. (дата звернення: 25.11.2024)
2. Метеленко В. Г., Воронкова В. Г., Нікітенко В. О. Сіліна І. В. Становлення і розвиток smart-економіки та її модифікацій в умовах цифрового розвитку. Vectors of the development of science and education in the modern world / Compiled by V. Shpak ; Chairman of the Editorial Board S. Tabachnikov. Sherman Oaks, California : GS Publishing Services, 2023. С. 79–95.
3. Jiangfeng C., Weihai C., Fei T., Chun-Liang L. Industrial IoT in 5G environment towards smart manufacturing. Journal of Industrial Information Integration. 2018. Vol. 10. P. 10–19. DOI: 10.1016/j.jii.2018.04.001
4. Sadiku, Matthew NO, Yonghui Wang, Suxia Cui, and Sarhan M Musa, Industrial internet of things. International Journal of Advances in Scientific Research and Engineering, 2017. 7. Statista. Industrial Internet of Things (IIoT) market size worldwide from 2020 to 2028 Statistic, 2023. URL: <https://www.statista.com/statistics/611004/global-industrial-internet-of-things-market-size/>(дата звернення: 25.11.2024).
5. Al-Badi, Ali, Ali Tarhini, and Asharul Islam Khan, Exploring Big Data Governance Frameworks. Procedia Computer Science. 2018. № 141. P. 271–277

ОНОВЛЕННЯ КЛАСИФІКАЦІЇ СПОЖИВАЧІВ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

Вступ. Трансформація енергетичного законодавства України, що спостерігається останні десятиліття призвели до еволюції категорії «споживач електричної енергії». Процес еволюції обумовлений необхідністю адаптації однієї з ключових фігур в енергетиці, яку ми звикли називати «споживач» до сучасних ринкових умов, набуття можливостей реалізації в інтелектуальній, інвестиційній, виробничо-технологічній та економічній сферах. Перелік споживачів суттєво збільшився. Кожен з окремих типів споживачів набули свого функціоналу, складу, можливостей, структури, відповідно, з'явилися нові вимоги до проектування, улаштування, експлуатації. Виникає необхідність упорядкування інформації щодо споживачів, зокрема через уточнення (оновлення) існуючої класифікації споживачів електричної енергії [1, 2] додаванням нових класифікаційних ознак, що в свою чергу призведе до легкої ідентифікації особливостей та потреб споживачів, ефективного розподілення ресурсів між споживачами, спрощення процесів керування, проектування, експлуатації, оптимізації окремих споживачів та енергосистем в цілому.

Метою роботи є оновлення існуючої класифікації споживачів електричної енергії у відповідності до сучасних умов функціонування енергетики. **Завдання роботи:** дослідити актуальний перелік різновидів споживачів електричної енергії, об'єднань споживачів; скласти перелік класичних класифікаційних ознак; визначити перелік нових, необхідних класифікаційних ознак.

Первинно розрізняють споживачів:

- споживач - фізична особа, або юридична особа, що купує електричну енергію для власного споживання;
- активний споживач – споживач, що споживає електричну енергію та виробляє електричну енергію, та/або здійснює діяльність із зберігання енергії, та/або продає надлишки виробленої та/або збереженої електричної енергії, або бере участь у заходах з енергоефективності та управління попитом;

Згідно ДСТУ HD 60364-8-2:2022 розрізняють:

- споживач <електроенергії> - організація або особа, яка використовує електроенергію для власних потреб;
- просьюмер - суб'єкт або особа, яка може бути як виробником, так і споживачем електричної енергії.

Згідно документів, що регламентують правила функціонування ринку електричної енергії, можна виділити наступний перелік споживачів електричної енергії:

- малий побутовий споживач;
- побутовий споживач (індивідуальний, колективний);

Наведені вище споживачі у свою чергу можуть бути:

- основний споживач;
- субспоживач;
- вразливі споживачі;
- захищені споживачі.

Споживачі, що можуть існувати в ринку електричної енергії у вигляді об'єднань:

- енергетичний кооператив;
- мікромережа.

Згідно [3] розділяють наступні типи споживачів та об'єднань, що можуть бути легалізовані в Україні:

- ВДЕ-громада;
- спільно діючі споживачі відновлюваної енергії власного виробництва;
- громадянська енергетична спілка;

- споживач відновлюваної енергії власного виробництва;
- оптовий споживач;
- кінцевий споживач.

Традиційні класифікаційні ознаки споживачів:

- за призначенням (промислові, побутові, сільськогосподарські, транспорт);
- за категоріями надійності електропостачання (перша, друга, третя категорії);
- за видом споживаного струму (постійний, змінний);
- за типом підключення (однофазні, трифазні);
- за напругою (до/вище 1000 В);
- за умовами роботи (внутрішні, зовнішні);
- за характером навантаження (активні, індуктивні, ємнісні, змішані);
- за режимом роботи (тривалий, короткочасний, повторно-короткочасний);
- за рівнем автоматизації (автоматизовані, неавтоматизовані);
- за мобільністю (стаціонарні, переносні);
- за наявністю програмного керування (мають, не мають);
- за впливом на показники якості електричної енергії (впливають, не впливають);
- за можливістю участі в управлінні режимами роботи енергосистеми;
- за можливістю акумулювання енергії;
- за типом роботи (двигунові, нагрівальні, освітлювальні, електронні);

Нові класифікаційні ознаки споживачів, що пропонуються:

- за класом енергоефективності (А, В, С, D, E, F, G);
- за характером взаємодії з енергосистемою (споживач, активний споживач);
- за типом просьюмера (автономні, підключені до мережі, острівні);
- за наявністю систем акумулювання;
- за типом мережі живлення (автономний, підключений до мікромережі, підключений до централізованої мережі, змішані);
- за здатністю до автономної роботи (автономні, частково автономні, залежні);
- за застосуванням цифрових технологій (цифрові, традиційні);
- за екологічною стійкістю (стійкі, нейтральні, нестійкі);
- за вразливістю;
- за захищеністю;
- за типом систем обліку (з механічною/електронною/інтелектуальною системою);
- за складом споживача (індивідуальний, об'єднання – енергетичний кооператив).

Висновок. В роботі оновлено класифікацію споживачів електричної енергії новими класифікаційними ознаками, що відображають еволюцію категорії «споживач», актуальні процеси, структуру, правила функціонування енергетики.

Список використаної літератури

1. Правила улаштування електроустановок (перше переглянуте, перероблене, доповнене та адаптоване до умов України видання). Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0476732-17#Text>;
2. Лазуренко О.П., Лисичкина Д.С, Черкашина Г.І. «Новий підхід до класифікації споживачів електричної енергії», Світлотехніка та електроенергетика, №. 1, С. 76–80, 2008;
3. Четвертий Енергопакет «Чиста енергія для всіх європейців». Режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/984_039-18#Text; <https://energysecurityua.org/ua/brify/dyrektyva-yes-2019-944-yevropeyskoho-parlamentu-i-rady-vid-05-cherwnia-2019-roku/>