

Список використаних джерел

- 1- Панасюк М. В. Порівняльна характеристика поновлюваних джерел енергії / М. В. Панасюк // XLIV науково-технічна конференція професорсько-викладацького складу, співробітників та студентів університету за участю працівників науково-дослідних організацій та інженерно-технічних працівників підприємств м. Вінниці та області. – Режим доступу: <http://conf.vntu.edu.ua/allvntu/2015/ineeem/txt/panasyuk-shulle.pdf>
- 2- Енергоефективність та відновлювані джерела енергії / Під заг. ред. А. К. Шидловського. – К.: Українські енциклопедичні знання, 2007. – 560 с.
- 3- Цілі сталого розвитку. Ціль 7: відновлювана енергія. URL: <https://www.ua.undp.org/content/ukraine/uk/home/sustainable-development-goals/goal-7-affordable-and-clean-energy.html>
- 4- Кудря С. О. Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії: підруч. для студ. вищ. навч. закл., які навчаються за напрямом підготов. "Електротехніка та електротехнології" та "Електромеханіка" / С. О. Кудря; Нац. техн. ун-т України "Київ. політехн. ін-т". – К.: НТУУ "КПІ", 2012. – 489 с.
- 5- Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії: навч. посіб. / І. О. Сінчук [та ін.]; під ред. д-ра техн. наук, проф. Сінчука О. М. – Кременчук : Щербатих О. В., 2013. – 192 с.

наук.керівник: канд.техн.наук, доцент каф.електропостачання Бориченко О.В.

УДК 621.314

Усенко А.О.

Кафедра електропостачання

ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ГІБРИДНИХ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПОБУТОВОГО СЕКТОРУ

Анотація. В роботі наведено аналіз використання гібридних систем електропостачання побутового сектору. Моніторинг процесу використання застосування комбінованих систем в побуті.

Ключові слова: енергоефективність, гібридні системи, споживач.

Annotation. The analysis of the use of hybrid power supply systems of the household sector is given in the work. Monitoring the process of using combined systems in the home.

Key words: energy efficiency, hybrid systems, consumer.

Вступ

На теперішній час у світі відбуваються значні зміни у підходах до формування енергетичної політики держав: здійснюється перехід від застарілої моделі функціонування енергетичного сектору, в якому домінують великі виробники, викопне паливо, неефективні мережі, недосконала конкуренція на ринках природного газу, електроенергії, вугілля – до нової моделі, в якій створюється більш конкурентне середовище, вирівнюються можливості для розвитку й мінімізуються домінування одного з видів виробництва енергії або джерел та шляхів постачання палива. Разом з цим віддається перевага підвищенню енергоефективності й використанню енергії з альтернативних та відновлювальних джерел.

Зазвичай при цьому враховуються та впроваджуються заходи із підвищення надійності функціонування енергосистем, а також, як результат, зменшення шкідливих викидів в атмосферу та адаптації до змін клімату. Наразі це ставить перед Україною нові економічні та технологічні виклики, для того щоб бути ваговим гравцем на енергетичному ринку в континентальній Європі. Але водночас відкриває нові можливості для пошуку та впровадження інноваційних розробок у галузі видобутку, переробки викопних видів палива, виробництва, трансформації, постачання і споживання енергії, що зумовлює потребу у формуванні нової енергетичної політики держави. Україна використовує для власних потреб різноманітні джерела енергії, такі як нафта, природний газ, вугілля, атомна і гідроенергія, енергія вітру і сонця тощо[16]. Вона є і в перспективі прагне залишатися одним із найбільших виробником вуглеводнів та надійним транзитером енергоресурсів, забезпечуючи безпечно і надійне їх постачання як власним споживачам, так і споживачам суміжних ринків, а також вносить свій внесок в продовження економічного зростання і процвітання для українців. Проте сучасний стан вітчизняної електроенергетики такий, що система централізованого електропостачання не в змозі забезпечити вимоги високотехнологічного обладнання щодо надійності електропостачання та якості електричної енергії. Перерви в електропостачанні складають близько 10% від загального часу технологічних процесів протягом року (проти 0,1% у розвинених країнах), а тривалість споживання неякісної електроенергії (особливо для

сільських споживачів) складає близько 45% від загального часу роботи. Більша частина генеруючих активів та мереж енергопостачання зношена та неефективна. Переважна більшість блоків теплових електростанцій перевищили межу фізичного зношення й потребує ґрунтовної модернізації або заміни, більшість блоків атомних електростанцій наближається до межі проектного терміну експлуатації. Баланс потужності енергосистеми України характеризується дефіцитом регулюючих потужностей, що зумовлює нераціональне використання існуючих потужностей та високий рівень втрат.

Результати дослідження

На теперішній час у світі відбуваються значні зміни у підходах до формування енергетичної політики держав: здійснюється перехід від застарілої моделі функціонування енергетичного сектору, в якому домінують великі виробники, викопне паливо, неефективні мережі, недосконала конкуренція на ринках природного газу, електроенергії, вугілля – до нової моделі, в якій створюється більш конкурентне середовище, вирівнюються можливості для розвитку й мінімізуються домінування одного з видів виробництва енергії або джерел та шляхів постачання палива.

Разом з цим віддається перевага підвищенню енергоефективності й використанню енергії з альтернативних та відновлювальних джерел. Зазвичай при цьому враховуються та впроваджуються заходи із підвищення надійності функціонування енергосистем, а також, як результат, зменшення шкідливих викидів в атмосферу та адаптації до змін клімату. Організація резервного електропостачання особливо актуальна в умовах сильного зносу загальних електромереж.

У багатьох випадках, відключення електроенергії навіть на кілька годин може спричинити за собою величезні витрати. Якість електроенергії, яка виробляється автономними електрогенераторами, має параметри на рівні, а часом і кращі, ніж в централізованій мережі. Це особливо важливо при використанні їх як джерел енергії для об'єктів, оснащених обладнанням, чутливим до якості електроенергії.

Ступінь участі електрообладнання відновлюваної енергетики в електрифікації об'єкта залежить від багатьох факторів, серед яких найважливішими є: енергетичний потенціал ВДЕ і його зміна в часі, потреби 51 об'єкта в потужності і енергії, вимоги до надійності електропостачання, економічні показники. Залежно від цих та інших чинників вибирається склад і структура автономної системи електропостачання об'єкту.

Висновки

За існуючими оцінками, економічний потенціал ВДЕ має дуже великі перспективи для розвитку та впровадження на території України. Основною перешкодою є залежність від існуючих економічних умов; вартості, наявності та якості запасів корисних копалин паливно-енергетичних ресурсів; регіональних особливостей і т.д. Відновлювана енергетика здатна зробити значний вклад у вирішення проблем підвищення надійності електропостачання споживачів та сприятиме децентралізації системи ОЕС України. Найбільш перспективним варіантом побудови комбінованих автономних систем електропостачання є впровадження проектів з комбінації централізованого електропостачання разом з вітро та фотоелектричними генеруючими установками.

Список використаних джерел

1. Лукутин Б.В. Децентрализованные системы электроснабжения с ветровыми и солнечными электростанциями: учебное пособие/ Лукутин Б.В., Муравлев И.О.,
- 2.Плотников И.А. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2015. – 100 с.
3. Виссарионов, В.И. Энергетическое оборудование для использования нетрадиционных и возобновляемых источников энергии / В.И. Виссарионов, С.В. Белкина, Г.В. Дерюгина, В.А. Кузнецова, Н.К. Малинин -М., 2004. 448 с
- 4.Праховник А.В. Контроль ефективності енерговикористання – ключова проблема управління енергозбереженням / А.В. Праховник, В.Ф. Находов, О.В. Бориченко // Энергосбережение, энергетика, энергоаудит. – 2009. - №8 (66). – С. 41-54.
- 5.Праховник А. В. Побудова автоматизованих систем обліку електроенергії для енергетичних об'єктів / А.В. Праховник, В.П. Калинин, О.В. Дегтярьов // Новини енергетики. – 2007. – №5. – С.55-58.
- 6.Ковалко М.П. Особливості формування енергозберігаючої політики в Україні / М.П. Ковалко, С.П. Денисюк. – К.: Держкоменергозбереження України, 1996. – 72 с. 30.
- 7.Праховник А.В. Практичний посібник з енергозбереження для об'єктів промисловості, будівництва та житлово-комунального господарства / А.В. Праховник, В.В. Прокопенко, О.М. Закладний, В.І. Дешко та інші. – Луганськ: Місячне сяйво, 2010. – 696 с.
8. Гелетука Г.Г. Україна: нетрадиційні та відновлювані джерела енергії / Г.Г. Гелетука, С.О. Кудря // Зелена енергетика. - 2005.- №2.- С. 6-8.

наук.керівник: канд.техн.наук, доцент каф.електропостачання Калінчик В.П.

Савіцький Д.О., студ. гр. ОН-301мп

ДОСЛІДЖЕННЯ ІНТЕРГАРМОНІКИ НА ОСНОВІ ЗАСТОСУВАННЯ ПАКЕТНОГО ВЕЙВЛЕТ-ПЕРЕТВОРЕННЯ

Анотація. У статті розглядається дослідження інтергармоніки на основі застосування пакетного вейвлет-перетворення. Висвітлюється результати дослідження.

Ключові слова: якість напруги, гармоніки, інтергармоніки, вейвлет-перетворення, дерево вейвлет-пакетного розкладання.

Інтергармоніки є струми або напруги, які не є кратними основній частоті змінного струму. Повного розуміння природи електромагнітних збурень, що асоціюються з інтергармоніками, ще немає, і в даний час до цього явища виник підвищений інтерес. Інтергармонік завжди присутні в системі електропостачання, але останнім часом з різким збільшенням силових електронних систем їх практичний вплив стало більш відчутним. При аналізі форми синусоїди змінного струму інтергармоніки визначаються як компоненти спектра в квазістійкому стані в певному діапазоні частот. У (таблиці 1.1) наведено математичні визначення інтергармоніки і не тільки.

Таблиця 1.1 - Спектральні складові хвилі (частоти f)

Гармоніки	$f = n f_1$ де n – ціле число більше нуля
Компоненти постійного струму	$f = n f_1$ для $n = 0$
Інтергармоніки	$f \neq n f_1$ де n – ціле число більше нуля
Субгармоніки	$f > 0$ Гц і $f < f_1$
f_1 = основна частота напруги (основна гармоніка)	

Джерелами інтергармонік є споживачі, які працюють постійно або тимчасово в перехідному режимі. Інтергармоніки можуть генеруватися на будь-якому рівні напруги і переносяться між рівнями, тобто інтергармоніки, створені в системах високої напруги і середньої напруги, вбудовуються в систему низької напруги та навпаки. Їх величина рідко перевищує 0,5% напруги основної гармоніки, хоча можуть виникати і більш високі рівні в умовах резонансу.

Інтергармоніки виникають внаслідок модуляції основної частоти і гармонік іншими частотними компонентами і спостерігається під час експлуатації статичних перетворювачів частоти, зокрема циклоконверторами, асинхронними двигунами, асинхронними перетворювальними каскадами, дуговими печами, зварювальними машинами тощо. Через це дослідження їх виникнення, поширення і агрегації важливе для забезпечення якості та надійності від джерела живлення.

Існують два основні механізми які призводять до появи інтергармонік. Перший полягає у виникненні складових у частоті напруги живлення в його гармоніках в результаті зміни їх амплітуд і кутів фаз. Це викликається швидкою зміною значень струму в електроустановках та устаткуванні, які можуть бути причиною перепаду напруги. Обурення викликаються навантаженнями в перехідних режимах постійно або тимчасово або у багатьох випадках у разі модуляції струмів і напруг. Ці обурення носять випадковий характер і залежить від устаткування і процесів.

Другим механізмом є асинхронне перемикання (тобто несинхронізоване із частотою живлення) напівпровідникових пристроїв статичних перетворювачів. Типовим прикладом є перетворювачі частоти та пристрої з широтно-імпульсною модуляцією. Вироблені ними інтергармоніки можна виявити практично в будь-якій частині спектру живлення.

Вплив інтергармонік може призводити до порушень роботи пристроїв, що приймають сигнали, що передаються силовими лініями. На дискретних частотах, близьких до основної, інтергармоніки можуть призвести до флікера. Це пов'язано з тим, що дані частоти можуть викликати амплітудну модуляцію основної частоти струму, яка буде особливо відчутною при частоті модуляції, близької до 10 Гц. Тривалий вплив може призвести до додаткового нагрівання обладнання, що призводить до скорочення термінів служби та пошкодження конденсаторів, машин, що обертаються, та інших пристроїв.

На сьогоднішній день існує велика кількість методів які дозволяють виміряти або ще кажучи визначити інтергармоніки. Вимірювання інтергармонік завжди викликав серйозну стурбованість при проблемах якості енергії, контролем, а також захистом енергосистеми. В даний час існує цілий ряд алгоритмів аналізу форми хвилі струму і напруги. Оцінка їх ефективності включає в себе визначення точності і швидкодії. На (рис. 1.1) зображено основні методи які допоможуть визначити інтергармоніки.

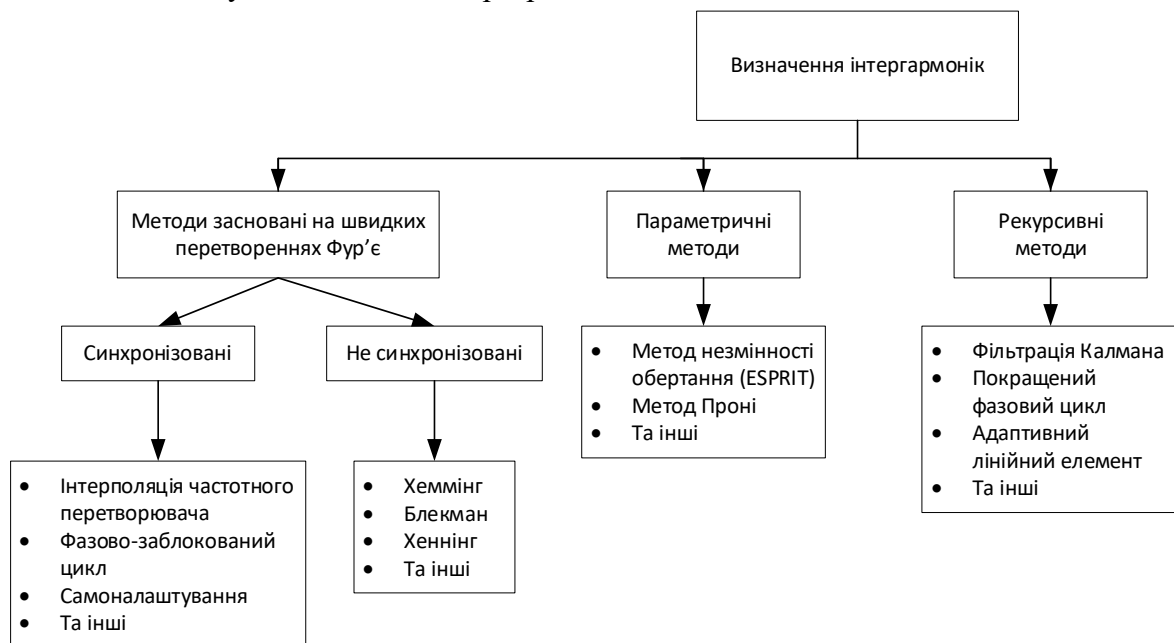


Рисунок 1.1 - Класифікація основних методів визначення інтергармонік

Алгоритм визначення інтергармонік є наступним. Гармонійний аналіз необхідно проводити до 50 гармоніки, що при часовому вікні 200 мс, частотному розділенні 5 Гц і необхідності виконання умов теореми (Шенона Котельникова) яка призводить до частоти дискретизації вхідного сигналу 6,4 кГц і вейвлет-розкладання до $j = 7$ рівня. На (рис. 2.1) зображено дерево вейвлет-пакетного розкладання з групуванням частотних груп.

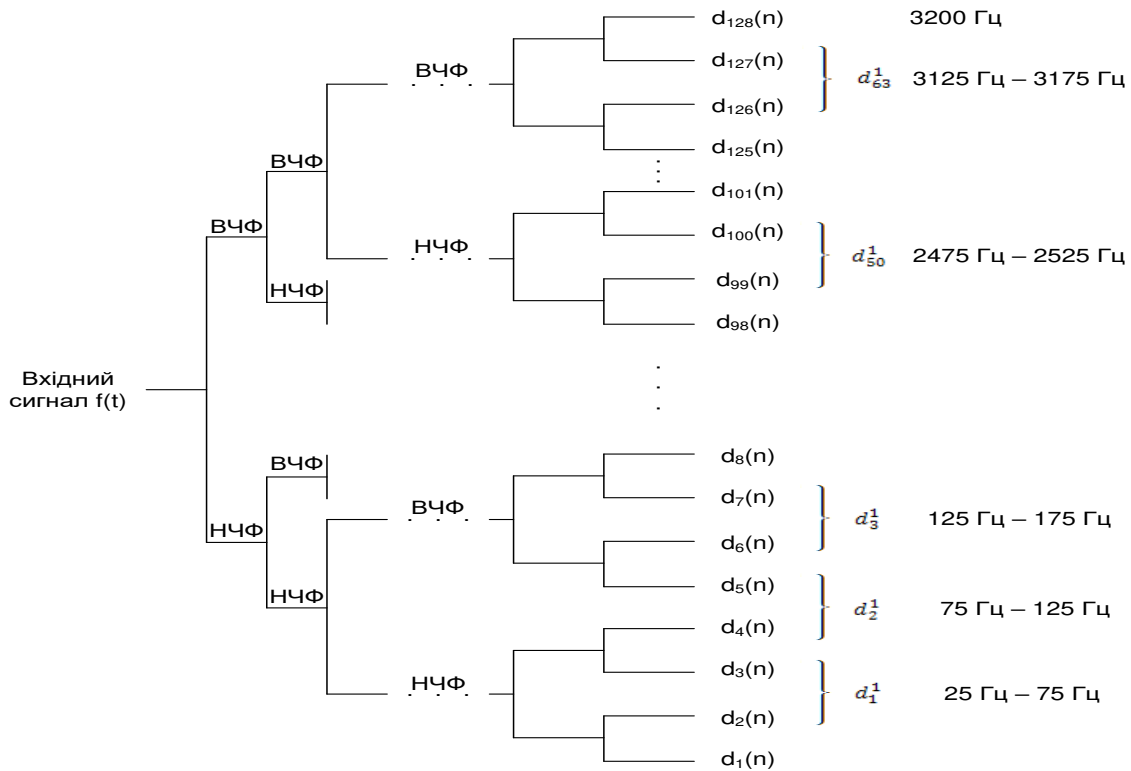


Рисунок 2.1 – Дерево вейвлет-пакетного розкладання з групуванням частотних смуг (діапазонів): $d_1(n)$, ..., $d_{128}(n)$ – вейвлет-коефіцієнти сьомого рівня розкладання (частотні смуги шириною 3200/128-25 Гц)

Величина будь-якої інтергармонікової групи (ІГ) - це квадратний корінь із суми квадратів величин інтергармонік у цій групі. Наприклад, величина другої інтергармонічної групи, або, простіше кажучи, другої інтергармоніки є квадратним коренем із суми квадратів величин інтергармонічних складових від 125 Гц до 175 Гц. Формула 2.1 – це рівняння, яке використовується для розрахунку величини інтергармонічної групи N , з 11 величин інтергармонічної складової (Y) між N^{th} і $(N+1)^{th}$ гармоніки.

$$I\Gamma_N = \sqrt{\sum_{k=1}^{11} Y^2(60H_z * N + 5H_z * K)} \quad 2.1$$

Визначимо середньоквадратичне значення кожної групи як корінь квадратний з середнього квадрата коефіцієнтів двох підгруп, що входять до кожної групи. Наприклад:

$$x_{сркв}(1) = \sqrt{\frac{1}{2}(d_1')^2} = \sqrt{\frac{1}{2}(d_2(n) + d_3(n))^2} \quad 2.2$$

У якості досліджуваного сигналу обрано наступний (рис. 2.2):

що має першу, третю, п'яту і сьому гармоніки. Частота дискретизації - 800 Гц (0,00125 с), рівень вейвлет-розкладання - $j = 4$ (16 відліків на період), часове вікно - 10 періодів.

Даний сигнал обраний за результатами аналізу наявності гармонік у електричній мережі. Так, коефіцієнт спотворення синусоїдальності кривої напруги визначається: в мережах з електродуговими сталеплавильними і руднотермічними печами в основному 2, 3, 4, 5, 7 - гармоніками; установок дугового і контактного зварювання - 5, 7, 11, 13 - гармоніками; застосування газорозрядних ламп приводить до появи токів 3 та 5 гармонік (можуть складати

10 % та 3 % від струму основної гармоніки); трансформатори головної понижуючої підстанції дають 5 - ту гармоніку при несинусоїдальній напрузі на їх вводах.

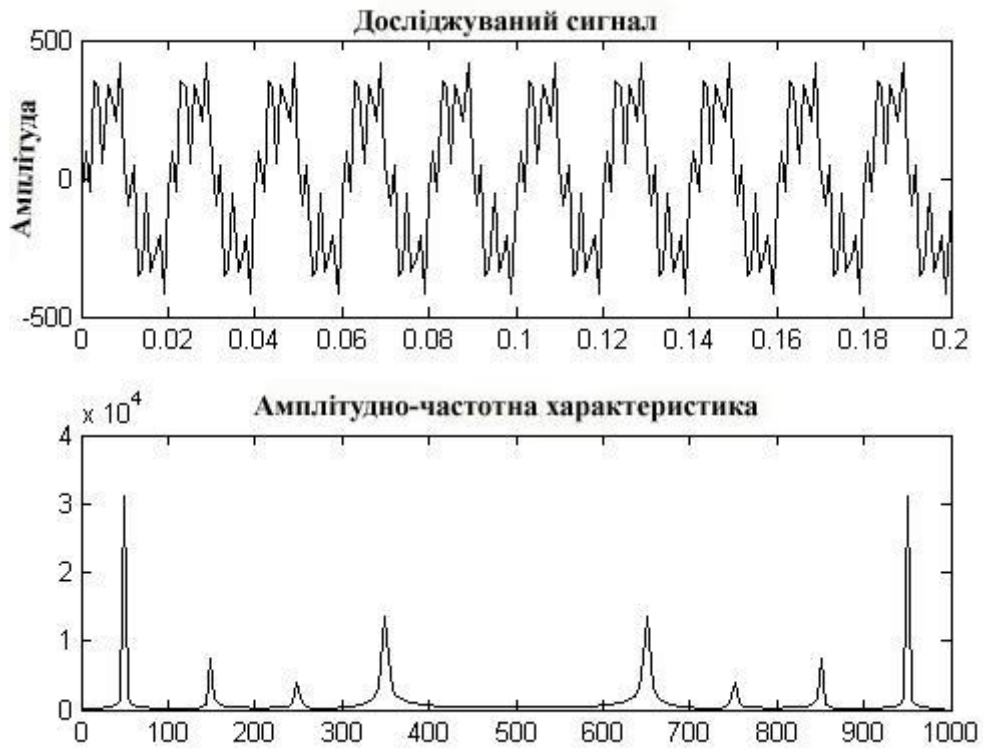


Рисунок 2.2 - Досліджуваний сигнал і його амплітудно-частотна характеристика

Розрахунок гармонічних груп проводився за допомогою ДПФ і вейвлет-аналізу з різними типами вейвлетів. Результати обчислень представлені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 - Порівняльний аналіз виміру гармонічних груп за ДПФ і вейвлет перетворенням

Частотна смуга (діапазон), Гц	Гармонічна група	ДПФ	Вейвлет-аналіз			
			Добеші		'haar'	'morl'
			'db2'	'db9'		
25-75	1	220,001	220,0013	220,86	219,05	220,03
125-175	3	55,006	55,004	55,009	54,98	55,01
225-275	5	29,61	30,009	30,067	29,48	30,01
325-375	7	120,006	119,896	120,12	120,16	120,015
Сумарне значення	258,27		258,267	259,10	257,51	258,35
Помилка, %	0,015		0,016	-0,3	0,309	-0,0155

В якості вейвлет-базисів використовувалися вейвлети Добеші, Хара і Морле. Як видно із таблиці 2.1, результати визначення гармонічних груп за алгоритмом ДПФ і вейвлет-аналізом різняться в четвертому знаку після коми, тобто є еквівалентними.

Висновки. У цій доповіді проаналізовано визначення інтергармоніки на основі застосування пакетного вейвлет-перетворення. Для найефективнішого дослідження інтергармонічних груп доцільно використовувати пакетні вейвлет-перетворення. Оскільки за рахунок того, що пакетне вейвлет-перетворення є адаптивним – це не потребує додаткових відомостей про статистичні відомості сигналів і є більш точним з мінімальною кількістю вейвлет-коефіцієнтів. Завдяки цьому при використанні інтергармонічних груп досягається синхронізація з основною частотою для визначення інтергармонік.

Література:

1. Пивняк Г.Г. Интергармоніки в системах електропостачання / Г.Г. Пивняк, І.В. Жежеленко, Ю.А. Папайка, О.Г. Лисенко // Науковий вісник НГУ. – 2017. – №6. – С.109-114.
2. Воробьев В.И. Теория и практика вейвлет-преобразования / В.И. Воробьев, В.Г. Грибунин. – С.-Петербург: ВУС, 1999. – 204 с.
3. . Soltani H. Interharmonics Analysis and Mitigation in Adjustable Speed Driver: дис. ... доктора. філософії : 28.02.2016 / Hamid Soltani. – Aalborg, Denmark, 2013. – 133 p.
4. Hanzelka Z. Power Quality Application Guide : [Harmonics Interharmonics] / Z.Hanzelka, A. Bien. – AGH University of Science and Technology, 2004. – 22 p.
5. Волошко А.В. Щодо застосування вейвлет-перетворення для визначення та оцінки показників якості електричної енергії / А.В. Волошко, А.Л. Харчук // Енергетика: економіка, технології, екологія. – 2013. – №1. – С. 30-34.

Науковий керівник: д-р техн. наук, професор каф. електропостачання Волошко А.В.

Андрійчук А.А.
Кафедра електропостачання

БАГАТОРІВНЕВА СИСТЕМИ ЕНЕРГЕТИЧНОГО МОНІТОРИНГУ ЯК ІНФОРМАЦІЙНИЙ ЗАСІБ СИСТЕМИ ЕНЕРГЕТИЧНОГО МЕНЕДЖМЕНТУ ПТАХОФАБРИКИ

Анотація. Актуальність обраної теми зумовлено необхідністю в інформаційному забезпеченні системи енергоменеджменту птахофабрик. Метою статті є розгляд результатів розробки структури та схеми впровадження системи енергетичного моніторингу. Кількість використаних наукових джерел – 6, кількість рисунків – 2.

Ключові слова: багаторівнева система енергомоніторингу, енергоефективність, енергетичний менеджмент, енергетичний моніторинг, птахофабрика.

Abstract. The relevance of the chosen topic is due to the need for information support of the energy management system of poultry farms. The purpose of the article is to consider the results of the development of the structure and scheme of implementation of the energy monitoring system. Number of used scientific sources - 6, number of drawings - 2.

Keywords: Energy efficiency, energy management, multilevel energy monitoring system, poultry.

Вступ. В реаліях сучасної української промисловості лише невелика кількість підприємств має якісну систему комерційного обліку паливно-енергетичних ресурсів(ПЕР), про технічний облік мова йде дуже рідко, хоча дані системи необхідні та сприяють підвищенню рівня енергетичної ефективності, особливо в купі з впровадженням системи енергоменеджменту(СЕНМ)[1]. Важливою деталлю СЕНМ є встановлення базових рівні енергоспоживання для суттєвих споживачів енергії, якість базового рівня енергоспоживання(БРЕ) впливає на оцінку енергоефективності всього підприємства, а також дозволяє краще оцінювати економію від заходів з енергоефективності. Система енергомоніторингу є основою створення якісних математичних моделей базових рівнів на підприємствах[2].

Мета та завдання. Розробка структури та схеми впровадження багаторівневої системи енергетичного моніторингу.

Матеріал і результати досліджень. Результатом є створення структури багаторівневої системи моніторингу (рисунок 1). Структура системи складається з:

1. Система вимірювання та збору даних, включає в себе об'єкти для яких буде проводитися моніторинг, за допомогою комплексу обладнання, такого як лічильники електроенергії/газу, датчики контролю додаткових параметрів, які наведено вище, а також набір документації для кожного окремого об'єкту. В якості об'єкту моніторингу може виступати окреме обладнання, технологічних процес, тощо.

2. Система локального моніторингу, основною задачею даної системи є проведення моніторингу даних отриманих з об'єктів моніторингу, а також їх передача до системи обробки даних.. Передача інформації може виконуватись як автоматично, через інтернет і системи управління базами даних(БД), так і відповідальним персоналом. Необхідність блоку збору даних передбачається обмеженістю передачі даних в автоматичному режимі[3].

3. Система обробки даних реалізує аналіз даних, моделює та прогнозує попит на ПЕР, створює ПЕБ, оцінює рівень енергорезультативності, створює звіти, може включати процесу нормування витрат ПЕР. Операції аналізу здійснюються спеціальним програмним забезпеченням, наприклад, таким як: MS Excel, Statista, MatLab, Python, RStudio[4], та інше.

Передбачається, що засоби вимірювальної техніки будуть здійснювати вимірювання

одночасно, через певні проміжки часу які можуть бути задані технічним персоналом в залежності від обставин та необхідності, зазвичай цей інтервал складає від 30 хвилин до кількох годин[16]. До складу вимірювальних комплексів також входять трансформатори напруги(ТН), трансформатори струму(ТС), основні та дублюючі лічильники, показники якості електроенергії. ТН та ТС здійснюють масштабне перетворення первинних значень напруги і струму в точці вимірювання у вторинні значення напруги і струму, які сприймаються лічильниками. Лічильними вимірюють активну та реактивну енергію.

Пристрої збору та передача даних, які включені в систему локального моніторингу здійснюють:

- Відлік часу від заданого початкового значення та формування інтервалів часу на підставі показників інтегрованого годинника;
- Зберігання в ПБД параметрів обліку та інших службових даних;
- Зчитування первинних даних обліку та інших даних з ПБД;
- Оброблення зчитаних даних за заданими алгоритмами, зокрема обчислення втрат енергії або верифікування даних;
- Обчислення відхилень поточних даних і прогнозованих параметрів режимів енергоспоживання;
- Передачу виміряних даних на верхні рівні системи за певним розкладом або запитом;

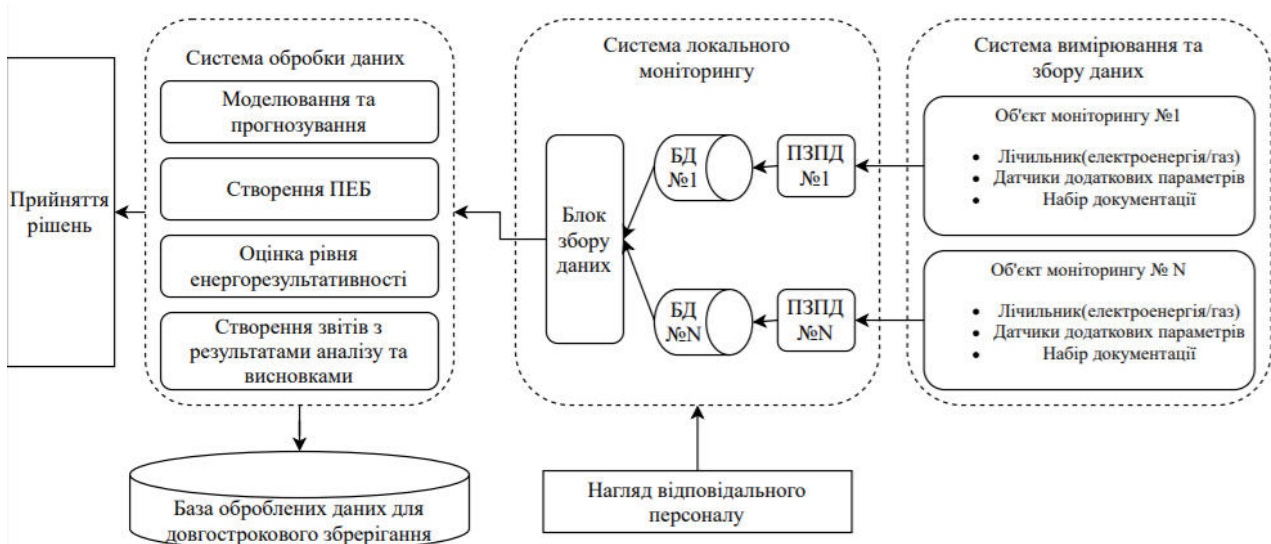


Рисунок 1 – Графічне зображення структури системи енергомоніторингу[5]

Впровадження багаторівневої системи моніторингу передбачає комплексний підхід до задачі. Користуючись світовими практиками, та спираючись на та мною розроблений план впровадження системи на основі циклу Plan-Do-Check-Akt(Палнуй-Виконуй-Перевіряй-Дій), зображено на рисунку 2, який описує 4 основні задачі які мають виконуватися в процесу впровадження та реалізації системи енергетичного моніторингу. Особливістю даного циклу є постійне поліпшення, що відбувається за рахунок вживання певних заходів на етапі «Дій», ці заходи базуються на інформації яка отримана в результаті діяльності системи, і дозволяє поступово підвищувати рівень енергоефективності та якості моніторингу споживання ПЕР. Детальніше розглянемо кожен етап циклу:

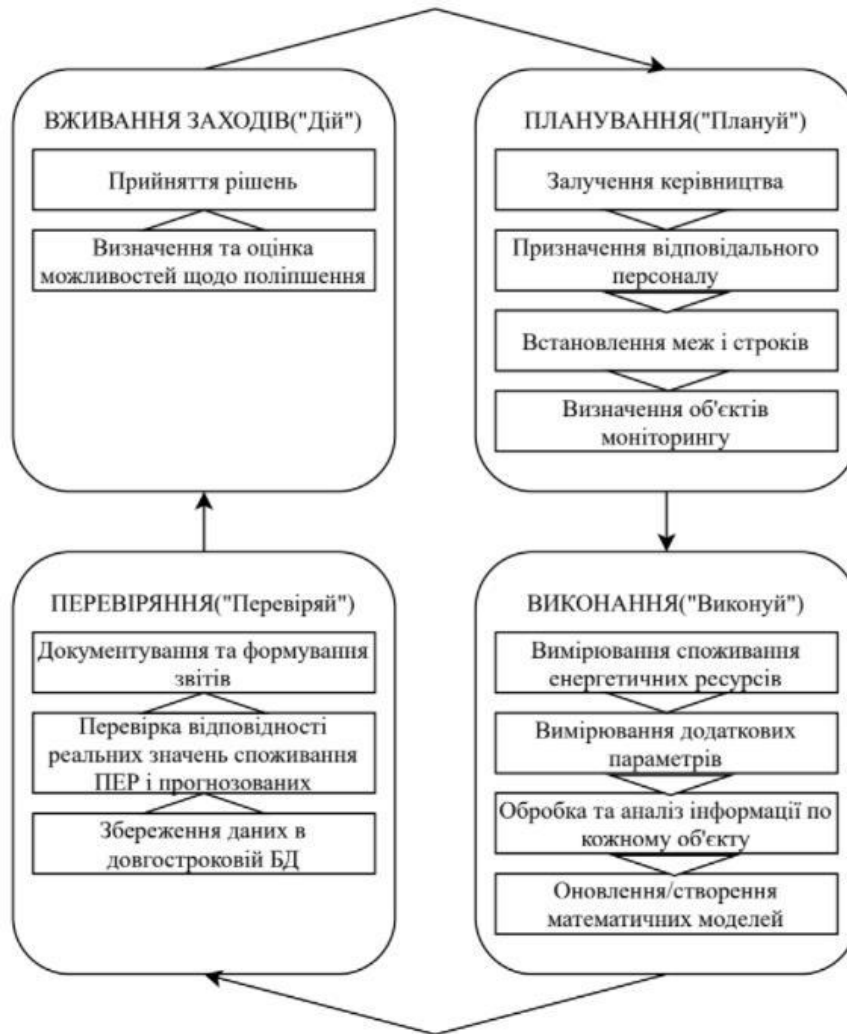


Рисунок 2 - Цикл PDSA для впровадження багаторівневої системи енергомоніторингу[6]

Детальніше розглянемо кожен етап циклу:

1. **ПЛАНУВАННЯ («Плануй»)** – перший етап впровадження передбачає залученість керівництва підприємства, керівництво має в повній мірі розуміти переваги та прийняти рішення, щодо впровадження системи енергомоніторингу. Наступний етапом є призначення відповідального за впровадження персоналу, персонал має володіти достатньою для даної задачі кваліфікацією(освіта, знання в сфері моніторингу, енергетики, знання ринку надавачів послуг з встановлення лічильників, їх комутації). Також призначення відповідального персоналу включається виділення ресурсів, в тому числі грошових. Далі встановлюються межі діяльності системи, часто систему енергомоніторингу важко встановити для підприємства в цілому, тому зазвичай починають з окремих об'єктів або процесів, якими варто вибирати суттєві споживачі, так як це дасть найбільший результат. До даного етапу відноситься також встановлення строків виконання робіт.

2. **ВИКОНУЙ («Виконання»)** – даний етап передбачає безпосереднє виконання задач системи енергомоніторингу, таких як: вимірювання всіх необхідних параметрів об'єктів моніторингу(в тому числі й неенергетичних параметрів), передача інформації до системи обробки даних, та їх аналіз. Важливим кроком є створення/оновлення математичних моделей, які доповнюються даними, та прогнозують попит на енергетичні ресурси і оцінюють обсяг енергозбереження або перевитрати.

3. ПЕРЕВІРЯННЯ («Перевірй») – включає зберігання оброблених даних в базі даних довгострокового зберігання. Перевірка відповідності реальних значень споживання ПЕР та значення спрогнозованих БРЕ. Важливим етапом є формування звітів для «передачі» отриманих результатів в наступний етап для їх подальшого аналізу відповідальним персоналом та керівництвом.

4. ВЖИВАННЯ ЗАХОДІВ («Дій») – на основі звітів отриманих на попередньому етапі визначається оцінка можливостей, щодо поліпшення функціонування системи та покращення рівня енергоефективності. Після оцінки можливостей керівництвом та відповідальним персоналом приймаються рішення, щодо безпосередньої реалізації можливостей. Даний етап є дуже важливим, так як забезпечує процес постійного поліпшення.

Висновки. Створено структуру багаторівневої системи енергетичного моніторингу, яка відрізняється від аналогів тим, що збирає дані не енергетичні дані об'єктів моніторингу, а й неенергетичні. Неенергетичні дані в подальшому передаються до системи обробки даних, де використовуються в якості факторів, що впливають на енергоспоживання при прогнозуванні попиту на ПЕР та встановлення БРЕ. Всі отримані дані аналізуються та зберігаються в БД. На основі діяльності системи енергомоніторингу створюються звіти, ознайомившись з якими відповідальний персонал та керівництво птахофабрики може приймати управлінські рішення, які призводять до підвищення ефективності роботи підприємства.

Перелік використаних джерел:

1. 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);
2. 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.
3. Енергетичний аудит: Навчальний посібник / О.І. Соловей, В.П. Розен, Ю.Г. Лега, О.О. Ситник А.В. Чернявський, Г.В. Курбаса. –Черкаси, 2005.
4. Коцар О.В., Автоматизовані системи контролю, обліку та управління енерговикористанням, 2017
5. ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМЫ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ МОЛОЧНОЙ ОТРАСЛИ, Чернявский А., Быковский А., 2018.
6. Керівництво з впровадження системи енергетичного менеджменту відповідно до вимог міжнародного стандарту ISO 50001:2018 / О. Бориченко, Є. Іншеков, П. Пертко, О. Соловей, А. Чернявський.// Під редакцією Є. Іншекова та А. Чернявського. – UNIDO: Проект UNIDO-GEF UKR-IEE, 2021.

Науковий керівник: к.т.н., доцент кафедри електропостачання Чернявський А.В.

СЕКЦІЯ 2.
ЕНЕРГЕТИЧНИЙ МЕНЕДЖМЕНТ ТА ІНЖИНІРИНГ

УДК 621.31

Демченко В.В.
кафедра теплотехніки та енергозбереження

ВПЛИВ СИСТЕМ НАКОПИЧЕННЯ ЕНЕРГІЇ В ЖИТЛОВОМУ СЕКТОРІ НА БАЛАНСУВАННЯ НАВАНТАЖЕННЯ ТЕПЛОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

Надано рекомендації щодо підвищення ефективності використання енергії, за допомогою інтеграції теплових акумуляторів в побутовому секторі. Продемонстровано, що це позитивно вплине на стабільність роботи Smart Grid мережі та регулювання нестабільності та невідповідності часу між постачанням та попитом на енергію. Розглянуто конкретний приклад використання в побуті теплового акумулятора та результати від його впровадження. Означені перспективи розвитку таких систем в майбутньому.

Ключові слова: Smart Grid мережа, система, тепловий акумулятор, ефективність

Recommendations for improving energy efficiency through the integration of heat storage in the household sector are given. It has been shown that this will have a positive effect on the stability of the Smart Grid network and the regulation of instability and time mismatch between supply and demand for energy. A specific example of the use of heat storage in the home and the results of its implementation are considered. Prospects for the development of such systems in the future are identified.

Keywords: Smart Grid network, system, heat-storage, efficiency

Вступ

Адміністративні, громадські та житлові будівлі споживають 40% загальної енергії, що постачається в усьому світі. Означені будівлі, як правило, мають значні коливання в теплових та електричних потребах, як на короткостроковій, так і на довгостроковій основі.

Зберігання енергії в будівлях має величезний потенціал. Власникам та операторам будинків зберігання енергії забезпечує гнучкість експлуатації, що дозволяє оптимізувати енергоспоживання. Ця оптимізація призводить до підвищення енергоефективності, зменшення рахунків за комунальні послуги, покращення стійкості та надійності в процесі експлуатації.

Інтелектуальна Smart Grid (розумна енергосистема) це електрична або тепла мережа, оснащена розподіленими та взаємопов'язаними технологіями автоматизації для підвищення ефективності, мінімізації втрат, максимального використання потужності обладнання генерації та щонайбільшого використання наявних відновлюваних джерел енергії [1].

Це цілісна концепція, яка включає весь енергетичний ланцюг, від джерела теплоти до споживачів. В сучасних умовах на розвиток Smart Grid мережі впливають наступні чинники - обмеження потужності, великі втрати та відсутність надійності, що спричинені старінням транспортної та розподільчої інфраструктури; зростаючого коливання генерування енергії від відновлюваних джерел. Головна ціль керування мережею, що витікає із концепції Smart Grid, полягає у відповідності попиту та пропозиції. Технології розумних мереж допомагають досягти цієї мети, дозволяючи управління здійснювати попит споживання, що неможливо досягти за допомогою класичних моделей управління. Це вирішується, в інтелектуальній

мережі, впровадженням інформаційно-комунікаційних технологій в енергетичному ланцюзі [2].

Наразі управління навантаженням та попит донині було прерогативою виключно великих споживачів, таких, як промислові об'єкти, великі офісні та комерційні будівлі та інші. Однак завдяки розповсюдженню Інтернету, постійно зростаючій кількості інтелектуальних лічильників у малих побутових споживачів, систем диспетчеризації з дистанційним збором даних збо переходу на технології Інтернету речей, збільшенню кількості електромобілів та великої кількості побутових приладів у житловому секторі, в останній час, використання в побуті теплових акумуляторів вельми впливає на систему теплопостачання та може стати важливим елементом керування попиту на енергію [3].

Основні матеріали дослідження.

Динаміка навантаження в пікові періоди залежить насамперед від здатності системи теплозабезпечення акумулювати енергію. Ця особливість може бути значно подвоєна завдяки локальному накопиченню енергії у приватних споживачів. На жаль, накопичення електричної енергії за допомогою використання електрохімічних акумуляторів заважають економічні та екологічні чинники. Навпаки, використання системи теплового акумулювання (TES) є вкрай дешевшим та екологічним.

TES має незначну питому вартість для будь-якого типу акумулятора, в першу чергу для теплоакумуляторів з використанням акумулюючого середовища з фазовим переходом (PCM). На рисунку 1 показано температурний діапазон використання PCM, а саме: алколідів, евтектичних водних розчинів солей, парафінів, аксоїдів і фенолів та гідратів для теплових акумуляторів [4].

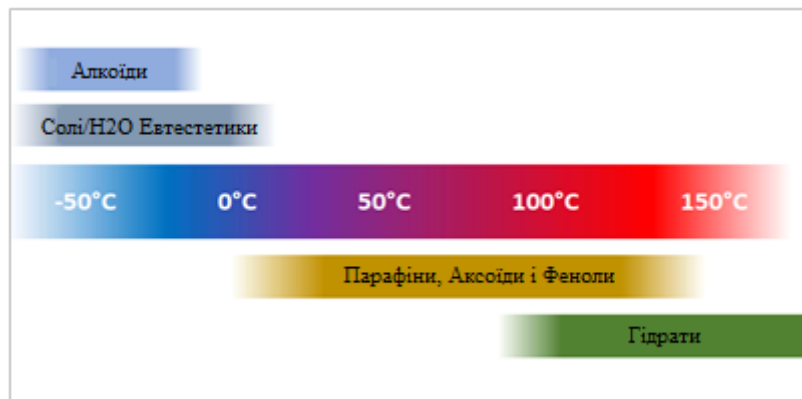


Рисунок 1. Матеріали з фазовим переходом для теплових акумуляторів

Вибір матеріалів PCM для акумулювання енергії може забезпечити приблизно вдвічі більше питомої ємності (Вт / кг) у порівнянні зі свинцево-кислотними електричними акумуляторами. Однак, основним обмеженням використання TES є то, що накопичену теплоту не рентабельно перетворювати навпаки в електричну енергію. Це обмежує галузь застосування TES тільки до сфери теплових побутових приладів, а саме для водонагрівачів, холодильників, морозильних камер та опалення, вентиляції та кондиціонування приміщень (HVAC). Однак це не зменшує його важливості, оскільки в більшості будинків найбільше

споживання енергії відбувається внаслідок нагрівання води, споживання якої, часто збігається з піковими годинами - та, у багатьох кліматичних зонах в системах HVAC.

Отже, разом зі звичними холодильниками та морозильними камерами, внутрішні TES з PCM з часом неодмінно стануть частиною Smart Grid мереж у приватних споживачів завдяки економічній вигоді та широкому використанню джерел відновлювальної енергетики. На рисунку 2 представлено, один з прикладів використання TES в побутовому секторі, який складається з двоконтурної системи кондиціювання повітря житлових та промислових приміщень за допомогою акумулятора теплової та холодної енергії [5].

Як можна бачити контур теплового насоса з компресором і повітряним конденсатором об'єднаний крізь випарник з циркуляційним контуром TES з PCM. У якості PCM може бути використано - водні розчини евтектичних солей або водорозчинних полімерів, гідрати солей або синтетичні та природні парафіни. У якості теплоносія в контурі теплового насоса використовують фреони, в контурі TES циркулює поліетиленгліколь або інші антифризи. Тепловий акумулятор розміщено в надійно теплоізолюваному контейнері.

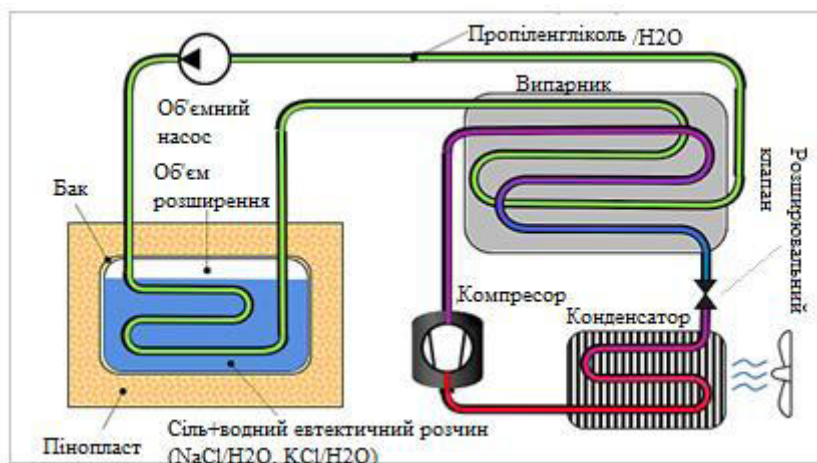


Рисунок 2. Схема нагріву та охолодження приміщень за допомогою теплового насоса з акумулятором теплоти/холоду із використанням PCM

В об'ємі контейнера TES передбачена компенсація обсягу розширення PCM [6]. Об'єм PCM вибирається з розрахунку питомої теплоємності акумуляційної рідини, для водних розчинів солей це складає 20-25 літрів на 1,0 кВт теплової потужності системи HVAC, а у випадку використання матеріалів з фазовим переходом близько 10 літрів на 1,0 кВт. Розрахунки показують, що інтеграція TES в систему HVAC може зменшити пікове навантаження на 30% і заощадити річні витрати на електроенергію на 5%, що призводить до зменшення річних викидів CO₂ на 8% [7].

Огляд ринку

Очікується, що ринок систем накопичення енергії в житловому секторі має потенціал росту споживання понад 19% протягом 2021-2026 років. Прогнозування ринку показує, що у 2019 році світовий ринок індивідуальних систем накопичення енергії в житловому секторі складав 2,2 мільярда доларів США. У 2019-2020 р. він суттєво постраждав від спалаху COVID-19. Проте прогноз розвитку ринку може сягати понад 8,5 мільярдів доларів США у 2026 році.

Посилення торгівельних обмежень через поширення COVID-19 вплинуло на ланцюг поставок у всьому світі [8].

Великі компанії, скоротили виробництво через зниження попиту в 2020 році. Однак широке поширення сонячних фотоелектричних батарей в Європі, Азіатсько-Тихоокеанському регіоні та Північній Америці спричинило попит на зберігання енергії в житлових приміщеннях. Очікується, що такими факторами, як зростання попиту на безперебійне та надійне електропостачання та поширення сонячних дахових систем у житловому секторі, будуть основними рушійними силами досліджуваного ринку.

Урядові ініціативи по впровадженню «зеленого тарифу», та встановлення інтелектуальних мережних лічильників електричної енергії, були та залишаються одним із головних факторів у впровадженні дахових сонячних фотоелектричних батарей, які, як очікується, спричиняють попит на системи зберігання енергії в майбутньому.

Проте, очікується, що висока вартість встановлення систем сонячної та акумуляторної батареї перешкоджатиме зростанню ринку систем зберігання енергії для житлових будинків у країнах, що розвиваються та слаборозвинутих у найближчі роки.

Висновки

Smart Grid мережа це сучасний тренд вдосконалення керування генерацією, розподіленням та попитом теплової та електричної енергії. У зв'язку з цим виникає ряд нових завдань щодо забезпечення надійності тепло- енергопостачання та накопичення енергії з подальшим її використанням. Актуальними є питання ефективного контролю навантаження на стороні споживача та регулювання попитом використання енергії з дотриманням вимог до параметрів мікроклімату.

Потрібно відзначити, що контроль навантаження зі сторони споживача має значні переваги перед балансуванням генерацією на джерелі енергії тому як парадігма управління змінюється з центрального управління до розподіленого. Зберігання енергії допомагає розв'язати ці питання. На відміну від акумуляторів електричної енергії теплові акумулятори можуть бути легко інтегровані в житлові приміщення приватних та багатоквартирних будинків. Існує велика кількість прикладів застосування теплових акумуляторів в житлових секторі міського типу і котеджній забудові.

Широке розповсюдження систем зберігання теплової енергії в побуті може мати важливий локальний і системний вплив на стабільну генерацію енергії, зменшення пікових навантажень, підвищення споживання електричної енергії в нічний час, заощадження паливно-енергетичних ресурсів, зменшення шкідливого впливу на довкілля та, що надважливо, вартості опалення та кондиціювання повітря для кінцевого споживача.

Література

1. Advantages of Smart Grids. URL: <http://circutor.com/en/documentation/articles/4162-advantages-of-smart-grids> (дата звернення: 08.11.2021).
2. Д. С. Гришин и др., Особенности внедрения интеллектуальных энергосетей SMART GRID, Модели, системы, сети в экономике, технике, природе, 2017. № 1 (21). с.109-116.
3. A. Sharma, V. V. Tyagi, C. R. Chen, and D. Buddhi, "Review on thermal energy storage with phase change materials and applications," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 13, no. 2, pp. 318–345, 2009.
4. I. Sarbu, C. Sebarchievici, "A Comprehensive Review of Thermal Energy Storage", *Sustainability*, vol. 10, no. 2, p. 191, 2018, <https://doi.org/10.3390/su10010191>

5. Harald Mehling Luisa F. Cabeza, “Heat and cold storage with PCM”, 2013.
6. Luis Sousa Rodrigues, Ferreira JAF, Household Thermal Energy Storage in the Context of Smart Grids: Viability and Potential Impact of Small Residential Consumers in Demand-Side Load Balancing with The Use of Phase-Change Materials, DOI: 10.13140/RG.2.2.29585.56169, Conference: TEchMA 2021– 4th International Conference on Technologies for the Wellbeing and Sustainable Manufacturing Solutions
7. Konyk A.V., Demchenko V.V., Integration Technologies of heat storage into District Heating Systems, <https://jntes.tu.kielce.pl/wp-content/uploads/2021/06/Integration-of-Heat-Storage-Technologies-in-Central-Heating-Systems.pdf>
8. RESIDENTIAL ENERGY STORAGE SYSTEMS MARKET - GROWTH, TRENDS, COVID-19 IMPACT, AND FORECASTS (2021 – 20260, доступне за посиланням <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/residential-energy-storage-system-market>

ОСОБЛИВОСТІ СПОЖИВАННЯ ЕНЕРГІЇ НАВЧАЛЬНОГО КОРПУСУ В УМОВАХ КАРАНТИННИХ ОБМЕЖЕНЬ

Анотація. Пандемія COVID-19 на початку 2020 року суттєво вплинула на попит на енергію в Україні. Щоб уникнути непотрібного використання енергії та забезпечити належне функціонування будівель, стає важливим мати краще розуміння та планування використання опалення в умовах пандемії. Незважаючи на це, огляд літератури показав недостатню поінформованість щодо роботи системи опалення у будівлях під час блокування COVID. У цій статті розглядаються проблеми аналізу профілів використання тепла та розробки сценаріїв для навчальних корпусів в Україні. Порівняння профілів використання тепла як у попередньому році, так і в період карантину показало, що робота системи опалення залишилася на тому ж рівні, хоча заповнюваність була значною мірою зменшена. Більше того, місяць після відкриття будівель характеризувався значним збільшенням використання тепла, незважаючи на тепліші погодні умови. Для планування використання тепла в освітніх закладах було розроблено такі сценарії: сценарій 1 – робота за нормальним роком; Сценарій 2 – зниження опалення до рівня використання нічного тепла; та Сценарій 3 – з використанням налаштувань, які були застосовані під час блокування. Результати показали, що застосування сценарію 2 може дозволити нам заощадити 21 кВтг/м². Сценарій 1 - робота з нормального року; Сценарій 2 – зниження опалення до рівня використання нічного тепла; та Сценарій 3 – з використанням налаштувань, які були застосовані під час карантину. Чисельне моделювання домашнього господарства виконується у EnergyPlus.[1-2]

Ключові слова: Використання тепла у навчальному корпусі, COVID-19 пандемія, профілі використання тепла, енергоефективність, сценарний аналіз, аналіз даних.

Abstract. The COVID-19 pandemic in early 2020 significantly affected energy demand in Ukraine. To avoid unnecessary energy use and to ensure the proper functioning of buildings, it becomes important to have a better understanding and planning of heating use in a pandemic. Nevertheless, a review of the literature showed a lack of awareness of the operation of heating systems in buildings during the COVID lockout. This article considers the problems of analysis of heat use profiles and development of scenarios for educational buildings in Ukraine. Comparison of heat use profiles both in the previous year and in the quarantine period showed that the operation of the heating system remained at the same level, although occupancy was significantly reduced. Moreover, the month after the opening of the buildings was characterized by a significant increase in heat use, despite warmer weather conditions. To plan the use of heat in educational institutions, the following scenarios were developed: scenario 1 - work for a normal year; Scenario 2 - reduction of heating to the level of night heat use; and Scenario 3 - using the settings that were applied during the lock. The results showed that the application of scenario 2 can allow us to save 21 kWh / m². Scenario 1 - work from a normal year; Scenario 2 - reduction of heating to the level of night heat use; and Scenario 3 - using the settings that were applied during quarantine. Numerical modeling of the household is performed in EnergyPlus.

Keywords: Heat use in the educational building, COVID-19 pandemic, heat use profiles, energy efficiency, scenario analysis, data analysis.

Вступ

COVID-19 – це потенційно смертельне коронавірусне захворювання, яке може спричинити серйозні проблеми з дихальною системою людини. З початку 2020 року це захворювання почало стрімко поширюватися світом. Доведено, що соціальне дистанціювання та особиста гігієна є основними заходами, які можуть допомогти запобігти розповсюдженню COVID-19. Тому, щоб уникнути скупчення людей та скупчень людей, більшість країн запровадили часткову або повну ізоляцію навчальних закладів, а також комерційних та промислових компаній. Такі кардинальні зміни в поведінці споживачів енергії значно впливають на попит на енергію і призводять до суттєвих проблем в енергетичному секторі.

Це проблеми, пов'язані із зміною енергетичних навантажень енергосистеми під час пандемії COVID-19. Статистично спостерігається значне зниження споживання електроенергії. крива навантаження електроенергії помітно згладжується під час пандемії, особливо в години пік з 7:00 до 11:00 ранку та з 17:00 до 19:00 вечора.

Вплив обмежень на енергоспоживання у країнах ЄС. Країни ЄС індивідуально підійшли до обмежень, пов'язаних із пандемією COVID. Аналіз енергоспоживання показав, що країни, які запровадили суворіші обмеження, зазнали більшого скорочення попиту на енергію.

Повний локдаун спричинив зниження енергоспоживання на 17,6% порівняно з прогнозом на 2020 рік. Всебічний огляд використання електроенергії в Італії, Японії, США та Бразилії показує, що пандемія призводить до невизначеності у попиті на електроенергію та створює проблеми для системних операторів. На закінчення слід зазначити, що зміни у профілях попиту на енергію в період COVID створюють труднощі для точного прогнозування навантаження.

Дослідження роботи енергосистеми стверджує, що під час пандемії COVID загальний попит на електроенергію в багатьох країнах знизився приблизно на 10–30%. Необхідно запровадити набір рекомендацій для подолання поточної кризи та досягнення стійкої роботи енергосистем. Системи виробництва енергії у країні зіткнулися з проблемами, пов'язаними з можливостями регулювання та гнучкістю. ТЕЦ були змушені працювати на мінімальному рівні. Майже дворазове збільшення додаткових ринкових витрат за системні операції. Глобальний сектор відновлюваних джерел енергії також постраждав від обмежень пандемії та зіткнувся з додатковими труднощами та ризиками, пов'язаними з експлуатацією існуючих установок, а також з реалізацією нових проектів. Додаткові витрати під час пандемії COVID-19 пов'язані з необхідністю для енергетичних систем забезпечити балансування навантаження, контроль частоти та формування резервів.

Негативний вплив пандемії COVID-19 на енергетичний сектор можна пом'якшити за рахунок забезпечення енергоефективного функціонування кінцевих користувачів, кращого планування енергоспоживання, швидкої адаптації до нових умов та запровадження належних експлуатаційних заходів.

З усіх технічних систем у будівлях ЄС опалення приміщень і гаряче водопостачання (ГВП) часто є найбільш значними споживачами енергії. До пандемії споживання тепла ТГ та ГВП разом становило понад 20% від загального щорічного попиту на енергію в ЄС. Однак

пандемія суттєво вплинула на використання тепла у будинках. Поточні профілі використання тепла для нормальних умов є описовими в умовах пандемії. Тим не менш, використання тепла в будинках під час пандемії COVID-19 вивчено недостатньо, особливо для нежитлових будинків.

У посібнику не рекомендується повністю відключати системи опалення, вентиляції та кондиціонування повітря у тимчасово незайнятій будівлі. Він пропонує використовувати спеціальний «Режим незайнятості», який підтримує будівлю в розумному діапазоні температурних та вологих умов, одночасно знижуючи споживання енергії під час зупинки. Наприклад, кількість працюючих котлів слід скоротити до необхідного мінімуму. Однак, щоб уникнути подальших проблем із роботою системи, котли повинні працювати не рідше одного разу на тиждень протягом щонайменше 1 години в нормальному режимі.

У статті розглядається кілька умов використання енергії у типовому господарстві: S1 – еталонний випадок, S2 – помірні заходи захисту, S3 – напівкарантинні заходи, S4 – повний карантин. Чисельне моделювання домашнього господарства виконується в EnergyPlus. Як вхідні дані для імітаційної моделі використовувалися профілі зайнятості в будівлі для сценаріїв. Моделювання показує, що присутність мешканців у їхніх будинках під час пандемії корони призвела до збільшення використання опалення. В нормальних умовах до оголошення надзвичайного стану споживання енергії на опалення у березні становило 3414 кВтг. Однак в умовах м'яких заходів захисту, напівкарантинних заходів та повного карантину він може бути збільшений до 4509 кВтг, 4487 кВтг та 4465 кВтг відповідно. Загалом потреба у тепловій енергії досягла 62% від загальної потреби.

Мета та завдання

Метою дослідження було спрямоване на покращення існуючих знань щодо використання тепла у будівлях корпусів в Україні в період пандемії COVID-19.

Для досягнення поставленої мети були визначені наступні завдання:

1. Дослідити, порівняти профілі в будівлі під час пандемії COVID та в період після пандемії з профілями, отриманими до пандемії.
2. Розробити сценарії використання тепла у будівлі в умовах ізоляції від пандемії.
3. Запропонувати сценарії використання тепла в українських навчальних корпусах.

Матеріали та результати досліджень

У зв'язку з високою активністю підростаючого покоління навчальні заклади належать до типу будівель, де насамперед накладаються обмеження. Під час карантину всі заходи проводяться віддалено. Навчальні корпуси закриті, доступ співробітників до цих будинків обмежений. Потреба в опаленні та ГВП у будинках у цей період знижується. Отже, експлуатація системи опалення, як до карантину, стає надмірною та неефективною. Непотрібного використання енергії можна уникнути, застосувавши правильні налаштування системи опалення будівлі відповідно до цих змін попиту. Щоб вибрати правильні налаштування та оцінити переваги їх реалізації, необхідно виконати сценарне моделювання. Крім того, потенціал економії енергії можна оцінити шляхом порівняння сценарію, який представляє поведінку використання опалення в нормальних умовах з альтернативними сценаріями на період блокування. Тому в цьому розділі наведено підходи до моделювання трьох різних сценаріїв використання тепла в будівлях під час карантинних обмежень. Цей

розділ складається з трьох підрозділів. У кожному підрозділі представлені методи розробки конкретного сценарію використання тепла у будинках під час пандемії.

Сценарій 1 - Моделювання використання тепла на основі поведінки у звичайний рік. Коли будівля працює у звичайному режимі, на який не впливають несподівані зміни кількості людей, температура зовнішнього повітря може розглядатися як основний фактор, який пояснює зміну використання тепла у будівлях. Модель, яка виражає взаємозв'язок між використанням тепла в будівлі, що спостерігається, і температурою зовнішнього повітря, називається кривою енергетичної сигнатури (ESC). ESC широко використовується для енергетичного планування у будинках. Зазвичай, ESC містить дві підмоделі, розділені температурою точки зміни (CPT). CPT - це критична температура, яка встановлює межу між початком та закінченням опалювального сезону.

Добре відомо, що споживання тепла в будинках також варіюється в залежності від днів тижня та години дня. Через розмаїття графіків роботи в робочі дні в години, коли проводяться основні заходи, споживання тепла у навчальних корпусах є набагато вищим, ніж у решту часу. З цієї причини, щоб планувати використання тепла у звичайному режимі, ми розробили окремі моделі ESC для кожної години у будні та вихідні дні.

Щоб сформулювати використання тепла в Сценарії 1, дані про температуру зовнішнього повітря для типових холодних та теплих метеорологічних років (ТМУ) були застосовані як вхідні дані для моделі ESC. Дані про температуру виходять шляхом вибору кожного місяця з «найтипівішими» умовами за останні 10 років. Таким чином, використання типових холодних та теплих температур дозволило мені отримати очікувані межі використання тепла для кожної години типового року в Сценарії 1 (тобто для нормальних умов, коли не було внесено жодних змін до роботи системи опалення будівлі).

Сценарій 2 - Моделювання на основі годинника використання тепла вночі

У порівнянні зі сценарієм 1, сценарій 2 розглядав кращі робочі параметри системи опалення під час пандемії. У цьому сценарії передбачається, що під час блокування споживання тепла будинками має підтримуватись на рівні використання тепла у нічний час у нормальних передпандемічних умовах. В освітніх корпусах найменше споживання тепла зазвичай спостерігається в нічний час з 1:00 до 5:00 годин у робочі дні, коли в будинках немає людей і система опалення працює з мінімальним енергетичним навантаженням, необхідним для підтримки мінімально допустимих температур.

Щоб виразити можливе скорочення використання тепла в будівлях, було розроблено модель ESC, яка базується лише на використанні тепла в нічний час. Після цього, аналогічно сценарію 1 модель ESC була застосована до даних про температуру зовнішнього повітря для типових холодних і теплих метеорологічних років. Таким чином, були отримані можливі межі використання тепла для кожної години типового року в Сценарії 2 (тобто для умов, коли система опалення працювала на нічному рівні).

Сценарій 3 - Моделювання на основі поточних налаштувань, які використовувалися в будинках під час блокування від COVID. Сценарій 3 був призначений для пояснення того, як поводитиметься використання тепла в будівлі, якщо налаштування, які фактично були застосовані до системи опалення під час блокування COVID, постійно використовуватимуться протягом звичайного року. Сценарій 3 був розроблений на основі середньомісячного споживання тепла, яке спостерігалось до та під час пандемії COVID-19. Блок-схема алгоритму, застосованого до Сценарію 3, показано малюнку 1.

Крок 1. Визначте модель, яка відображає взаємозв'язок між місячним використанням тепла та зовнішньою температурою в нормальних умовах.

Крок 2. На основі моделі, визначеної на кроці 1, розрахуйте очікуване місячне споживання тепла для типових холодних і теплих років.

Крок 3. Розрахуйте місячні коефіцієнти коливань для типових років.

Крок 4. Визначення середньомісячного споживання тепла протягом місяців із заборотою на COVID-19.

Крок 5. Екстраполяція споживання тепла для решти року на основі місячних коефіцієнтів коливань.

Рисунок. 1 . Блок-схема алгоритму визначення використання тепла Сценарії 3.

Детальний алгоритм визначення меж використання тепла за Сценарієм 3 був наступним:[3]

Крок 1. Визначте модель, яка відображає взаємозв'язок між щомісячним використанням тепла та температурою зовнішнього повітря в нормальних умовах.

Добре відомо, що місячна потреба у теплі в будинках змінюється протягом року через зміни зовнішньої температури. Середньомісячне споживання тепла та температура зовнішнього повітря лінійно залежать. Щоб пояснити ці відносини, було розроблено модель лінійної регресії на основі даних за 2019 рік.

Крок 2. На основі моделі, визначеної на кроці 1, розрахуйте очікуване щомісячне споживання тепла для типових холодних та теплих років.

На цьому етапі середні місячні температури зовнішнього повітря для типових років використовувалися як вхідні дані для регресійної моделі (див. Крок 1). Таким чином, було отримано значення очікуваного щомісячного використання тепла для типових холодних та теплих років.

Крок 3. Розрахуйте місячні коефіцієнти варіації для типових років.

Відповідно до очікуваного щомісячного використання тепла протягом типового року, коефіцієнти щомісячної зміни використання тепла були розраховані як:

$$K_i = E_{t,i} / \bar{E}_t$$

де K_i - місячні коефіцієнти варіації для i -го місяця, $E_{t,i}$ - очікуване споживання тепла для i -го місяця типового року, $\bar{E}_t$ - середньомісячне споживання тепла за типовий рік.

Крок 4. Визначення середньомісячного споживання тепла на місяці пандемії COVID. Маючи дані за 2020 рік, було визначено фактичне щомісячне споживання тепла на момент пандемії COVID-19. Аналіз показав, що різниця між місячними температурами зовнішнього повітря в березні 2020 року та типовим теплим роком склала всього 0,4 К. Навпаки, за температурою зовнішнього повітря у 2020 році квітень був ближчим до холодного року з перепадом температур у 1 К. З цієї причини передбачалося, що використання тепла у березні

для типового теплого року дорівнювало використанню тепла у березні 2020 року, а використання тепла у квітні для типового холодного року дорівнювало використанню тепла у квітні 2020 року.

Крок 5. Екстраполяція використання тепла на частину року, що залишилася, на основі факторів місячних коливань. Використовуючи коефіцієнти щомісячної варіації, середньомісячне споживання тепла на момент блокування COVID-19 було екстраповано на типові холодні та теплі роки. Таким чином, ми отримали межі середньомісячного споживання тепла в Сценарії 3 (тобто для умов, коли система опалення мала працювати при налаштуваннях, які використовувалися в будівлях під час пандемії COVID).

Опис навчального корпусу, що спостерігаються

Дослідження у цій статті були виконані на основі даних, отриманих із навчального корпусу. Об'єктом дослідження був навчальний корпус №11 “КПІ ім. Ігоря Сікорського”, показано на малюнку 2.

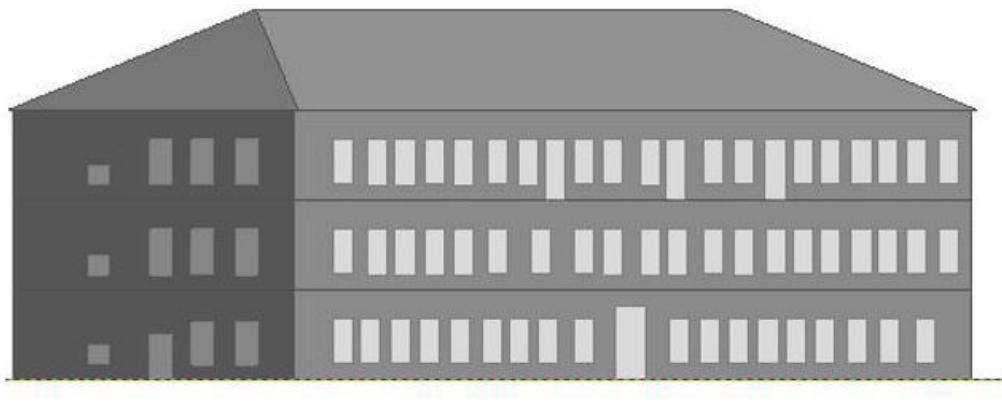


Рисунок 2 . Модель корпусу в програмному продукті.

Ця будівля була збудована у 1963 році і згодом кілька разів ремонтувалася. Його площа складає 1200 м². Дані щодо використання тепла для цієї будівлі були зібрані із системи енергоспоживання. Аналізований будинок використовує систему централізованого теплопостачання (ЦТ) як основне джерело теплопостачання. У дослідженні враховувалося вплив погодних умов використання тепла. Для цього використовувалися дані найближчої метеостанції, яка розташована в аеропорту Бориспіль.

Аналіз профілів використання тепла в освітній установі до та під час пандемії COVID. Україна входить до країн, які ввели суворі обмеження, коли пандемія COVID-19 почала поширюватися на початку 2020 року. Одним із цих обмежень було тимчасове закриття навчальних закладів.[10] Відповідно, у цьому розділі основна увага приділяється порівнянню використання тепла у березні, квітні та травні 2019 та 2020 років. Березень і квітень включали лише дні, коли було накладено карантин.

Профілі використання енергії – це потужний інструмент, який дозволяє нам відображати зміни у використанні тепла у різні проміжки часу. У нашій роботі профілі використовувалися для аналізу мінливості використання тепла до та під час пандемії COVID-19. Хоча температура зовнішнього повітря впливає на використання тепла у роботі було вирішено порівнювати справжні профілі, а чи не значення з поправкою на температуру. Це дозволяє нам зосередитися на реальних даних без будь-яких упереджених речень. Проте при

аналізі профілю враховувалися температури зовнішнього повітря у 2019 та 2020 роках. Вважалося, що середня зовнішня температура у березні 2019 року становила 0°C , а у березні 2020 року – $1,7^{\circ}\text{C}$. У квітні 2019 року температура на вулиці становила $7,2^{\circ}\text{C}$, а у квітні 2020 року – $3,9^{\circ}\text{C}$. Тоді як у травні 2019 року було $7,9^{\circ}\text{C}$, а в травні 2020 року – $6,4^{\circ}\text{C}$. Слід зазначити, що у квітні та травні 2020 року температура була трохи нижчою, ніж у 2019 році, а в березні – трохи тепліше.

Оскільки у будні та вихідні дні використовуються різні схеми використання тепла, їх профілі розглядалися окремо. Використання тепла зазвичай збільшувалося з 7:00 до 16:00 години з піком використання тепла о 9:00 годині, і значне зниження тепла зберігається з 20:00 до 6:00 години наступного ранку. З мал.3 можна відмітити, що форма профілів використання тепла до і під час пандемії в освітньому закладі залишалася практично незмінною. Профілі показують, що для навчального корпусу пік тепла було перенесено на годину тому у квітні та на дві у травні, тоді як у березні 2020 року було відзначено набагато менше споживання тепла у неробочий час.

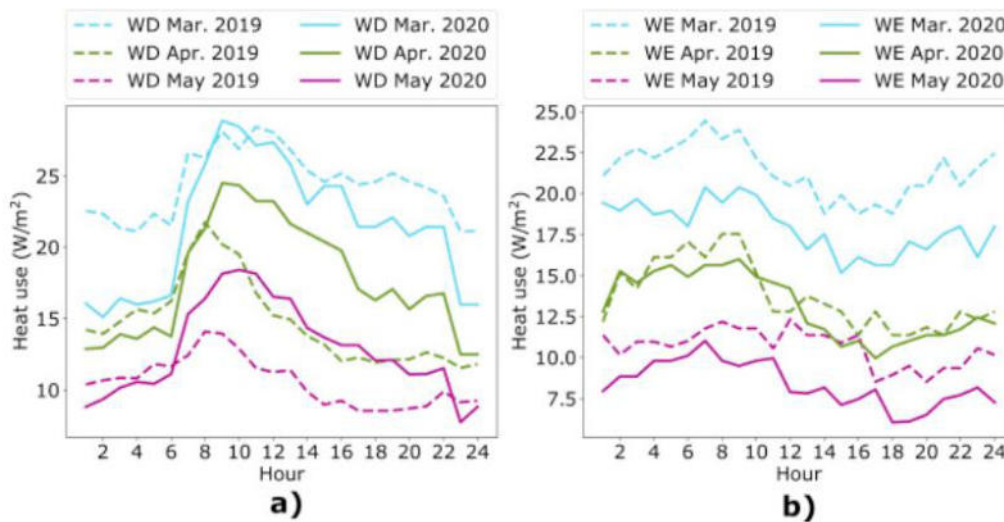


Рисунок 3 . Профілі використання тепла для навчального корпусу, де: а) профілі для будніх днів; б) профілі для вихідних.

В Україні навчання у навчальних закладах у вихідні не проводиться. Таким чином, теплове навантаження у вихідні дні було набагато нижчим, ніж у будні дні, і більше відповідало тепловому навантаженню у будні дні в нічний час. На мал 3, можна відзначити, що мінімальне використання тепла у вихідні було з 12:00 до 20:00 години. Ймовірно, що в цей період система опалення працювала з мінімальним навантаженням, а температура у приміщенні підтримувалася переважно за рахунок теплової інерції. мал. 3 а) показує, що у будні дні у березні 2020 року споживання тепла скоротилося порівняно з тим самим періодом 2019 року. Однією з причин цього може бути те, що установа могла не працювати під час пандемії COVID.[5]

Незважаючи на карантин, у квітні 2020 року споживання тепла було трохи вищим, ніж у квітні 2019 року. Цей факт можна пояснити кількома причинами. По-перше, причина полягає в тому, що квітень 2019 року був теплішим, ніж квітень 2020 року, що призвело до зниження енергоспоживання у 2019 році. Друга причина – підготовка до відкриття будівлі наприкінці

квітня 2020 року. Наприклад, були потрібні роботи з очищення та дезінфекції, а також тестування продуктивності системи опалення, що призвело до збільшення використання тепла.

Для будівлі профілі показали, що роботу систем опалення під час пандемії слід змінити, щоб зробити її ефективнішою. Тому для досягнення цієї мети необхідно розробити рекомендації та сценарії роботи систем опалення у різних умовах.

Сценарії аналізу використання тепла в освітньому закладі

У цьому розділі досліджуються три сценарії роботи системи опалення в освітній установі під час пандемії. Усі сценарії розробили з використанням реальних статистичних даних, отриманих навчального корпусу.[8]

Сценарій 1 досліджував роботу системи опалення у тому режимі, як і до пандемії. Модель ESC для кожної години у будні та вихідні дні була розроблена з урахуванням даних за 2019 рік. Таким чином споживання тепла для будівлі було представлене моделлю ESC. Для моделі ESC значення CPT, що дорівнює 14°C , показало найкраще наближення.

Приклад моделі ESC для використання тепла о 13 годині в корпусі показано на мал.4. Для більш детального аналізу фактичне використання тепла у 2019 році та під час пандемії у 2020 році також було нанесено на графік на мал.4. Як видно з малюнку 5, використання тепла під час пандемії COVID близьке до передпандемічними даними та моделями. Цей факт свідчить про те, що робота системи опалення практично не змінилася під час карантину у 2020 році.

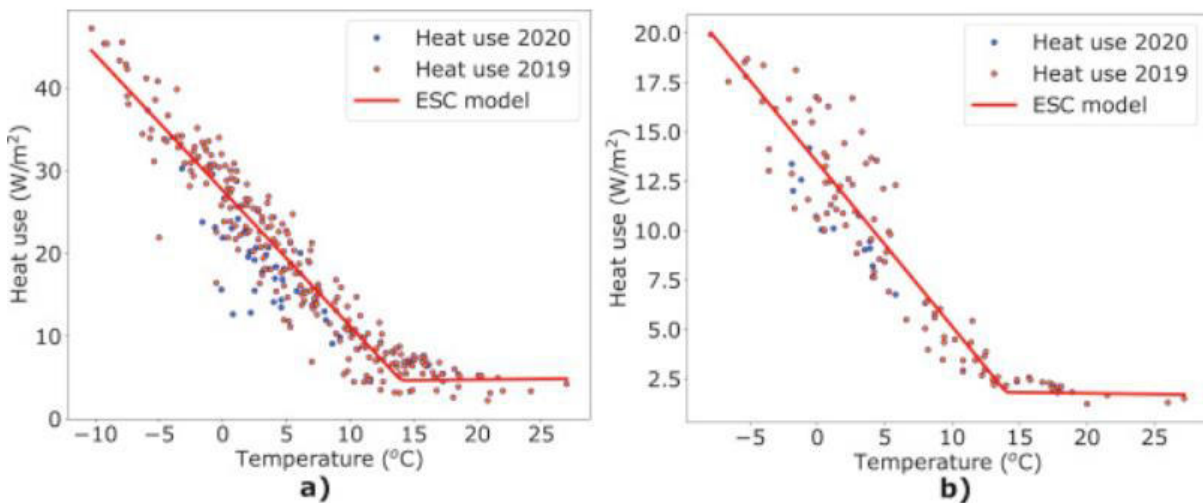


Рисунок 4. Модель ESC на 13 год, де: а) ESC для будніх днів; б) ESC для вихідних.

Слід зазначити, що в певний час у будні дні лінія після CPT мала невеликий позитивний нахил (див. мал. 4 а)). З теоретичної точки зору з підвищенням температури зовнішнього повітря споживання тепла повинно зменшуватися. Такий позитивний нахил можна пояснити використанням системи охолодження у спекотні дні.

Потенціал економії енергії можна оцінити, порівнявши Сценарій 1 з іншими сценаріями, які представляють ефективніші налаштування системи опалення.

Сценарій 2 передбачає, що під час блокування споживання тепла у будинках має підтримуватися на рівні нічних умов за нормальних умов. Роботу системи опалення в таких умовах можна пояснити моделлю ESC, визначеною з використання тепла в 2019 році в нічний

час. Приклад моделі ESC для корпусу показано на мал.5. У цій моделі представлені періоди, коли система опалення працювала з мінімальним навантаженням через низьку завантаженість будівель.

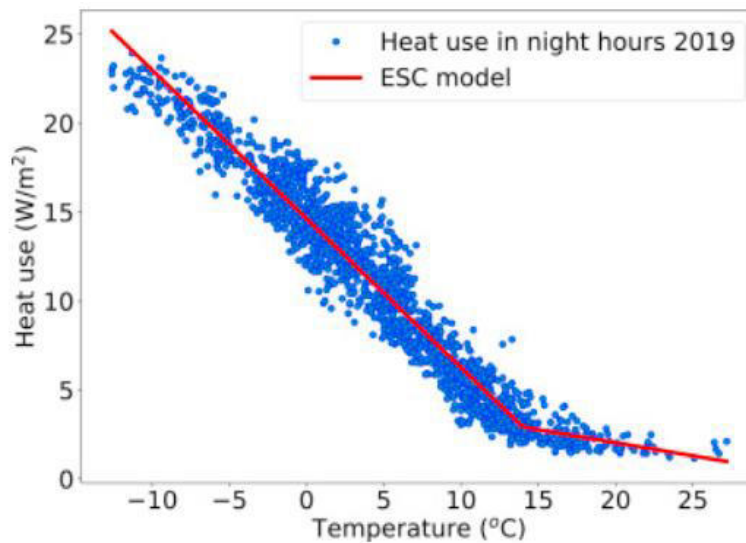


Рисунок. 5. ESC для нічного налаштування використання тепла.

Типові холодні та теплі температури були застосовані до моделі ESC для визначення можливих меж використання тепла у сценарії 2. Використання тепла протягом усього року для цього сценарію представлено на мал. 7. У порівнянні зі Сценарієм 1, Сценарій 2 представляє розумний підхід до скорочення використання тепла під час пандемії, коли в будинках немає людей.[7]

Сценарій 3 продемонстрував середньомісячні значення використання тепла за умов, коли система опалення працювала з налаштуваннями, які дійсно застосовувалися під час пандемії COVID 2020 року. Як і в попередніх сценаріях, сценарій 3 був скоригований з використанням типових холодних і теплих років. Для розробки Сценарію 3 було визначено модель щомісячного використання тепла на 2019 рік.[9] Дослідження показало, що взаємозв'язок між середньомісячним споживанням тепла у навчальному корпусі та температурою зовнішнього повітря можна описати за допомогою моделі лінійної регресії, як показано на мал.6.

Середньомісячні температури зовнішнього повітря для типових холодних і теплих років використовувалися як вхідні дані для моделі для Сценарію 3. Таким чином, було визначено очікуване щомісячне споживання тепла для типових років.

Чинники місячних коливань відбивають сезонність використання тепла. Вони показали, що найбільше споживання тепла у навчальному корпусі припадало на січень, березень та грудень. Найнижча витрата тепла спостерігалася влітку, коли система опалення приміщень не використовувалася. Для типового холодного року різниця між опалювальним сезоном та літніми місяцями була значною, ніж для типового теплого року. Це може пояснюватися тим фактом, що на використання тепла істотно вплинула температура зовнішнього повітря. Отже, більш високі температури зовнішнього повітря призвели до зниження використання тепла у будівлі та навпаки.[4]

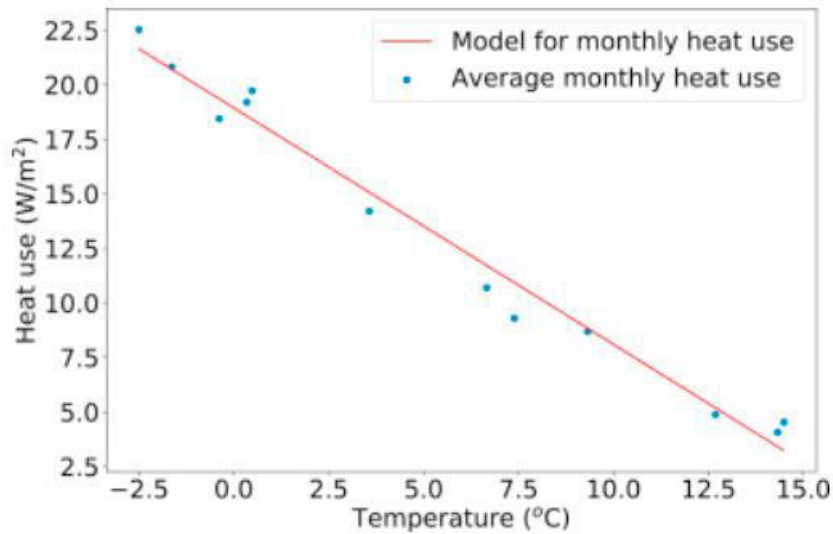


Рисунок 6. Місячна модель використання тепла для навчального корпусу.

Границі використання тепла за Сценарієм 3 для будівлі корпусу представлені на мал.7. Сценарій 3 також вказує на місяці з найбільшим розкидом використання тепла між типовим холодним та теплим роком. Серед цих місяців січень, жовтень та грудень були найпомітнішими, що можна побачити за допомогою великих затінених квадратів на мал. 7.

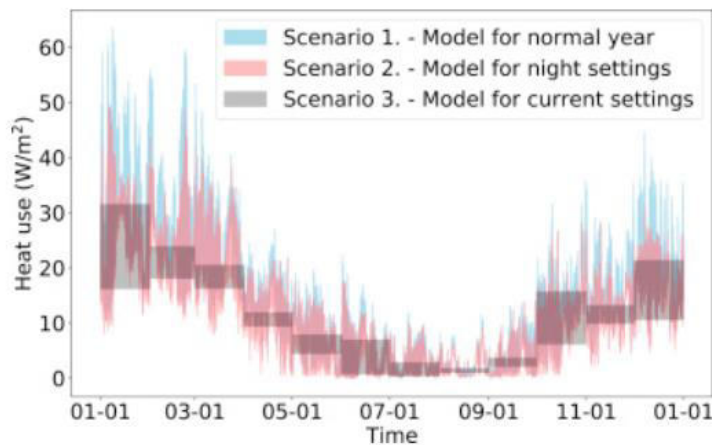


Рисунок 7. Три сценарії використання тепла у будівлі корпусу

Сценарій 3 був створений з використанням середньомісячних значень, тому він не був таким точним, як сценарії 1 та 2 з погодинними значеннями. Однак при розгляді середньомісячних значень Сценарій 3 вимагатиме більш високого використання тепла, ніж Сценарій 2, тому що він не відповідає кращому енергозберігаючому налаштуванню системи опалення.

Пропоновані сценарії можна використовувати для планування використання тепла та оцінки потенційної економії енергії. Наприклад, аналіз показав, що застосування нічних налаштувань, як у Сценарії 2, під час карантину у березні може дозволити нам заощадити 80

Втч/м² на рік на будівлю корпусу. У нормальних умовах питоме річне споживання тепла у корпусі – 123 кВт-год/м² на рік. Отже, якщо зважити на щорічне використання тепла, застосування Сценарію 2 може заощадити для будівлі корпусу 43 кВт/м² на рік. Очікується, що правильне налаштування системи опалення під час пандемії знизить споживання енергії та заощадить гроші.

Обговорення та обмеження дослідження

Ізоляція COVID у навчальному закладі триває й досі. Порівняння профілів використання тепла в даній роботі проводилося лише для березня, квітня та травня. Крім того, через обмеження, що вводилися поступово, схеми використання тепла можуть змінюватися кілька разів під час та після пандемії. Тому ця робота була зосереджена на розробці різних сценаріїв використання тепла під час пандемії. Ці сценарії були скориговані з урахуванням температури зовнішнього повітря типових холодних і теплих метеорологічних років. Типові температури є приблизними для останніх 10 років і тому можуть відрізнятися від фактичних температур у наступні роки. Відповідно, їх можна використовувати лише для оцінки можливих меж використання тепла в будинках, а не для точного прогнозування. Сценарії 1 та 2 були розроблені на основі фактичного використання тепла за весь 2019 рік. У цих сценаріях не було зроблено жодних суттєвих припущень. Навпаки, сценарій 3 був заснований на щомісячному використанні тепла у березні та квітні 2020 року, яке було екстраповано на типові холодні та теплі роки. Така екстраполяція була заснована на кількох припущеннях. По-перше, очікувалося, що місячні коефіцієнти варіації, визначені на основі даних за 2019 рік, будуть застосовні до умов пандемії. Незважаючи на несуперечність цього припущення, підтвердити його наявними даними неможливо.

Друге припущення використало той факт, що щомісячні температури зовнішнього повітря у березні та квітні 2020 року були близькі до температур того ж місяця у типові роки. Однак навіть через незначні відмінності в температурах може виникнути неточність щодо твердих частинок у сценарії 3. З цієї причини, якщо можна буде зібрати додаткові дані, необхідно провести додаткову роботу щодо покращення сценарію 3. Крім того, можуть бути визначені кращі сценарії. У проаналізованих у цьому дослідженні будівлі як основний метод теплопостачання використовується ЦТ та електрика для електроприладів.

Висновки

Пандемія COVID-19 створює серйозні проблеми для енергетичного сектору, як в Україні, так і в багатьох інших країнах. Ці проблеми насамперед пов'язані з коливаннями енергоспоживання будівель, викликаними обмеженнями, спрямованими на припинення поширення інфекції. На роботу освітніх закладів суттєво вплинули ізоляція на початку 2020 року та інші обмеження. Розуміння змін у використанні енергії, спричинених пандемією, має важливе значення для подальшого енергетичного планування, запобігання надмірному використанню енергії та забезпечення належної експлуатації будівель. Серед усіх технічних систем у будинках система опалення є найбільшим споживачем енергії в Україні. Незважаючи на це, дослідження показало, що робота систем опалення та використання тепла у навчальних корпусах під час та після пандемії COVID ще недостатньо досліджена. У статті висвітлено проблему аналізу профілів використання тепла та розробки сценаріїв для навчального

корпусу.

Дослідження показало, що форма профілів використання тепла у будні дні до та під час пандемії залишається практично незмінною та значно відрізняється від профілів на вихідних. Профілі показали, що у березні 2020 року споживання тепла було нижчим, ніж у той же період 2019 року. У квітні 2020 року споживання тепла було трохи вищим, ніж у квітні 2019 року. На відмінності між профілями у березні та квітні в основному вплинули зміни у температурі зовнішнього повітря, а не зміни налаштувань системи опалення. Таким чином, можна констатувати, що під час блокування від COVID енергосистема у багатьох будинках працювала неефективно.

Для освітнього закладу були розроблені наступні сценарії: 1) Сценарій 1 – Моделювання на основі налаштувань для звичайного року; 2) Сценарій 2 – Моделювання відповідно до нічних налаштувань використання тепла; пандемії. Усі сценарії були скориговані з урахуванням температури зовнішнього повітря типових холодних і теплих років. Метод ESC показав високу точність при моделюванні сценаріїв 1 та 2. Сценарій 3 розроблено з урахуванням місячних коефіцієнтів варіації використання тепла. Ці фактори використовувалися для прогнозування сезонних коливань використання тепла за умов карантину COVID. Пропонований сценарій може бути використаний для планування використання тепла та оцінки потенційної економії енергії. Наприклад, аналіз показав, що застосування нічного режиму, Сценарій 2, може дозволити нам знизити денне споживання тепла до 54% в порівнянні зі звичайними налаштуваннями, Сценарій 1. Для навчального корпусу може бути зменшено до 248 Втч / м². Методи та результати дослідження можуть бути застосовані до аналогічних типів будівель.

Перелік використаних джерел

1. International Energy Agency. EBC Annex 53: Total energy use in buildings: analysis and evaluation methods. - November 14, 2013. – 132 pp. URL: https://www.iea-ebc.org/Data/publications/EBC_Annex_53_Main_Report.pdf
2. Environmental Comfort Indicators for School Buildings in Sustainability Assessment Tools. / Saraiva, T.S.; de Almeida M., Bragança, L., Barbosa, M.T.. // Sustainability. – 2018. – №10, 1849 – 11 pp.
3. Katić D. Energy Performance of School Buildings by Construction Periods in Federation of Bosnia and Herzegovina / D. Katić, H. Krstić, S. Marenjak. // Buildings. – 2021. – №11, 42. – 21 pp.
4. Zhiyuan H. A framework for estimating the energy-saving potential of occupant behaviour improvement / H. Zhiyuan, H. Tianzhen, C. S.K.. // Applied Energy. – 2021. – №287. – 13 pp.
5. Occupant behaviour: a major issue for building energy performance / [Y. Laaroussi, M. Bahrar, M. Elmankibi et al.]. // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. – 2019. – №609, 072050 – 7 pp.
6. Ivanko D. Heat use profiles in Norwegian educational institutions in conditions of COVID-lockdown / D. Ivanko, N. Nord, Y. Ding. // REHVA Journal. – 2021. – P. 55 – 58.
7. A. Bahmanyar. The impact of different COVID-19 containment measures on electricity consumption in Europe/ A. Bahmanyar, A. Estebarsari, D. Ernst //Energy Research & Social Science. – 2020. – №68. – 4 pp.

8. Закон України: «Про енергетичну ефективність будівель» від 22.06.2017 № 2118-VIII. – URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2118-19#Text>
9. Будівельна кліматологія: ДСТУ-Н Б В.1.1–27:2010. – [Чинні від 2011-11-01] // Мінрегіонбуд України. – К.: Укрархбудінформ, 2011. – 123 с. – (Національний стандарт України).
10. J. Guan, N. Nord, S. Chen Energy planning of university campus building complex: energy usage and coincidental analysis of individual buildings with a case study
Energy Build., 124 (2016), pp. 99-111

УДК 697.1, 697.27

Ряго В.В.

кафедра теплотехніки та енергозбереження

**ЗАХОДИ З ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ ВЕЛИКОЇ ВИСТАВКОВОЇ ЗАЛИ
ДЕРЖАВНОГО ПОЛІТЕХНІЧНОГО МУЗЕЮ****ENERGY SAVING MEASURES OF THE LARGE EXHIBITION HALL OF THE
STATE POLYTECHNICAL MUSEUM**

***Анотація.** У даній статті розглядаються заходи з енергозбереження великої виставкової зали корпусу №6 Державного політехнічного музею. У першу чергу було проаналізовано споживання електричної та теплової енергії за 2017-2020 рр. Обстежено огорожувальні конструкції будівлі, розраховано витрати тепла та електричне навантаження, проаналізовано основні споживачі електроенергії об'єкта. Розроблено технічні рекомендації з підвищення класу енергоефективності корпусу. Здійснено енергетичне моделювання будівлі в програмному середовищі DesignBuilder. Здійснено проектування альтернативних джерел енергії зі встановленням ФЕС. Запропоновано заходи з енергозбереження.*

Ключові слова: енергозбереження, заходи з енергозбереження, споживання енергії, витрати теплоти, електричне навантаження, енергетичне моделювання, альтернативні джерела енергії, ФЕС, енергоефективність.

***Abstract.** This article considers energy saving measures in the large exhibition hall of the building №6 of the State Polytechnic Museum. First of all, the consumption of electric and thermal energy for 2017-2020 was analyzed. The enclosing structures of the building were inspected, heat consumption and electric load were calculated, the main consumers of electricity of the object were analyzed. Technical recommendations for improving the energy efficiency class of the building №6 have been developed. Energy modeling of the building in software environments RETScreen, DesignBuilder is carried out. The design of alternative energy sources has been carried out: installation of FES. Energy saving measures are proposed.*

Key words: energy saving, energy saving measures, energy consumption, heat consumption, electric load, energy modeling, alternative energy sources, FES, energy efficiency.

Вступ. За останні роки зі значним подорожчанням енергоносіїв, як перший захід було впроваджено зниження енергоспоживання, яке на сам перед використовується в системах опалення будівель. В Україні близько 70 тис. бюджетних закладів, 80 тис. багатоповерхівок, 6,5 млн приватних домогосподарств потребують термомодернізації. За оцінкою експертів для термомодернізації всіх цих будівель потрібно щонайменше 50 млрд доларів. Приведення існуючої будівлі лише до мінімальних сучасних вимог по утепленню та вимогам до інженерних систем, дозволяє заощадити на опаленні до 70%. Потенціал скорочення споживання газу може становити 8 млрд м³.

Значні за розміром з світлопрозорими конструкціями корпуси навчальних закладів страждають при цьому в першу чергу. Зменшення опалення до мінімального рівня на період

відсутності студентів або взагалі його відключення, набуло найбільшого поширення в цьому «енергозбереженні». За вимірювання температури до карантинних часів та в карантинний час в аудиторіях стовпчик термометра не підіймався вище 15°C. Температура тільки на в кінці занять наближалась до 18°C. Найбільш холодними - нижче комфортної температури залишались зовнішні стіни та світлопрозорі конструкції. До таких аудиторій відноситься велика виставкової зали корпусу №6 Державного політехнічного музею, в якій зберігаються історичні експонати розвитку промисловості України.

Для проведення термомодернізації попередньо потрібно розглянути практику, яка впроваджується європейських країнах: енергоменеджмент, енергосервіс, механізми державного фінансування енергоефективних заходів, пільгові кредити тощо.

Основні етапи модернізації об'єкту складаються з наступного:

- Проведення енергоаудиту та оцінки технічного стану.
- Утеплення зовнішніх огорожувальних конструкцій не нижче вимог стандартів.
- Енергоощадні вікна, заміна входних дверей та утеплення під'їздів та входів.
- Заміна освітлювальних приладів на енергоощадні світлодіодні
- Встановлення енергоефективного обладнання з опалення, прибирання довгих теплових транспортуючих комунікацій.
- Встановлення терморегулюючого обладнання в тепловий пункт, балансувальних клапанів та, радіаторних терморегуляторів.
- Модернізація вентиляції з використанням рекуператорів, та кондиціонування повітря.
- Використання альтернативних джерел енергії та автономних систем для опалення, гарячого водопостачання, освітлення.

Порядок та доцільність наведених етапів потребує цільового обговорення та розглядає можливості після виконання енергоаудиту здійснювати окремі заходи з наведеного переліку, які є доцільними та вкрай є необхідними після зменшення об'ємів теплопостачання в очікуванні фінансування основних напрямків термомодернізації.

Мета роботи та завдання

Аналіз заходів з енергозбереження корпусу №6 Державного політехнічного музею та великої виставкової зали. Розглянути заходи додаткового теплопостачання на основі альтернативних джерел енергії та автономних джерел теплопостачання.

Нормативні матеріали

Умови в приміщеннях учбових закладів регламентуються ДБН 2018 р. Будинки і споруди «Заклади освіти» з посиланням на ДБН В.2.5-67:2013 «Опалення, вентиляція та кондиціонування».

Опис об'єкту дослідження

Рисунок 1 – Загальний вигляд об'єкту дослідження.

Об'єктом енергоаудиту та досліджень був навчальний корпус №6 НТУУ «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» знаходиться за адресою: 03056, м. Київ проспект Перемоги 37. У корпусі діє Державний політехнічний музей при НТУУ “КПІ ім. Ігоря Сікорського”.

В корпусі №6 на початку будівництва у період 1898–1901 рр. були сплановані та розташовані механічні майстерні. У 1998 році до століття заснування КПІ у приміщенні проведено ремонтно-реставраційні роботи.

Нині тут розташовані Державний політехнічний музей та на другому і третьому поверсі навчальні аудиторії, бібліотека та приміщення, що орендуються.

Споруда цегляна нежитлова, перекриття – дерев'яні балки. П - подібна за планом будівля складається з 3 частин : центрального (нині 3 поверхи) та 2 бічних крила, в яких розташований музей. При побудові використано цеглу та дерево для даху. Загальна площа – 3839 м², опалювальна – 3389 м², площа скління – 579 м², що становить 15 % від загальної площі будівлі.

Річне споживання енергоносіїв

Будівля використовує такі види енергоносіїв: електрична енергія, теплова енергія, вода. Розрахунок за спожиті енергоресурси здійснюється за показами існуючих вузлів обліку тепло- та електроенергії, води для всього корпусу №6 з виставковою залом.

Теплова енергія використовується централізовано на опалення у холодну пору року, ГВП у корпусі немає, а електрична енергія – на освітлення, живлення малопотужних споживачів (телевізори навчальних аудиторій, комп'ютери та інша оргтехніка). Теплова в споживання складає більше 45% від споживання енергоносіїв, яка в кошторисному вигляді складає на рівні 55%.

Обстеження огорожувальних конструкцій будівлі

Стіни. Будівельний матеріал споруди – цегла з шириною кладки 76 см.

Площа стін будівлі – 2547 м², що становить 66 % від загальної площі. Технічний стан

добрий.

Вікна. Вікна корпусу – подвійні, віконні рами дерев'яні, роздільні. Площа оскління – 579 м², що становить 15 % від загальної площі, а від площі стін – 23%. Стан вікон незадовільний. Загальна кількість вікон – 144.

Тепловізійна зйомка показала неналежне функціонування фурнітури й негерметичність ущільнювачів та дефекти монтажу вузлів примикань віконних блоків до стін, що призводить до появи протягів та порушенню мікроклімату в приміщеннях.

Двері. Двері у корпусі дерев'яні та металевих конструкцій. Загальна площа дверей – 114 м², що становить 3 % від загальної площі будівлі. Стан дверей задовільний.

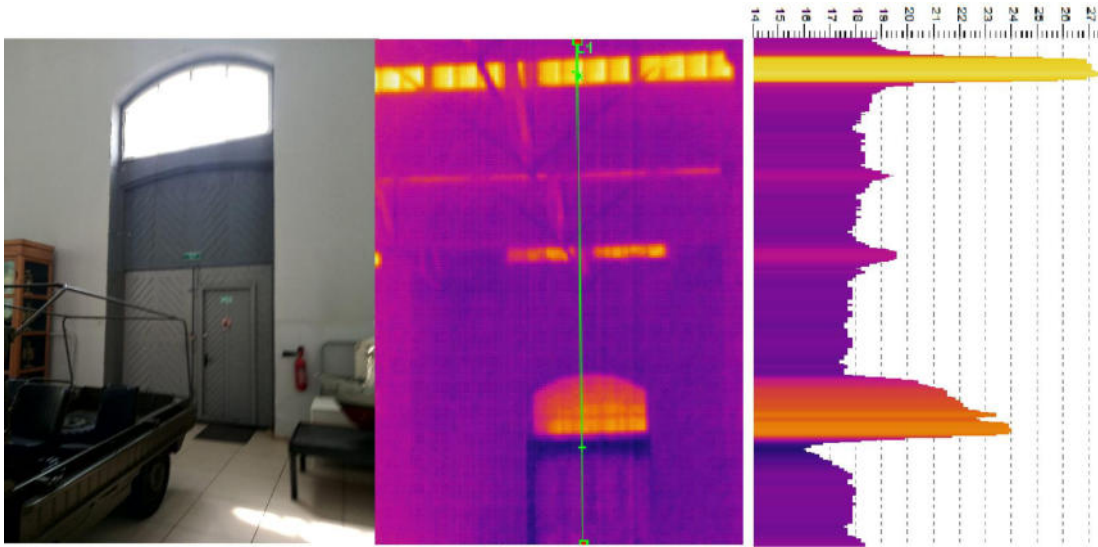


Рисунок 2 – Фото та тепловізійний знімок дверей корпусу з розподілом температур

Дах. Для даху використано покрівельне залізо завтовшки 0,3 мм. Зверху вкрите шаром полімерних фарб. Стан даху добрий. Площа даху становить 16 % від загальної площі.

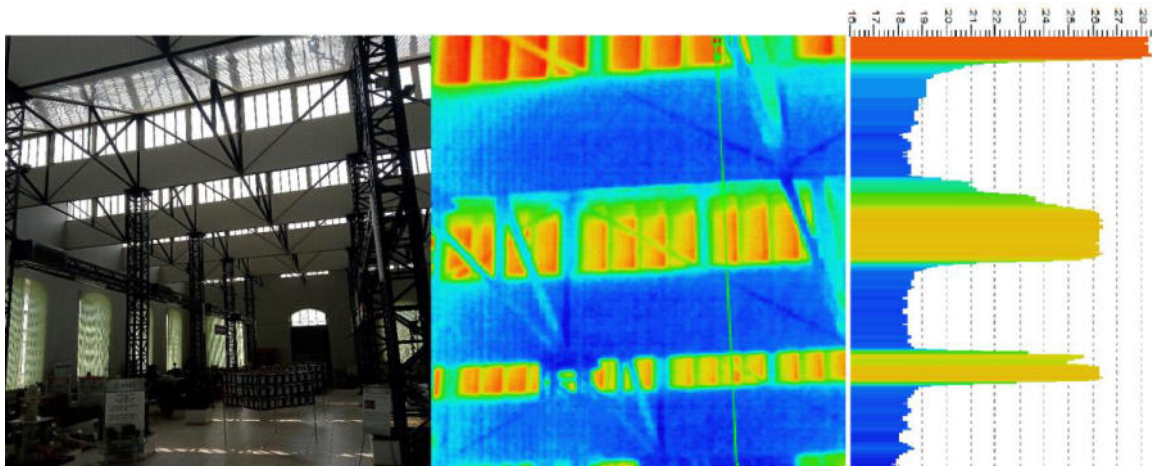


Рисунок 3 – Фото та тепловізійний знімок даху будівлі

Таблиця 1 – Розрахунок характеристик огорожувальних конструкцій

Огорожа	Матеріал огорожі (шару)	Товщина шару	Коефіцієнт теплопровідності	Внутрішній коефіцієнт теплопередачі	Зовнішній коефіцієнт теплопередачі	Термічний опір огороження	Нормативний термічний опір	Коефіцієнт Теплопередачі огороження
		δ	λ	$\alpha_{\text{в}}$	$\alpha_{\text{з}}$	R_0	$R_{\text{н}}$	K_0
		м	$\frac{Bm}{\text{м} \cdot K}$	$\frac{Bm}{\text{м}^2 K}$	$\frac{Bm}{\text{м}^2 K}$	$\frac{\text{м}^2 K}{Bm}$	$\frac{\text{м}^2 K}{Bm}$	$\frac{Bm}{\text{м}^2 K}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Стіни	Кладка цегляна	0,680	0,68	8,7	23,0	1,28	3,3	0,781
	Розчин цементно-піщаний	0,004	0,76					
Вікна	Подвійні дерев'яні, роздільні					0,187	0,75	5,34
Двері	Металеві					0,16	0,6	6,25
	Дерев'яні					0,333		3,000
Дах						3,3	4,5	0,303

Жодна з огорожуючих конструкцій не відповідає сучасним нормативним вимогам по теплозахисту.

Енергетичне моделювання в програмному середовищі DesignBuilder

Для оцінки впровадження сучасних заходів з енергозбереження було проведено моделювання теплотехнічного стану будівлі в програмному середовищі RETScreen, яке дозволяє розглянути всі інженерні мережі будівлі (теплові та електричні) та будівельні конструкції, запропонувати декілька варіантів покращень з повним описом таких важливих показників як економічність, екологічність та енергоефективність, програма вираховує динамічний термін окупності заходів з енергозбереження.

У програмному середовищі DesignBuilder було створено фактичну (actual) модель будівлі навчального корпусу з реальними характеристиками її інженерних систем, огорожувальних конструкцій та умов експлуатації (недотримання нормативних температур, відсутня механічна вентиляція). Джерелом кліматичної інформації слугував міжнародний кліматичний файл погоди IWEC з годинним кроком дискретизації даних для м. Київ.

Розроблену модель було модифіковано під фактичний (actual), базовий (baseline), запропонований (proposed) варіанти. Було побудовано тривимірну модель будівлі корпусу №6 Державного політехнічного музею КПІ ім. Ігоря Сікорського та задано всі фактичні характеристики її теплофізичних властивостей. Будівлю було розділено на окремі зони, теплофізичні параметри всередині яких суттєво не відрізняються.

У підрозділах програми Activity для будівлі було задано різні параметри, що описують режим функціонування корпусу, основні параметри мікроклімату тощо.

У підрозділах програми Construction та Openings були задані теплофізичні властивості огорожувальних конструкцій будівлі.

У підрозділі програми HVAC System було прийнято конфігурацію системи опалення, з параметрами теплоносія теплопостачальної організації, та автоматичним регулюванням системи опалення відповідно з використанням терморегуляторів в зонах будівлі.

Просимулювавши побудовану модель будівлі були отримані результати річних даних щодо енергоспоживання різних інженерних систем будівлі. Результати моделювання наведено

в таблиці 1 та отримані низка показників.

Таблиця 2 – Аналіз даних по споживанню в програмному середовищі DesignBuilder

Модель	Данні за лічильниками	Actual	Baseline за найбільшим енергоспоживанням	Proposed
Теплова енергія				
Абсолютне значення	147606	156913	197417	99812
Електроенергія				
Абсолютне значення	106213	104716	124847	117789

Дослідження можливого додаткового автономного опалення великої зали музею

За дослідженнями стану в приміщенні великої виставкової зали температурний режим не відповідає вимогам стандартів та вимагає додаткових джерел підтримання температурних та вологісного режимів в приміщенні музею. Одним із можливих заходів є автономний електричний обігрів за рахунок обігрівачів UFO, керамічних електропанелей та нагріву скла вікон. Даний нагрів може бути здійснений періодично нетривалий час: під час екскурсій та виставкових заходів; для зменшення вологості в приміщенні тощо - для створення комфортних умов для відвідувачів та збереження експонатів.

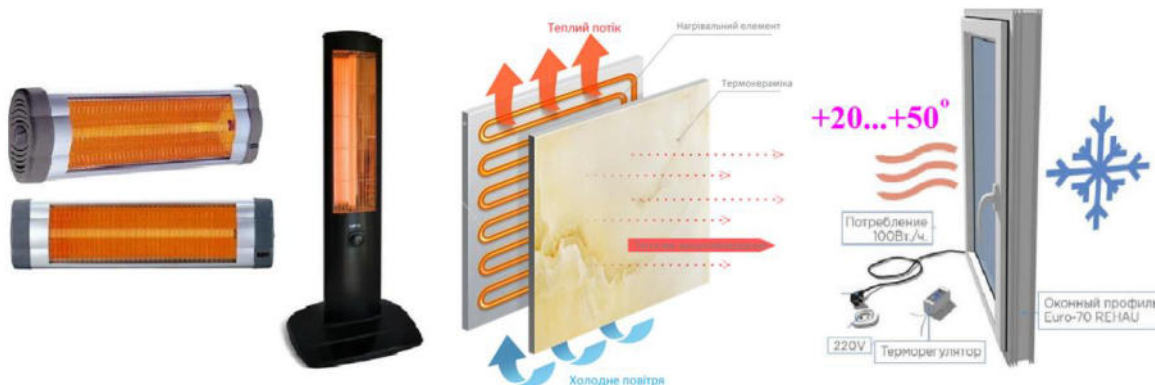


Рисунок 4 – Обігрівачі UFO, керамопанель, скло з м'яким напиленням та нагрівом.

Було розглянуто додаткове електроспоживання, яке для виставкової зали за умов додаткового нагріву інфрачервоними обігрівачами на 6...10...20 К, яка склала за розрахунками фірм виробників, відповідно 30...60...98 кВт/год, із розрахунку 50...100 Вт на м². Скло з нагрівом до температури 20...30 °С за площею скління має споживання на рівні 12...25 кВт/год.

Для впровадження даних заходів було доцільно розглянути альтернативні джерела енергії.

Проектування альтернативних джерел енергії

Проектувати системи альтернативних джерел енергії в програмному середовищі PVSol Premium (ФЕП – фотоелектричні панелі) з візуалізацією в 3D-режимі надає детальну інформацію про надходжень сонячної радіації і тіні, подані в різні часи дня і року.

Встановлення фотоелектричної системи (ФЕС)

Пропонується на даху чотириповерхової секції освітнього закладу, будівельні характеристики якого наведені в розділі 1, встановити фотоелектричну систему, яка задовольнятиме частину енергопотребителів корпусу.

Пропонуємо розмістити 172 модулі, спроможних виробити до 102 кВт/год в сонячний день. Середнє вироблення електрики за місяць складає 15 тис...20 тис кВт/год.

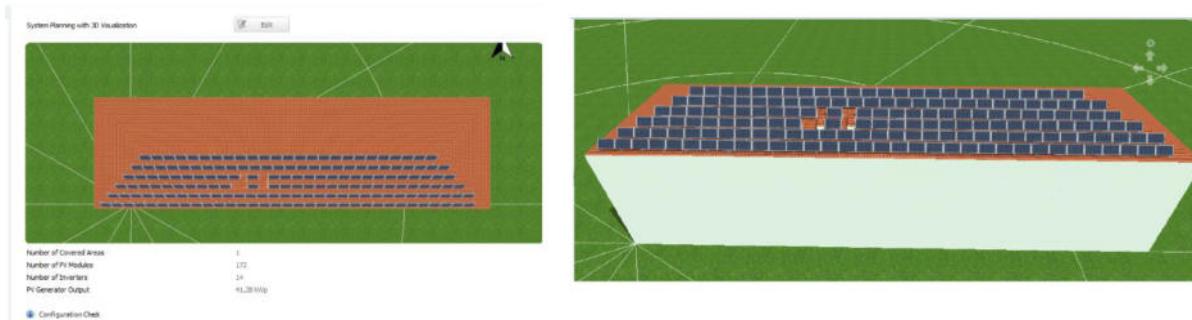


Рисунок 5 – Схема розташування ФЕС на даху корпусу

Данна система забезпечить необхідний додатковий нагрів великої зали музею навіть в зимові місяці, а надлишок можливо використовувати для споживання корпусом.

Висновки

Були проведені розрахунки та оцінювання впровадження заходів з енергозбереження з використанням моделювання теплотехнічного стану будівлі в програмному середовищі RETScreen, та визначено термін окупності впровадження заходів з енергозбереження, який дорівнює 13,7 років.

Моделювання програмному середовищі DesignBuilder дозволило розглянути всі можливі реальні аспекти енергоспоживання за умов експлуатації та погодних умов у вигляді тривимірної моделі за якими можна визначити рішення відносно теплоспоживання, яке можливо знизити на 36,5%.

Для додаткового опалення запропоновано автономні електронагрівачі, які доцільно використовувати за рахунок впровадження ФЕС та їх розрахунку в програмному середовищі PVSol Premium.

Список використаної літератури

1. ДБН В.2.2-3:2018 Будинки і споруди. Заклади освіти.
2. ДСТУ Б А.2.2-12:2015. Енергетична ефективність будівель. Метод розрахунку енергоспоживання при опаленні, охолодженні, вентиляції, освітленні та гарячому водопостачанні. 145 с.
3. ДБН В.26-31:2016 «Теплова ізоляція будівель»; чинний від 2017-05-01. // Мінбуд України. – К.: Укрархбудінформ, 2018. – 65 с. – (Державні будівельні норми України).

Науковий керівник: к.т.н., доц. Виноградов-Салтиков В.О.

УДК 697.1:

Ващишин Р.Л.

Кафедра теплотехніки та енергозбереження

**ПОТЕНЦІАЛ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ ТА ОЦІНКА ЕНЕРГЕТИЧНИХ
ХАРАКТЕРИСТИК БУДІВЛІ НАВЧАЛЬНОГО КОРПУСУ №5****ENERGY SAVING POTENTIAL AND ASSESSMENT OF ENERGY CHARACTERISTICS
OF THE BUILDING OF THE EDUCATIONAL BUILDING №5**

Анотація: Для навчального корпусу №5 КПІ ім. Ігоря Сікорського проведено енергетичне обстеження та здійснено техніко-економічну оцінку потенціалу енергозбереження будівлі з побудовою різних моделей в програмах для визначення рівня енергоспоживання. Розраховано теплові втрати будівлі та запропоновано заходи з комплексної термомодернізації огорожувальних конструкцій та інженерних систем. Розраховано базовий рівень енергоспоживання з урахуванням нормативних вимог експлуатації будівлі.

Ключові слова: енергетична модель, енергоефективність, енергозбереження, навчальний корпус, програмний продукт.

Annotation: For the educational building №5 KPI them. Igor Sikorsky conducted an energy audit and a technical and economic assessment of the energy saving potential of the building with the construction of various models in programs to determine the level of energy consumption. Heat losses of the building are calculated and measures on complex thermal modernization of enclosing constructions and engineering systems are offered. The basic level of energy consumption is calculated taking into account the regulatory requirements for the operation of the building.

Key words: energy model, energy efficiency, energy saving, educational building, software product.

Вступ: сьогодні у всьому світі піднімаються питання зниження використання енергетичних ресурсів та викопного палива для зниження викидів вуглекислого газу. Один із шляхів – підвищення рівня енергетично ефективності існуючого будівельного фонду. Особливо болючою ця проблема є для навчальних закладів в умовах обмеженості бюджетного фінансування та необхідності дотримання умов мікроклімату у будівлях. Вибір енергоефективних заходів повинен супроводжуватися техніко-економічними розрахунками. На ринку існують програмні продукти створені для пришвидшення розрахунків енергетичних характеристик до та після впровадження заходів з термомодернізації, що дозволяє значно підвищити кількість виконаних проєктів. В рамках роботи над магістерською дисертацією виконано вивчення можливостей таких програм на прикладі будівлі навчального корпусу №5 КПІ ім. Ігоря Сікорського.

Мета та завдання дослідження: Мета полягає в проведенні енергетичного обстеження та дослідженні енергетичних характеристик навчального корпусу №5 КПІ ім. Ігоря Сікорського з впровадженням заходів по модернізації системи опалення та зовнішніх стін за допомогою програм Design Builder та Retscreen.

Завдання полягає у таких кроках як: збір даних по навчальному корпусу, уточнення теплотехнічних характеристик та геометричних розмірів, створення 3D моделі, верифікація моделі та порівняння отриманих даних з фактичними даними по споживанню з лічильників за

останні роки, визначення базового рівня енергоспоживання. Робота з програмними продуктами дозволила визначити позитивні та негативні сторони для кращого розуміння управління процесами споживання [1].

Матеріал і результати дослідження: Об'єкт дослідження: навчальний корпус №5 по вул. Політехнічній, 6 (рисунк 1). В будівлі розташовано Теплоенергетичний факультет КПІ ім. Ігоря Сікорського. До складу корпусу входить три будівлі (трьохповерхова, п'ятиповерхова, дев'ятиповерхова). Опалювальний об'єм - 60050 м³. Наявні приміщення різного призначення: лабораторні, навчальні аудиторії, технічні приміщення, підвал, їдальня тощо.

Графік роботи будівлі: понеділок-п'ятниця 8.00 -20.00; субота 8.00 -15.00; неділя - по розпорядженню.

В корпусі знаходиться близько 1946 чоловік, з яких 306 працює (викладацький та допоміжний персонал) та проходить навчання близько 1640 студентів.



Рисунок 1- Корпус №5 КПІ ім. Ігоря Сікорського

Теплопостачання – централізоване з двома встановленими індивідуальними тепловими пунктами (ІТП). Один ІТП знаходиться під дев'ятиповерховою будівлею з насосною схемою опалення. Другий знаходиться під триповерховою будівлею з елеваторною схемою. Параметри теплоносія – 95/70°C. Гаряче водопостачання відсутнє.

Постачання електроенергії відбувається від розташованого на території корпусу ТП, який в свою чергу отримує живлення від РП-37.

Після проведення обстеження навчального корпусу та проведеними розрахунками тепловтрат, можна зробити висновок про недотримання температурного графіку. Це відбувається через огорожувальні конструкції (ОК), що не відповідають сучасним вимогам, недотримання температурного графіку теплоносія. У таблиці 1 у якості прикладу показано розрахунки тепловтрат основної 9-типоверхової частини будівлі.

Таблиця 1 – Втрати теплоти через огороження будівлі

9-ти поверхова будівля								
ОК	Тип	Орієнтація ОК	Площа ОК, м²	К, Вт/(м²·К)	Δt, °C	n	1+Σβ	Q _o , Вт
1	2	3	4	5	6	7	8	9
ЗС	Залізобетонні	Пд	855,88	2,166	40	1	1,05	77848,70
		Зх	629,59			1	1,1	59992,40
		Пн	837,08			1	1,15	83390,01
		Сх	332,84			1	1,15	33157,56
		Пд-Сх	300,46			1	1,05	27329,1
Вікна	Дерев'яні	Пд	280,6	1,92		1	1,05	29463,00
		Зх	3,145			1	1,1	345,95
		Пн	93,15			1	1,15	10712,25
		Сх	36,4			1	1,15	4186,00
	Металопластикові	Пд	331,2	1,33		1	1,05	18547,2
		Зх	0			1	1,1	0
		Пн	366,85			1	1,15	22500,13
		Сх	0			1	1,15	0
	Двері	Металеві	Пн	6		3,45	1	1,05
Дах	-	-	776,6	0,77		0,9	1	21663,09
Підлога	-	-	776,0	0,73		0,6	1	13671,15
							Q _{ΣОК}	403728,3

Також було визначено споживання за три роки експлуатації будівлі (рис.2), співвідношення для видів енергії (усереднено за 3 роки) показано на рисунку 3.

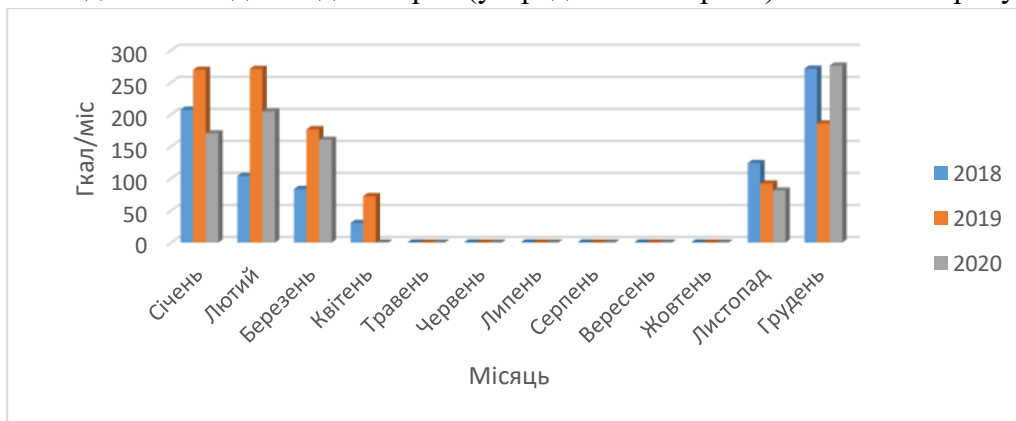


Рисунок 2 – Споживання теплової енергії за останні 3 роки



Рисунок 3 – Баланс споживання електричної та теплової енергії, %

Як видно більшу частку займає теплова енергія, тому і заходи по її збереженню будуть мати більший потенціал.

Виконано розрахунки ефекту від впровадження енергозберігаючих заходів, результати наведено у таблиці 2.

Таблиця 2 – Результати розрахунків заходів з енергозбереження

Захід з енергозбереження	ΔQ , Гкал	К, тис. грн	ΔE , тис. грн/рік	$T_{ок}$, роки
Заміна вікон на нові енергоефективні	163,1	2077,5	263,01,33	6,9
Утеплення зовнішніх стін	869,5	7506,0	1457,03	4,5
Утеплення даху	113,9	2816,6	183,6	13,56
Теплоізоляція трубопроводів	0,02	259,3	147,1	1,76
Модернізація індивідуального теплового пункту	53	1000	85,4	11,7

Далі виконувалося енергетичне моделювання будівлі навчального корпусу у спеціалізованих програмних продуктах.

Енергетична модель, побудована в Design Builder

Програмний продукт має широкі можливості, такі як: створення складного 3D макету будівлі (рисунок 4), можливість закладати реальні характеристики наявних огорожувальних конструкцій по шарам, побудова системи опалення та електропостачання, використання кліматичних баз даних IWEC файлу, можливість отримання кінцевого звіту з погодинними, помісячними та річними даними по споживанню, тощо [3].

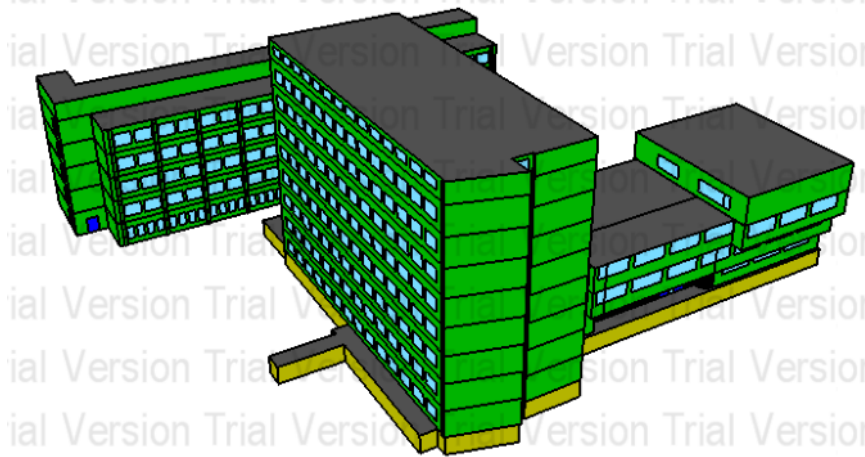


Рисунок 4 – Вигляд будівлі створено у Design builder

При створенні моделі навчальний корпус поділений на три блоки в залежності від частини будівлі (А – 9-ти поверхова частина, В – 5-ти поверхова частина, С – 3-ох поверхова частина), кожен блок розділено на зони в залежності від призначень приміщень. Також задано характеристики у розділі «construction» зовнішніх стін, даху, стін підвалу та світлопрозорих конструкцій і дверей у розділі «openings». В розділі «HVAC» обрано відповідний тип системи опалення з фактичними параметрами теплоносія.

У програмі створено три моделі.

Перша – це модель фактичного споживання енергетичних ресурсів з реальними характеристиками експлуатації будівлі, що була створена за допомогою існуючого 2D поверхового плану (формату «*.dxf») з фактичними конструктивними та теплотехнічними характеристиками об'єкту. Верифікація моделі відбувалася шляхом порівняння з фактичними показами з лічильників обліку енергії корпусу та порівняння з результатами моделювання у програмному продукті Retscreen за умови однакових вхідних даних. Було прописано такі характеристики будівлі, як: заповнення людьми ($0,117$ людей/ м^2), фактична середня температура (17°C), питома потужність електрообладнання ($4,74$ Вт/ м^2), інфільтрація повітря ($0,35$ л/с). Споживання електричної енергії склало – 303763 кВт·год, теплової енергії – 952042 кВт·год.

Друга – базова модель з нормативними параметрами експлуатації (такими як: внутрішня температура, кратність вентиляції, освітленість робочих місць, наявність працюючої механічної вентиляції, тощо). Встановлено такі показники: температура у приміщеннях 20°C з режимом зниження у неробочі години до 17°C , подача припливного повітря 7 л/с, щільність потужності електричного обладнання – $2,4$ Вт/ м^2 та інші. Після симуляції моделі виявлено ріст споживання енергетичних ресурсів на 38% у порівнянні з фактичними витратами.

Третя – запропонована модель після впровадження енергозберігаючих заходів, що враховує утеплення зовнішніх стін, перекриття даху та перекриття підвалу для дотримання нормативного приведенного опору теплопередачі, заміна старих вікон на нові, впровадження системи вентиляції з рекуперацією теплової енергії та системи охолодження повітря «DX Cooling Coil».

Було прописано такі характеристики будівлі, як: заповнення людьми ($0,117$ людей/ м^2), фактична середня температура (17°C), питома потужність електрообладнання ($4,74$ Вт/ м^2), інфільтрація повітря ($0,35$ л/с), питома потужність системи освітлення ($2,4$ Вт/ м^2). Також

задано характеристики у розділі «construction» зовнішніх стін, даху, стін підвалу та світлопрозорих конструкцій і дверей у розділі «openings». В розділі «HVAC» обрано відповідний тип системи опалення з фактичними параметрами теплоносія. Вдалося досягти зменшення витрат теплової енергії на 53%. Споживання електроенергії зменшилося на 23%. Схематична візуалізація системи опалення наведено на рисунку 5.

Retscreen програма, яка також дозволяє розрахувати тепловтрати будівлі та отримати фінансовий план реалізації проекту [4].

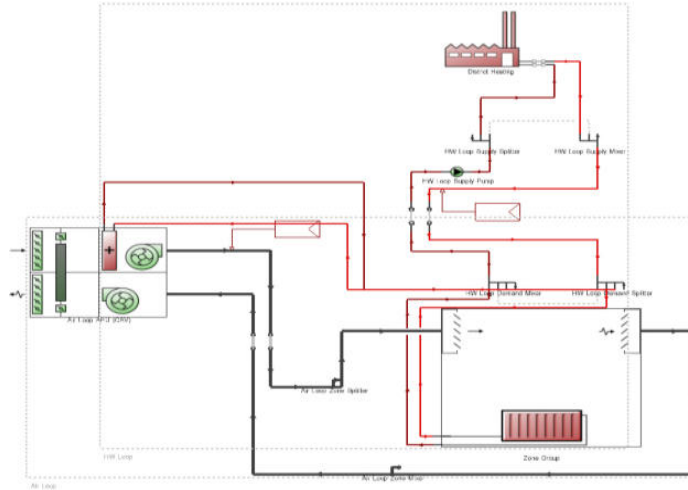


Рисунок 5 – Схема системи опалення та вентиляції моделі (proposed) корпусу

Було побудовано модель навчального корпусу у Retscreen: для огорожень вказувалися середньозважені опори теплопередачі, задавався режим експлуатації будівлі, середня температура внутрішнього повітря (17 C), кількість осіб та характеристика системи опалення, вентиляції та електропостачання. Також було створено базову модель та запропоновану модель з урахуванням впроваджених заходів, які відповідають заходам, аналогічним тим, що враховувалися у побудові моделі в програмі Design Builder. Витрата теплової енергії у запропонованій моделі у Retscreen зменшилася на 53%, електроенергії - на 26% (рис.6).

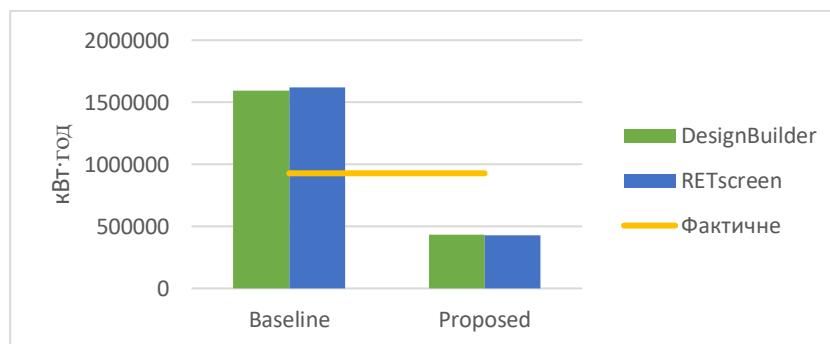


Рисунок 6 – Графік порівняння споживання тепла отриманими моделями

Висновок: порівнявши наведені програми, можна зробити висновки, що вони дозволяють визначати енергетичні характеристики будівлі і оцінювати ефект від впровадження комплексу енергоефективних заходів. Design Builder дозволяє більш детально сформувати характеристики моделі, в тому числі отримувати дані у річному і погодинному

розрізі для різних зон будівлі з індивідуальними параметрами мікроклімату та інженерних мереж. Також перевагами є наступне: можливість побудови 3D моделі об'єкту, формувати детальний звіт з необхідними параметрами для аналізу витрат, тощо. Програма RETScreen дозволяє виконувати фінансову оцінку, зокрема вона обчислює простий та дисконтований термін окупності, IRR та ін. Визначення терміну окупності заходів у Design Builder проблематично через погану пристосованість до проблематики ринку в Україні.

Перелік використаних джерел

- 1) Управління ефективністю енерговикористання у вищих навчальних закладах: монографія / Білоус І.Ю., Дешко В.І., Суходуб І.О., Шевченко О.М., Шовкалюк М.М. – К.: Політехніка, 2015. – 188 с.
- 2) ДСТУ Б В.2.6-189:2013 Методи вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будівель.
- 3) RETScreen - Clean Energy Management Software [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.nrcan.gc.ca/maps-tools-publications/tools/data-analysis-software-modelling/retscreen/7465>
- 4) DesignBuilder - About DesignBuilder [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://designbuilder.co.uk/about-us>

Науковий керівник – к.т.н., доцент Шовкалюк М.М.

ЕНЕРГЕТИЧНА ТА ЕКСЕРГЕТИЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ БУДІВЛІ ЖИТЛОВОГО ПРИЗНАЧЕННЯ. ЕНЕРГЕТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЖИТЛОВОГО БУДИНКУ

Анотація. Метою статті є моделювання енергетичних потоків, аналіз їх характеристик та проектування системи альтернативних джерел енергії з метою підвищення рівня енергоефективності житлових будинків на прикладі двоповерхової житлової будівлі за адресою місто Київ, пр. Відрадний 71/2. В статті розглянуто загальні характеристики будинку, проведено моделювання та аналіз енергетичних потоків за допомогою програмного середовища RETScreen та DesignBuilder, здійснено проектування системи альтернативних джерел енергії в програмних середовищах PVSol Premium та TSol. На підставі проведеного порівняльного аналізу визначено найдоцільнішу систему альтернативних джерел енергії.

Ключові слова: моделювання енергетичних потоків, аналіз енергетичних характеристик, проектування системи альтернативних джерел енергії, порівняльний аналіз.

Abstract. The goal of the article is to model energy flows, analyze their characteristics and design a system of alternative energy sources to increase the energy efficiency of residential buildings on the example of a two-storey residential building at Kyiv, Vidradny Ave. 71/2. The article considers the general characteristics of the house, modeling and analysis of energy flows using the software environment RETScreen and DesignBuilder, designed a system of alternative energy sources in the software environment PVSol Premium and TSol. On the basis of the conducted comparative analysis the most expedient system of alternative energy sources is defined.

Key words: modeling of energy flows, analysis of energy characteristics, design of a system of alternative energy sources, comparative analysis.

Вступ

Енергозбереження починається з чіткого розуміння необхідності покращення економічних показників за рахунок меншого споживання енергоресурсів. Для того щоб забезпечити раціональне використання енергетичних ресурсів необхідний ефективний підхід до аналізу систем споживання енергії. Скорочення витрат на паливно-енергетичні ресурси досягається шляхом доведення споживання енергетичних ресурсів до кращих світових показників за рахунок проведення організаційних і технічних заходів з енергозбереження [1].

Сьогодні норми та закони передбачають врахування параметрів енергоефективності при будівництві нових і реконструкції старих будівель. Не зважаючи на те, що законодавство сфери енергетичної ефективності не є досконалим, такі закони як ЗУ «Про енергетичну ефективність будівель» [2] вже дають позитивні результати. Ініціативні громадяни та підприємства за підтримки держави покращують енергоефективність своїх будівель, таким чином зменшуючи свої фінансові затрати шляхом зменшення сплати за енергоносії та сприяють наближенню держави до енергетичної незалежності та покращення екологічного стану України.

Для покращення енергоефективності вже існуючих будинків, слід проводити моделювання потоків енергії та аналіз їх характеристик, на основі яких, проектувати альтернативні джерела енергії.

Мета та завдання

Метою даної статті є дослідження та моделювання енергетичних та ексергетичних потоків, аналіз їх характеристик та проектування системи альтернативних джерел енергії з метою підвищення рівня енергоефективності житлових будинків.

Для досягнення поставленої мети були визначені наступні завдання.

1. Дослідити загальні характеристики будинку.
2. Провести аналіз фактичного енергоспоживання будинку та моделювання потоків енергії в програмному середовищі RETScreen та DesignBuilder.
3. Виконати проектування системи альтернативних джерел енергії в програмних середовищах PVSol Premium та TSol.
4. Визначити найдоцільнішу систему альтернативних джерел енергії.

Матеріал та результати досліджень

Першим кроком при термомодернізації є енергетичний аудит – глибоке дослідження енергетичних характеристик будівлі, її огорожувальних конструкцій, інженерних систем та мереж. Кінцевою ціллю аудиту є визначення рівня енергетичної ефективності будівлі та присвоєння їй класу енергетичної ефективності, в подальшому, отримані показники будуть використані для розробки проекту модернізації та обґрунтування його економічної доцільності. [3].

Об'єктом дослідження є двоповерхова житлова будівля за адресою: місто Київ, пр. Відрадний 71/2. Це будівля першого періоду індустріального домобудування на 3 під'їзди, 15 квартир, введена в експлуатацію у 1950 році. Будівля побудована без врахування сучасних будівельних норм з енергозбереження, а саме: перекриття горища та зовнішні стіни мають недостатній рівень теплоізоляції за сьогоднішніми будівельними нормами та цінами на енергоносії[4]. В результаті цього не дотримується температурний режим в житлових приміщеннях та має місце перевитрата тепла на опалення будівлі.

Загальну інформацію про огорожувальну конструкцію, склад та площу зовнішніх стін, та характеристики світлопрозорих конструкцій зведемо у таблиці 1 – 3.

Таблиця 1 – Склад зовнішніх стін

Конструкція стіни	керамічна пустотіла цегла 0,51м, штукатурка - 0,02м	Теплоізоляція відсутня
-------------------	---	------------------------

Таблиця 2 – Площа зовнішніх стін

Орієнтація	Пд	Пн	Зх	Сх
Площа стіни (м ²)	169,34	169,34	164,53	164,53
Загальна площа (м ²)	667,74			

Таблиця 3 – Характеристики світлопрозорих конструкцій

Площа одного, м ²	Тип матеріалу	Кількість				Тип засклення
		Пд	Пн	Зх	Сх	
1,76	МП	8	8	10	20	2
0,25	МП			2		2
1,76	Д	4	9	5	4	
0,25	Д	4		2		
Загальна площа засклення, м ²		120,37				

Опалення та гаряче водопостачання(ГВП) реалізуються централізовано. Встановлено 53 чавунних радіаторів. Термостатичні крани відсутні.

Система теплопостачання розбалансована. Труба, по якій відбувається розведення теплоносія по стояках потребує заміни. Індивідуальний тепловий пункт (ІТП) розташований в підвальному приміщенні. Труби частково утеплені. Зовнішній вигляд ІТП наведено на Рис 1.



Рисунок 1 – Обладнання ІТП житлового будинку Відрадий маєток по адресі пр. Відрадий 71/2

Об'єктом споживаються такі енергоносії: електрична енергія, тепла енергія та холодна вода. Аналіз динаміки споживання енергоносіїв показує, що використання енергетичних ресурсів кожного року є схожим. Взимку має місце збільшення обсягів споживання теплової та електричної енергії, що зумовлено роботою централізованого опалення, наявністю додаткових приладів обігріву. В першу чергу варто розглядати системи тепло- та електропостачання. На Рис. 2 зображено баланс грошових сплат за спожиті енергоресурси.



Рисунок 2 – Оплата за теплову, електричну енергію та воду за 2019 рік

Вичерпний аналіз і визначення технічної і фінансової доцільності потенційних проектів реновації будівлі, а також їх енергетичну ефективність було проведено в програмному середовищі RETScreen та DesignBuilder. Виконано їх порівняльний аналіз.

Програма дозволяє розглянути всі інженерні мережі будівлі (теплові та електричні), запропонувати декілька варіантів покращень з повним описом таких важливих показників як економічність, екологічність та енергоефективність. Позитивним фактором є те, що програма вираховує динамічний термін окупності запропонованих енергоефективних заходів (ЗЕЗ).

До недоліків цього продукту відноситься система вводу характеристик огорожуючих конструкцій – необхідно вручну вираховувати значення приведенного коефіцієнту опору теплопередачі в тих випадках, коли є неоднорідність ОК на ділянці, що розглядається[5, 7].

Аналіз теплотехнічного стану будівлі в RETScreen є досить зручним та точним, його результати наведені на Рис. 3 – 4.

Резюме									
В Показат дані									
		Паливо		Базовий випадок		Запропонований випадок		Економія витрат на паливо	
		Споживання палива - одиниці		Споживання палива		Споживання палива		Економія витрат на паливо	
Вид палива		Вартість палива		Вартість палива		Вартість палива		Зекономлене паливо	
Електроенергія		МВт-год	€ 82 000	166,5	€ 13 652	152,8	€ 12 531	13,7	€ 1 121
Природний газ		кВт-год	€ 0,040	700 265,3	€ 28 011	242 238,2	€ 9 690	458 027,2	€ 18 321
Разом					€ 41 663		€ 22 221		€ 19 442
		Споживання палива - одиниці	Споживання палива - традиційне	Споживання палива - базовий	Споживання палива - зміна				
Електроенергія		МВт-год	161,9	166,5	3%				
Природний газ		кВт-год	705 547,3	700 265,3	-1%				
		Опалення	Охолодження	Електроенергія	Разом				
Енергія		ГДж	ГДж	ГДж	ГДж				
Споживання енергії - Базовий випадок		1 513	180	599	2 292				
Споживання енергії - Запропонований випадок		698	140	550	1 388				
Зекономлена енергія		815	40	49	904				
Зекономлена енергія - %		53,9%	22,1%	8,2%	39,4%				
Мітка									
Одиниця енергії		ГДж							
Еталонна одиниця		м²							

Рисунок 3 – Резюме енергетичного дослідження