

Міністерство освіти і науки України
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
Факультет автоматизації та енергетики
Кафедра інформаційно-вимірювальних технологій
та енергетичного менеджменту

НОВИЦЬКИЙ КИРИЛО ВІТАЛІЙОВИЧ

(прізвище, ім'я, по батькові)

УДК _____
(індекс)

МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА

«Дослідження узгодження методик розрахунку енергоефективності будівель у відповідності з стандартизованими вітчизняними та міжнародними нормативними документами»

(назва роботи)

«Енергетичний менеджмент»

(назва освітньої програми)

141 «Електроенергетика, електротехніка, електромеханіка»

(шифр і назва спеціальності)

К. В. Новицький

(підпис, ініціали та прізвище здобувача освітнього ступеня)

Науковий керівник **РАЙТЕР Петро Миколайович, д. т. н., професор**
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Допущено до захисту
Завідувач кафедри

К. Т. Н., доцент
(посада)

(підпис) (дата)

В. С. ЦИХ
(ініціали та прізвище)

Рецензент

(посада)

(підпис) (дата)

(ініціали та прізвище)

Робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

(повне найменування закладу вищої освіти)

Факультет автоматизації та енергетики

Кафедра інформаційно-вимірювальних технологій та енергетичного менеджменту

Освітній рівень магістр

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка, електромеханіка»

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ІВТЕМ

к. т. н., доцент Віталій ЦИХ

«__» _____ 20 р.

**ЗАВДАННЯ
НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Новицькому Кирилу Віталійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Дослідження узгодження методик розрахунку енерго-
ефективності будівель у відповідності з стандартизованими вітчизняними
та міжнародними нормативними документами

керівник роботи Райтер Петро Миколайович, д. т. н., професор

затверджені наказом закладу вищої освіти від «14» листопада 2025 р. №719/7

2. Термін подання студентом роботи: 14 грудня 2025 р.

3. Вихідні дані до роботи: параметри розрахунку енергоефективності будівель,
наявні у вітчизняних та міжнародних нормативних документах з енергетичної
ефективності.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):

Розділ 1. Теоретичні засади стандартизації методик розрахунку енергоефективності будівель

Розділ 2. Порівняльний аналіз вітчизняних та зарубіжних методик розрахунку параметрів енергоефективності

Розділ 3. Моделювання розрахунку параметрів енергоефективності будівель у середовищі MATLAB

Розділ 4. Техніко-економічне обґрунтування доцільності застосування ДСТУ 9190 та ISO 52016-1

Висновки

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):

6. Консультанти розділів роботи:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
<i>Нормоконтролер</i>	<i>доц. Яворський А. В.</i>		

7. Дата видачі завдання 14.11.2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Вибір теми магістерської роботи та обґрунтування її актуальності	до 14.11.25	Виконано
2	Визначення об'єкта, предмета, мети, завдань та методів дослідження	15.11.25	Виконано
3	Складання плану магістерської роботи	16.11.25	Виконано
4	Пошук і відбір джерел відповідно до теми роботи, укладання переліку джерел	17.11.25 – 18.11.25	Виконано
5	Написання тексту магістерської роботи відповідно до її структури:	19.11.25 – 12.12.25	Виконано
	5.1 Розділ 1	19.11.25 – 24.11.25	Виконано
	5.2 Розділ 2	25.11.25 – 30.11.25	Виконано
	5.3 Розділ 3	01.12.25 – 06.12.25	Виконано
	5.4 Розділ 4	07.12.25 – 12.12.25	
7	Написання вступної частини магістерської роботи	13.12.25	Виконано
8	Підготовка графічних матеріалів та елементів унаочнення	13.12.25	Виконано
9	Формулювання висновків до магістерської роботи	14.12.25	Виконано
10	Оформлення остаточного переліку використаних джерел та додатків	14.12.25	Виконано
11	Оформлення магістерської роботи	15.12.25	Виконано
12	Внесення коректив та остаточне редагування	15.12.25	Виконано
13	Реєстрація магістерської роботи на кафедрі	16.12.25	Виконано
14	Захист магістерської роботи		Виконано

Студент

(підпис)

(ініціали, прізвище)

Науковий керівник роботи

(підпис)

(ініціали, прізвище)

РЕФЕРАТ

Новицький К. В. Дослідження узгодження методик розрахунку енергоефективності будівель у відповідності з стандартизованими вітчизняними та міжнародними нормативними документами.

Кваліфікаційна магістерська робота за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка, електромеханіка» освітньо-професійної програми «Енергетичний менеджмент» другого рівня вищої освіти. ІФНТУНГ, м. Івано-Франківськ. 2025.

Робота присвячена дослідженню узгодження методик розрахунку енергоефективності будівель у відповідності з вітчизняними та міжнародними нормативними документами з метою забезпечення коректної зіставності результатів і підвищення відтворюваності розрахунків.

У межах роботи висвітлено поняття енергоефективності будівель і стан проблеми в Україні, здійснено порівняльний аналіз наявних українських і міжнародних документів та охарактеризовано методологічні засади розрахунку параметрів енергоефективності; встановлено причинно-наслідкові зв'язки виникнення відмінностей, розглянуто проблему «непорівнюваних величин», а також розроблено MATLAB-моделі для реалізації розрахункових процедур та візуалізації розбіжностей.

Отримані результати дозволяють стверджувати, що розбіжності між підходами ДСТУ та ISO мають системний характер і зумовлюються відмінностями у припущеннях, структурі моделей і трактуванні вхідних параметрів, а застосування комп'ютерного моделювання дає можливість визначати «зону невідповідності», прив'язувати її до конкретної будівлі та обґрунтовувати техніко-економічну доцільність вибору методики розрахунку.

Ключові слова: *енергетична ефективність, будівельні норми, методологія, стандарт, стандартизація, міжнародна стандартизація, енергетичний менеджмент, нормативне забезпечення, комп'ютерне моделювання, MATLAB.*

ABSTRACT

Novytskyi, K. V. Research on the harmonization of methods for calculating the energy efficiency of buildings in accordance with standardized domestic and international regulatory documents.

Master's thesis in the specialty 141 "Electric Power Engineering, Electrical Engineering, Electromechanics" of the educational and professional program "Energy Management" of the second level of higher education. IFNTUOG, Ivano-Frankivsk. 2025.

The work is devoted to the study of harmonization of methods for calculating the energy efficiency of buildings in accordance with domestic and international regulatory documents in order to ensure the correct comparability of results and improve the reproducibility of calculations.

The work highlights the concept of energy efficiency of buildings and the state of the problem in Ukraine, provides a comparative analysis of existing Ukrainian and international documents, and describes the methodological basis for calculating energy efficiency parameters. causal relationships between differences are established, the problem of "incomparable values" is considered, and MATLAB models are developed to implement calculation procedures and visualize discrepancies.

The results obtained allow us to conclude that the discrepancies between the UNS and ISO approaches are systemic in nature and are caused by differences in assumptions, model structure, and interpretation of input parameters, and the use of computer modeling makes it possible to determine the "area of non-compliance," link it to a specific building, and justify the technical and economic feasibility of choosing a calculation method.

Keywords: energy efficiency, building codes, methodology, standard, standardization, international standardization, energy management, regulatory support, computer modeling, MATLAB.

ЗМІСТ

	Ст.
ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ СТАНДАРТИЗАЦІЇ МЕТОДИК РОЗРАХУНКУ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ БУДІВЕЛЬ.....	12
1.1 Поняття про енергоефективність будівель, стан проблеми в Україні та способи її вирішення.....	12
1.2 Аналіз вітчизняних та міжнародних нормативних документів з енергетичної ефективності.....	18
1.3 Проблематика методик розрахунку енергоефективності будівель та постановка задачі дослідження	28
РОЗДІЛ 2. ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ВІТЧИЗНЯНИХ ТА ЗАРУБІЖНИХ МЕТОДИК РОЗРАХУНКУ ПАРАМЕТРІВ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ.....	34
2.1 Методологічні засади основоположних українських нормативних документів.....	35
2.2 Міжнародне нормативне забезпечення розрахунку параметрів енергоефективності будівель	41
2.3 Дослідження причинно-наслідкових зв'язків виникнення відмінностей у вітчизняних та зарубіжних параметрах енергоефективності	46
2.4 Проблематика «непорівнюваних величин»: прикладний аспект у контексті параметрів енергоефективності будівель	54
РОЗДІЛ 3. МОДЕЛЮВАННЯ РОЗРАХУНКУ ПАРАМЕТРІВ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ БУДІВЕЛЬ У СЕРЕДОВИЩІ MATLAB.....	61
3.1 Параметр «потреба теплової енергії на опалення».....	62
3.2 Параметр «тепловтрати через огорожувальні конструкції».....	64
3.3 Параметр «вентиляційні та інфільтраційні тепловтрати»	66
3.4 Параметр «сонячні теплові надходження».....	67
3.5 Параметр «внутрішні тепловиділення»	69
3.6 Параметр «внутрішня температура».....	70
3.7 Параметр «теплова інерційність будівлі».....	72
3.8 Параметр «режими роботи систем опалення та охолодження».....	73

3.9 Параметр «річна потреба в енергії»	75
3.10 Параметр «температура внутрішніх поверхонь огорожувальних конструкцій»	77
3.11 Параметр «концентрація CO ₂ у приміщенні»	78
РОЗДІЛ 4. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ДСТУ 9190 ТА ISO 52016-1.....	81
ВИСНОВКИ.....	88
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	91
ДОДАТКИ.....	95
Додаток А. Скрипти для розрахунків параметрів енергоефективності будівель за вітчизняними та міжнародними методиками.....	95
Додаток Б. Скрипт «Порівняння економічного ефекту різниці між ДСТУ 9190 та ISO 52016-1/17772-1»	115
Додаток В. Авторський сертифікат на публікацію наукової статті.....	117

ВСТУП

Актуальність дослідження зумовлена тим, що в Україні паралельно застосовуються вітчизняні та міжнародні підходи до розрахунку енергоефективності будівель, які не завжди дають порівнювані результати навіть за однакових вихідних умов. У практиці проєктування, енергетичної сертифікації та енергоаудиту це створює ризик помилкового тлумачення показників, ускладнює перевірку розрахунків і знижує довіру до отриманих висновків. Зважаючи на євроінтеграційний вектор, особливо важливо забезпечити методичну сумісність підходів, щоб результати оцінювання можна було коректно співставляти з вимогами міжнародних стандартів і водночас узгоджувати з національною нормативною базою. Узгодження методик є критичним також тому, що від розрахункових моделей залежать управлінські рішення щодо термомодернізації, вибору інженерних систем і пріоритетів інвестицій. Без чіткої відповідності між методиками виникає імовірність помилкового ранжування заходів з енергоефективності та некоректного прогнозування ефекту від їх запровадження.

Проблему розрахунку параметрів енергетичної ефективності будівель досліджували чимало науковців, серед яких: Т. Бортник, В. Вернадський, І. Дашко, В. Джеджула, І. Заремба, А. Іскаков, Т. Лівощко, С. Собуцький, К. Ущатовський, Г. Фаренюк та ін.

Метою дослідження є зіставлення вітчизняних і міжнародних методик розрахунку енергоефективності будівель, аналіз та обґрунтування відмінностей у припущеннях, вхідних параметрах і розрахункових моделях нормативних документів.

Поставлена мета передбачає розв'язання таких **завдань**:

- висвітлити поняття «енергоефективність будівель», стан проблеми в Україні та способи її вирішення; здійснити аналіз наявних вітчизняних та міжнародних документів з енергетичної ефективності; охарактеризувати проблематику методик розрахунку енергоефективності будівель;

- описати методологічні засади основоположних українських нормативних документів та міжнародне нормативне забезпечення розрахунку параметрів енергоефективності будівель; дослідити причинно-наслідкові зв'язки виникнення відмінностей у вітчизняних та зарубіжних параметрах енергоефективності; проаналізувати проблематику «непорівнюваних величин» у контексті параметрів енергоефективності будівель;
- розробити моделі розрахунку параметрів енергоефективності будівель у середовищі MATLAB; здійснити техніко-економічне обґрунтування доцільності розрахунку вищезгаданих параметрів за ДСТУ 9190 та ISO 52016-1.

Предмет дослідження – узгодження методик розрахунку енергоефективності будівель у відповідності з стандартизованими вітчизняними та міжнародними нормативними документами.

Об'єкт дослідження – процес оцінювання параметрів енергетичної ефективності будівель, наведені у вітчизняних та міжнародних нормативних документах.

У роботі застосовано комплекс **методів**, спрямованих на узгоджене опрацювання нормативної бази та перевірку отриманих висновків на розрахункових прикладах. Базовим є метод аналізу й класифікації текстових документів, даних, таблиць і наявних напрацювань, який дає змогу систематизувати вимоги стандартів, визначити логіку подання параметрів і встановити критичні місця розбіжностей у термінах, визначеннях та алгоритмах обчислення. Метод пошуку інформації використано для виявлення релевантних нормативних положень, офіційних пояснень і суміжних науково-прикладних джерел, що забезпечує повноту охоплення матеріалу та коректність інтерпретації контексту застосування методик. Для кількісної перевірки та відтворення розрахункових процедур використано метод математичного моделювання з застосуванням середовища MATLAB, що дозволяє формалізувати алгоритми, реалізувати сценарії з контрольованими вхідними даними та дослідити чутливість результатів до зміни ключових параметрів і припущень. На етапі узагальнення результатів застосовано метод порівняння, який забезпечує

зіставлення вихідних показників, проміжних розрахункових величин і структури моделей між вітчизняними та міжнародними методиками, а також дає змогу обґрунтувати рівень їхньої сумісності або непорівнюваності.

Наукова новизна роботи:

– Удосконалено обґрунтування відхилень параметрів енергетичної ефективності будівель, визначених за вітчизняними та міжнародними нормативними документами, шляхом розроблення таблиці причинно-наслідкових зв'язків, яка системно пов'язує розбіжності результатів із конкретними методичними припущеннями та розрахунковими кроками.

– Удосконалено методику розрахункової оцінки відхилень між підходами ДСТУ та ISO на основі комп'ютерного моделювання і візуалізації в середовищі MATLAB, що забезпечує можливість інтерпретувати та пов'язувати величину відхилень до вихідних параметрів конкретної будівлі й заданих умов експлуатації.

– Набули подальшого розвитку методичні підходи до розрахунку параметрів енергетичної ефективності будівель за вітчизняною та міжнародною нормативною базою в частині їх зіставлення, формалізації та застосування для підготовки відтворюваних і порівнюваних розрахункових результатів.

Практичне значення результатів полягає в тому, що з використанням розроблених MATLAB-скриптів можна оперативно виявляти та кількісно оцінювати різницю між результатами розрахунків енергоефективності будівель за ДСТУ та ISO за однакових вихідних даних. Це дає змогу визначати «зону невідповідності» – діапазон параметрів і умов, у межах яких розбіжності стають методично зумовленими та статистично / розрахунково стійкими. Отримані результати дозволяють аргументовано обґрунтувати наявність такої невідповідності, пов'язати її з конкретними вихідними параметрами будівлі та використати висновки для коректного вибору методики або узгодження підходів у практиці енергоаудиту й проєктування.

Публікації. Матеріали та результати, наведені у роботі, було апробовано у вигляді наукової статті:

Novytskyi, K. V., Vashchyshak, I. R., Dotsenko, Y. R. Standardisation processes in Ukraine: achievements, challenges, prospects. *ScientificWorldJournal*. Bulgaria : Svishtov, 2025. №34. 12 p.

Авторський сертифікат наведено у Додатку В.

Структура та обсяг роботи визначені її метою й завданнями. Робота складається із вступу, трьох розділів, загальних висновків, переліку використаних джерел, додатків. Загальний обсяг роботи становить 117 сторінок, з яких виклад основного матеріалу – 78 сторінок. В межах магістерської роботи подано 14 рисунків, 1 таблицю та 3 додатки. Список використаної літератури містить 36 позицій, з яких 6 – іноземною мовою.

РОЗДІЛ 1

ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ СТАНДАРТИЗАЦІЇ МЕТОДИК РОЗРАХУНКУ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ БУДІВЕЛЬ

1.1 Поняття про енергоефективність будівель, стан проблеми в Україні та способи її вирішення

Енергоефективність будівель і споруд є фундаментальним чинником забезпечення енергетичної безпеки, сталого розвитку та економічного зростання України. Вона визнана ключовим пріоритетом на сучасному етапі розвитку, охоплюючи як національні економіки, так і окремі структури. Це зумовлено стратегічною необхідністю реагувати на глобальні обмеження – виснаження природних невідновлювальних енергоресурсів.

Додаткової критичної ваги ця проблема набула в умовах сучасних викликів, до яких належать воєнна агресія російської федерації, загострення енергетичної кризи, необхідність протидії зміні клімату та виконання міжнародних зобов'язань щодо скорочення викидів CO₂. З економічної точки зору, управління енерговитратами є критичною детермінантою конкурентоспроможності. У значній частині будівель та споруд енергетична складова є надто обтяжливою в структурі операційних витрат, тому мінімізація енергоспоживання перетворюється на пряму фінансову вигоду та показник прибутковості. Також енергоефективність слугує інструментом екологічної відповідальності. Її впровадження забезпечує істотне зниження антропогенного навантаження через редукцію викидів парникових газів і токсичних речовин, що є визначальним внеском у боротьбу з кліматичною кризою.

Відповідно, дослідження енергоефективності будівель та споруд є імперативною дослідницькою проблематикою, що має фундаментальне значення для забезпечення стійкого розвитку. Енергоефективність будівель стосується не лише економії ресурсів. Вона є стратегічною необхідністю, що забезпечує енергетичну незалежність держави, гарантує екологічну безпеку та є ключовою передумовою для євроінтеграційних процесів України. Успішна реалізація цього завдання вимагає комплексного підходу, який охоплює чотири основні вектори:

технологічні інновації, фінансове стимулювання, законодавче забезпечення та освітні заходи.

Дослідженню особливостей енергоефективності будівель промислових підприємств присвятила власні наукові розробки чимала кількість вчених та дослідників, серед яких: Т. Бортник, В. Вернадський, Ю. Давидова, І. Дашко, В. Джеджула, І. Заремба, І. Кукса, Т. Лівощко, О. Овсієнко, С. Собуцький та інші.

Витоки дискусії про енергоефективність та її екологічні наслідки сягають середини ХХ століття. Перші фундаментальні основи концепції були закладені ще у 1944 році українським вченим В. Вернадським у його праці «Кілька слів про ноосферу» [3, с. 117]. В. Вернадський, аналізуючи вплив людської діяльності на біосферу, обґрунтував необхідність переходу до ноосфери – стану біосфери, де взаємодія людини та природи здійснюється на засадах розумної експлуатації задля запобігання самознищенню людства.

Через чотири десятиліття, на фоні стрімкого розвитку енергетики та її негативного впливу на довкілля, проблема набула політичного виміру. У 1987 році Міністерство енергетики США вперше публічно підняло питання енергетичної безпеки у доповіді, підготовленій для Президента. Логічним продовженням цього усвідомлення стало підписання Кіотського протоколу через десять років, спрямованого на обмеження емісії парникових газів [4, с. 166]. Однак, незважаючи на ці знакові кроки, проблема надмірного антропогенного навантаження на навколишнє середовище залишається гостро актуальною для більшості світових держав, зокрема й для України.

Концепт енергоефективності будівель історично еволюціонував від простого «утеплення» до системного підходу, який охоплює весь життєвий цикл будівлі. Якщо ранні підходи фокусувалися передусім на теплотехнічних властивостях огорожувальних конструкцій, то сучасні стандарти розглядають будівлю як складну енергетичну систему, де взаємодіють оболонка, системи опалення, охолодження, вентиляції, освітлення, а також відновлювальні джерела енергії. Сьогодні йдеться вже не тільки про зменшення попиту на енергію, а й про її декарбонізацію, тобто про заміщення викопних палив відновлюваними джерелами та мінімізацію викидів парникових газів у фазі експлуатації. Саме

тому поняття «енергоефективна будівля» дедалі тісніше пов'язується з поняттями будівель з майже нульовим споживанням енергії та будівель з нульовими викидами.

Поняття енергоефективності будівель сьогодні є одним із ключових інструментів переходу до сталої енергетики та низьковуглецевої економіки. На думку С. Собуцького, під енергоефективністю будівлі розуміють інтегральну характеристику, що відображає кількість енергії, необхідної для забезпечення заданого рівня теплового комфорту, вентиляції, освітлення та підготовки гарячої води, з урахуванням якості огорожувальних конструкцій, інженерних систем і особливостей експлуатації [25, с. 44]. У європейській нормативній традиції ця характеристика конкретизується через показник енергетичної ефективності будівлі, розрахований на одиницю площі опалюваної зони протягом року, з поділом за видами енергії та джерелами її походження. Т. Бортник у своїх науковій роботі вказує, що Європейська комісія у своїх інформаційних матеріалах наголошує, що підвищення енергоефективності будівель одночасно розв'язує кілька завдань: зменшує викиди парникових газів, знижує енергетичну бідність домогосподарств, підвищує енергетичну безпеку та створює нові робочі місця в секторі будівництва й реновації. У практичній площині це означає перехід до глибокої реновації існуючих будівель, модернізації систем опалення та вентиляції, комплексного утеплення фасадів і дахів, заміни вікон, впровадження систем автоматизації та енергоменеджменту. Комісія, формуючи політику в сфері енергоспоживання, підкреслює, що будівлі є найбільшим споживачем енергії в ЄС і водночас мають найбільший потенціал для скорочення кінцевого споживання без втрати комфорту, що й обумовлює особливу увагу до енергоефективності як до стратегічного пріоритету на період до 2050 року [2, с. 49].

Як стверджує І. Заремба, наразі сектор нерухомості в Україні споживає близько 40% усієї енергії, водночас значна її частина втрачається внаслідок використання застарілих технологій будівництва та експлуатації. Переважна більшість житлового та громадського фонду характеризується низьким рівнем теплоізоляції та неефективністю систем опалення і вентиляції, що призводить до

надмірно високих витрат на енергоресурси [16, с. 12]. Як уже було згадано, ситуація ускладнилася через воєнні дії, внаслідок яких значно пошкоджено енергетичну інфраструктуру країни, що спричинило системні перебої у постачанні газу, електроенергії та тепла.

Ще одним фактором загострення енергетичної кризи став перехід української економіки на ринкові засади, ключовим проявом якої стала низька ефективність функціонування паливно-енергетичного комплексу. Внаслідок цього енергоємність національного виробництва критично зросла, перевищуючи світові показники у 2-4 рази. Ця ситуація негативно впливає на економічний розвиток держави, вимагаючи негайного втручання. Таким чином, енергоефективність та енергозбереження є пріоритетними та найбільш результативними стратегічними напрямками для мінімізації дефіциту паливно-енергетичних ресурсів та підвищення конкурентоспроможності як окремих регіонів, так і країни загалом [20, с. 227].

Для ефективного подолання викликів, пов'язаних з енергоефективністю, науковці та практики пропонують комплекс інструментів як фінансово-економічного, так і інформаційно-просвітницького характеру. Зокрема, як зазначають І. Дашко та Д. Крилов, серед ключових механізмів підтримки енергоефективності на рівні держави виділяють: фінансове стимулювання (застосування податкових пільг, надання пільгового фінансування для енергоефективних проєктів та субсидування енергоаудитів) та технічну підтримку (сприяння у впровадженні систем енергоменеджменту та надання консультаційних послуг) [5, с. 109-110].

Основним бар'єром на шляху до підвищення енергоефективності для власників житла та бізнесу в Україні є необхідність забезпечення значних початкових капіталовкладень на термомодернізацію будівель. Цей виклик спричинений трьома основними чинниками: високою вартістю необхідних матеріалів та монтажних робіт, обмеженим доступом до доступного фінансування та тривалим терміном окупності впроваджених енергоефективних заходів. Незважаючи на те, що державні програми підтримки існують, їхня доступність та обсяги фінансування залишаються обмеженими. Наслідком є те,

що значна частина будівель продовжує бути енерговитратною, а отже створює додаткове навантаження на енергосистему країни та збільшує фінансові витрати кінцевих споживачів.

Т. Лівощко упевнений, що для України критично актуальною є проблема вдосконалення законодавчої бази та пошуку дієвих фінансових стимулів. Чинні нормативні акти часто не відповідають сучасним міжнародним стандартам, а механізми підтримки бізнесу, як-от податкові пільги та кредитування, є недостатньо ефективними та обмеженими. Відсутність адекватних стимулів гальмує інвестиції в технології енергозбереження та стримує розвиток відповідного ринку [19, с. 3]. На думку науковця, запровадження чітких регуляторних правил, розробка ефективних фінансових інструментів та активізація державно-приватного партнерства є необхідними умовами для залучення бізнесу та кардинального підвищення енергоефективності будівельного фонду [19, с. 6].

Робота В. Джеджули присвячена основним напрямкам підвищення енергоефективності будівель і споруд в Україні. Науковець стверджує, що комплекс охоплює як фізичну модернізацію об'єктів, так і інноваційне управління енергоспоживанням. Ключовим заходом є тепломодернізація, що передбачає утеплення огорожувальних конструкцій: фасадів, дахів та підвалів, а також заміну вікон і дверей на енергоефективні моделі. Одночасно необхідно проводити оптимізацію систем опалення та вентиляції, що включає установлення індивідуальних теплових пунктів та модернізацію котелень. Важливим сегментом є підвищення енергоефективності освітлення через впровадження сучасних технологій. Стратегічним напрямком вважається використання відновлюваних джерел енергії, зокрема установлення сонячних панелей, теплових насосів та вітрових електростанцій. Це доповнюється автоматизацією та «розумними» технологіями, що реалізуються через упровадження систем енергомоніторингу та розумного управління споживанням енергії. На етапах нового будівництва автор прогнозує активний розвиток енергоефективного будівництва, що вимагає проектування нових об'єктів із суворим дотриманням стандартів енергоефективності та застосування сучасних

матеріалів і технологій. Наостанок, забезпечення успіху неможливе без фінансових та регуляторних стимулів, що включають підтримку державних і місцевих програм, грантів та «зелених» кредитів для імплементації енергоефективних заходів [10, с. 117-118].

В Україні також спостерігається значний дефіцит кваліфікованих фахівців у сфері енергоефективності будівель і споруд, що істотно уповільнює впровадження сучасних технологій та знижує якість реалізації проєктів. На думку О. Овсієнко, цей кадровий голод спричинений низкою взаємопов'язаних проблем: недостатньою кількістю відповідних освітніх програм у закладах вищої освіти, питаннями якості підготовки випускників, браком практичного досвіду у молодих спеціалістів та низькою обізнаністю про кар'єрні перспективи у цій галузі [23, с. 8]. Для ефективного вирішення цієї проблеми необхідно розширювати освітні ініціативи, активно стимулювати професійну перепідготовку вже наявних кадрів та цілеспрямовано залучати молодих спеціалістів у сектор енергоефективності.

Не менш важливою складовою є популяризація енергоефективності та підвищення обізнаності. Недостатня обізнаність значної частини населення України щодо переваг енергозбереження у будівлях та спорудах є суттєвим стримуючим фактором для впровадження енергоефективних рішень. Цей бар'єр формується через брак цілеспрямованих інформаційних кампаній, низький рівень фінансової грамотності та недовіру до довгострокових інвестицій у модернізацію. І. Кукса стверджує, що для корекції цієї ситуації імперативно необхідні активне просвітництво, розширення державних програм підтримки та публічна демонстрація реальних економічних і екологічних вигод від енергозбереження [18, с. 58].

Узагальнюючи вищевказаний матеріал, можна стверджувати, що енергоефективність будівель є стратегічним інструментом енергетичної безпеки, економічної стабільності та екологічної стійкості України. Її актуальність посилюється впливом воєнних дій, енергетичної кризи, високої енергоємності економіки та міжнародних зобов'язань щодо скорочення викидів. Концепт енергоефективності еволюціонував від простого утеплення до розуміння будівлі

як комплексної енергетичної системи, що поєднує конструктивні рішення, інженерні установки, системи автоматизації та відновлювані джерела енергії. Науковці підкреслюють, що глибока реновація, модернізація систем опалення й вентиляції, впровадження «розумних» технологій та енергоменеджменту є основою для скорочення споживання ресурсів і підвищення комфорту. Водночас ситуація ускладнюється значними втратами енергії в будівлях, застосуванням застарілих технологій та пошкодженням енергетичної інфраструктури, що посилює залежність країни від викопних ресурсів і збільшує фінансове навантаження на населення та бізнес.

Бар'єри підвищення енергоефективності мають здебільшого інституційний і соціальний характер. Науковці одностайно наголошують, що подолання цих перешкод потребує комплексної державної політики, яка поєднує фінансове стимулювання, ефективне регуляторне забезпечення, розвиток освітніх програм і професійної перепідготовки, а також активні просвітницькі заходи. У таких умовах енергоефективність постає не просто технічним завданням, а багатовимірною національною стратегією, реалізація якої забезпечує сталий розвиток, конкурентоспроможність та поступову інтеграцію України до європейського енергетичного простору.

1.2. Аналіз вітчизняних та міжнародних нормативних документів з енергетичної ефективності

Аналіз нормативних документів у сфері енергоефективності будівель є необхідним етапом дослідження методик розрахунку цієї галузі у контексті формування сучасної методології оцінювання, проектування та реновації будівельного фонду. Вітчизняна система нормування поступово гармонізується з європейською, що зумовлено як євроінтеграційним курсом України, так і нагальною потребою підвищення енергоефективності для забезпечення енергетичної безпеки та зменшення антропогенного впливу. Міжнародні стандарти задають методичну основу, уніфікують процедури розрахунку та сертифікації, тоді як українські нормативи трансформують їх у практичні механізми регулювання та планування.

Ключовим документом у європейській політиці є Директива 2010/31/ЄС [31] про енергетичні характеристики будівель. Вона визначає вимоги до мінімальних показників енергетичної ефективності, встановлює критерії для будівель із майже нульовим енергоспоживанням, регламентує процедури сертифікації та запроваджує обов'язковий контроль систем опалення та кондиціонування. Директива також вимагає від держав-членів створення довгострокових стратегій модернізації існуючого фонду й уніфікації методів розрахунку енергетичної ефективності на основі спільних європейських стандартів. Її значення полягає в тому, що вона формує нормативну рамку для всіх подальших європейських стандартів і визначає стратегічні орієнтири переходу до низьковуглецевого будівництва.

Стандарт EN 15217:2007 [32] зосереджений на методах вираження енергетичної ефективності та правилах енергетичної сертифікації будівель. У документі описані способи представлення енергетичних показників, класифікаційні шкали, а також формат енергетичних паспортів, який забезпечує порівнюваність будівель за їхніми експлуатаційними характеристиками. Його ключова функція полягає в стандартизації підходів до присвоєння енергетичних класів, що дозволяє проводити об'єктивний аналіз ефективності різних будівель і забезпечує прозорість для власників, інвесторів та контролюючих органів.

Стандарт EN 15603:2008 [33] встановлює правила визначення загального енергоспоживання будівлі. У ньому визначено методи обліку енергії для різних інженерних систем, механізми балансового розподілу енергоресурсів, впливу відновлюваних джерел енергії та формування інтегрального енергетичного рейтингу. Документ дозволяє узгодити різні підходи до обчислення потреби будівлі в енергії та встановлює єдину систему визначення класів енергоефективності на основі повного річного балансу.

Україна здійснює поступове впровадження цих стандартів через гармонізовані документи та оновлені будівельні норми. Відповідниками зазначених європейських стандартів є, зокрема, національні стандарти серії ДСТУ, гармонізовані з ISO та EN, серед яких важливу роль відіграють ДСТУ Б А.2.2-12:2015, що визначає методологію розрахунку енергоспоживання для

опалення, вентиляції, охолодження, освітлення та гарячого водопостачання, та комплекс ДБН, орієнтованих на імплементацію положень Директиви 2010/31/ЄС. Вони адаптують базові принципи EN 15217 і EN 15603 до українського клімату, структури житлового фонду та локальних інженерних рішень, забезпечуючи уніфікований підхід до енергетичної сертифікації та планування реновації будівель.

О. Суходоля в межах своєї роботи повідомляє, що Відповідно до Закону України «Про енергетичну ефективність будівель», яким реалізовано положення Директиви 2010/31/ЄС (EPBD) щодо енергоефективності будівель, встановлення вимог до енергетичної ефективності об'єктів будівництва віднесено до компетенції центрального органу виконавчої влади, що формує державну політику у сфері будівництва, тобто Міністерства розвитку громад та територій, яке затверджує відповідні державні будівельні норми [26, с. 292].

Нормативні показники енергетичної ефективності будівель визначаються з урахуванням вимог до теплотехнічних властивостей огорожувальних конструкцій, а також до енергоефективності інженерних систем (разом із обладнанням) на рівні економічно обґрунтованих значень і диференціюються залежно від функціонального призначення будівлі, її поверховості та виду будівельних робіт (нове будівництво, реконструкція, капітальний ремонт).

Закони України «Про надання будівельної продукції на ринку» та «Про будівельні норми» визначають, що в процесі проектування, спорудження та експлуатації будівель і споруд має бути забезпечене дотримання основних вимог до них з урахуванням їх функцій. Ці основні вимоги деталізуються у будівельних нормах, під час розроблення яких, згідно зі статтею 71 Закону України «Про будівельні норми», необхідно застосовувати параметричний та цільовий методи нормування у будівництві.

В Україні протягом останніх тридцяти років відбувається поетапне формування цілісної та ефективної системи нормування проєктних рішень за показниками енергоефективності будівель. Початковим етапом цього процесу стало суттєве підвищення у 1994–1996 рр. вимог до опору теплопередачі

огороджувальних конструкцій житлових і громадських споруд, що дало змогу посилити базові теплотехнічні показники будівель.

Наступний важливий крок було зроблено у 2006-2007 рр., коли запроваджено ДБН В.2.6-31:2006 [7], які вперше встановили новий підхід до оцінювання енергоефективності будівель через показник питомих тепловитрат та інтегральну оцінку тепловтрат будинку. Саме в цей період на нормативному рівні закріплено поняття енергоефективності будівлі та впроваджено класифікацію будинків за відповідними енергетичними показниками, що забезпечило перехід до комплексного аналізу їх енергетичної поведінки.

У 2008-2010 рр. було створено систему норм і стандартів, що регулюють вимоги й методи контролю енергоефективності [28, с. 53], а у 2012-2014 рр. розпочато процес гармонізації національної нормативної бази з європейськими вимогами шляхом впровадження відповідних стандартів [30, с. 11].

Подальший розвиток відбувся у 2015-2016 рр., коли було здійснено перехід до повноцінного нормування енергоефективності будівель. Нормативні документи цього періоду імплементували положення Директиви EPBD, визначили будівлю як єдину енергетичну систему та встановили вимоги до питомої енергопотребі [8].

У 2017–2018 рр. ухвалено комплекс нормативно-правових актів на виконання вимог Закону України «Про енергетичну ефективність будівель» [21] і положень Директиви щодо енергоефективності будівель [22], що забезпечило нормативне підґрунтя для сучасної системи енергетичного оцінювання.

Завершальним на сьогодні етапом стало впровадження у 2021 р. системних вимог до нормування енергетичних параметрів будівель, – ДБН В.2.6-31:2021 «Теплова ізоляція та енергоефективність будівель» та ДБН В.1.2-11:2021 «Основні вимоги до будівель і споруд. Енергозбереження та енергоефективність», що закріпили оновлені підходи до проєктування, аналізу та контролю енергоефективності.

Г. Фаренюк стверджує, що закладені принципи нормування ґрунтуються на методології розгляду будівлі як єдиної енергетичної системи, що включає теплоізоляційну оболонку та інженерні системи опалення, вентиляції,

охолодження, кондиціонування, гарячого водопостачання й освітлення, які функціонують у взаємозв'язку між собою та з навколишнім кліматичним середовищем [29, с. 185]. Водночас, у подальших дослідженнях науковець доповнює наявну інформацію, стверджуючи, що до національної нормативної бази інтегровано принцип забезпечення теплової надійності огороджувальних конструкцій будівлі та їх складових елементів [36, с. 130].

Подальший розвиток системи технічного регулювання у будівництві відбувається із широким застосуванням параметричного методу нормування, що дає змогу реалізувати системний підхід до розроблення будівельних норм і супровідних національних стандартів та формувати цілісну, узгоджену нормативну базу. Для сфери енергоефективності ієрархічну структуру законодавчо-нормативного забезпечення подано на рис. 1.1.



Рисунок 1.1 – Ієрархічна схема законодавчо-нормативної бази енергетичної ефективності [17, с. 95]

Нормативний документ ДБН В.1.2-11 [6] виконує функцію методологічної основи для забезпечення енергоефективності та раціонального використання

енергії на всіх етапах життєвого циклу будівель: проєктування, зведення та експлуатації. Ключовим завданням цих норм є формування ієрархії цілей і завдань, а також встановлення вимог та критеріїв, що визначають безпеку, функціональність та якість об'єктів. Таким чином, ДБН В.1.2-11 встановлює основні вимоги і формулює рамкові принципи для всіх наступних нормативних актів та документів у галузі енергоефективності.

ДБН В.1.2-11 є обов'язковою підставою для розроблення спеціалізованих будівельних норм з урахуванням функціонального призначення різних типів будівель, а також для створення нормативних документів на конструктивні та інженерні системи. Їх ієрархічну структуру наведено на рис. 1.2.

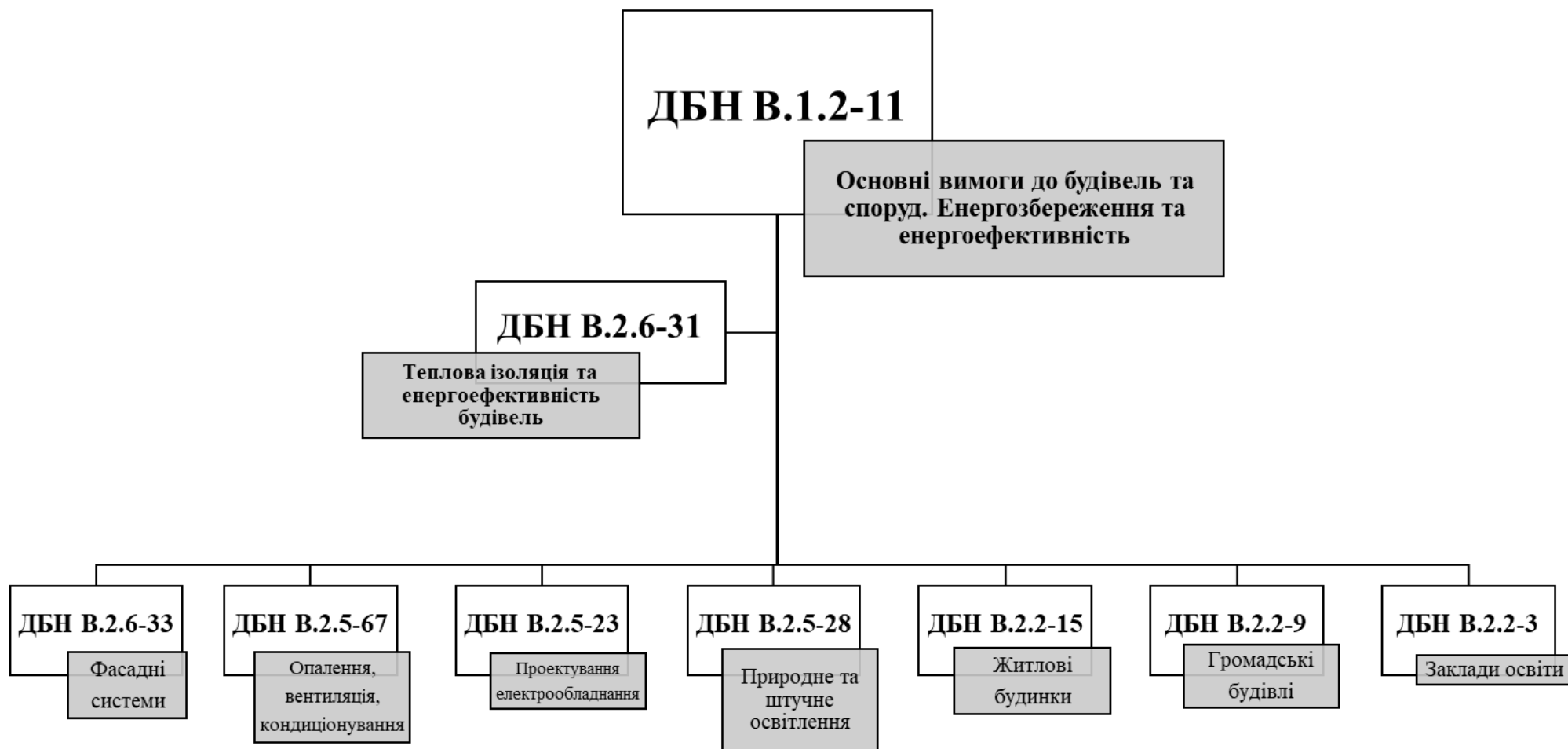


Рисунок 1.2 – Ієрархічна система державних будівельних норм, що регламентують галузь енергетичної ефективності [6]

У ДБН В.1.2-11 сформульовано фізичний зміст основної вимоги щодо економії енергії та забезпечення енергоефективності будівель. Згідно з цим документом, будівлі й споруди мають бути придатними для використання за функціональним призначенням за умови гарантування безпеки життя і здоров'я людей, збереження майна, а також захисту тварин і рослин від небезпек, пов'язаних із впливом надто низьких або високих температур, дефіциту чистого повітря та ненадійної роботи інженерного обладнання протягом усього життєвого циклу об'єкта. Проектування і зведення будівель повинні здійснюватися таким чином, щоб упродовж економічно доцільного строку експлуатації за умови дотримання нормативних вимог до внутрішнього мікроклімату та умов перебування і діяльності людей забезпечувалося раціональне й ощадливе використання енергоресурсів під час безпечної роботи систем опалення, вентиляції, кондиціонування, гарячого водопостачання та освітлення.

Нормативний документ ДБН В.1.2-11 уперше на регуляторному рівні визначає перелік енергетичних потоків, які обов'язково підлягають урахуванню під час оцінювання енергоефективності будівель. Енергетичні характеристики об'єкта будівництва розглядаються через витрати енергії, необхідної для його експлуатації від певного джерела з метою забезпечення комфортного режиму в приміщеннях. При цьому враховуються:

- обсяг енергії, необхідної для підтримання нормативних теплових умов при опаленні, охолодженні та освітленні будівлі, що визначається за встановленими розрахунковими методами;
- теплові надходження від сонячної радіації, у тому числі ефекти пасивного опалення, охолодження та природної вентиляції;
- балансні енергетичні показники перших двох складових з урахуванням теплоізоляційних властивостей огорожувальних конструкцій;
- кількість енергії, підведеної до будівлі і зафіксованої для кожного виду енергоносія (електроенергія, теплова енергія для гарячого водопостачання, енергія з відновлюваних джерел, когенераційні установки тощо);

- обсяг відновлюваної енергії, виробленої безпосередньо на території, що прилягає до будівлі;
- частина цієї відновлюваної енергії, яка передається у зовнішні мережі на ринкових умовах;
- кількість первинної енергії, використаної для забезпечення потреб будівлі, або відповідний обсяг викидів CO₂.

На основі врахування зазначених енергетичних потоків формулюється поняття енергоефективності будівлі як здатності будівлі, її конструктивних елементів та інженерних систем упродовж проектного життєвого циклу забезпечувати побутові потреби користувачів та оптимальні параметри мікроклімату приміщень за умови нормативно допустимого (оптимального) рівня витрат енергоресурсів на опалення, освітлення, вентиляцію, кондиціонування повітря й гаряче водопостачання з урахуванням місцевих кліматичних умов. Критерієм раціонального використання енергії виступає інтегральний показник енергетичної ефективності будівлі, який задає граничні значення відповідного індикатора і застосовується на всіх стадіях життєвого циклу: під час проектування, будівництва, введення в експлуатацію та подальшої експлуатації споруди.

Відповідно до європейських методичних підходів до визначення показників енергоефективності будівель, імплементованих в українську нормативну базу [32; 33], енергетичний стан будівлі характеризується системою взаємопов'язаних показників: енергопотребою EP_{nd} , енергоспоживанням EP_{use} , поставленою енергією EP_{del} , первинною енергією EP та масою викидів парникових газів mCO_2 .

Енергопотреба будівлі EP_{nd} розглядається як показник, що відображає кількість теплової енергії, яку необхідно подати в кондиціонований об'єм (або відвести з нього) для забезпечення нормованих теплових умов мікроклімату, і є кількісною характеристикою внутрішньої здатності будівлі споживати енергетичні потоки для виконання її функцій.

Показник енергоспоживання EP_{use} демонструє, який фактичний обсяг енергії споживатиме будівля з урахуванням запроєктованих інженерних систем і

теплоізоляційних властивостей огорожувальної оболонки для покриття своєї енергопотреби. Таким чином, енергопотреба є базовою, «внутрішньою» характеристикою будівлі, що визначає її енергетичні властивості, тоді як енергоспоживання виступає похідним показником, залежним від системи технічного оснащення. Це положення є ключовим фізичним і методичним принципом нормування показників енергоефективності.

Методика визначення енергетичної ефективності будівель [21] була спрямована насамперед на оцінювання енергоспоживання будівлі та встановлювала нормативні граничні значення, на основі яких здійснювалися енергетична оцінка та класифікація будівель. Однак під час її ухвалення ці межі були визначені занадто поспішно, без належного наукового обґрунтування. Надалі цей недолік усунено Наказом Міністерства розвитку громад та територій України [24], що дало змогу узгодити енергетичну оцінку й класифікацію будівель з економічно оптимальними значеннями, визначеними відповідно до Методики визначення економічно доцільного рівня енергетичної ефективності будівель [22] та чинного стандарту [14], для еталонних типів будівель [13].

Неправильне трактування фізичного змісту показника EP_{use} часто стає причиною отримання некоректних результатів під час проведення енергетичних аудитів, а відтак – і хибних висновків щодо рівня енергоефективності та неправильної класифікації будівель. У багатьох випадках основним документом, на який спираються при енергоаудиті, є стандарт ДСТУ 9190:2022 [11]. Цей документ, розроблений близько п'ятнадцяти років тому, регламентує лише методи та спрощені процедури вимірювань необхідних параметрів під час енергетичного обстеження будівлі. Такі обстеження зазвичай проводяться за випадкових умов теплового режиму будівлі, і навіть за наявності певної вибірки таких умов недостатньо детальне їх врахування створює високі ризики впливу суб'єктивних чинників на результати вимірювань.

Отже, міжнародні та національні нормативні документи у сфері енергоефективності формують цілісну систему, яка поєднує стратегічні вимоги до декарбонізації будівельного фонду з конкретними методами розрахунку й сертифікації. Для України їхнє значення полягає в забезпеченні нормативної

сумісності з ЄС, підвищенні прозорості енергетичних характеристик будівель і створенні науково-методичної основи для модернізації будівельного сектору.

1.3. Проблематика методик розрахунку енергоефективності будівель та постановка задачі дослідження

Методики розрахунку енергоефективності будівель є ключовим інструментом для досягнення сучасних цілей у сфері раціонального використання енергоресурсів, декарбонізації економіки та підвищення комфорту користувачів. Вони визначають формалізований підхід до оцінювання річного та сезонного енергоспоживання будівлі, а також дозволяють прогнозувати вплив конструктивних рішень, інженерних систем, кліматичних умов і режимів експлуатації на фактичні енергетичні характеристики. Саме ці методики формують основну науково-технічну базу для розробки норм, стандартів, енергетичних сертифікатів та інвестиційних рішень, що стосуються модернізації будівельного фонду. Тому їх точність, узгодженість і актуальність є критичними для належного регулювання та практичного впровадження політики енергоефективності.

Значення аналізу методик полягає не лише в можливості отримати чисельні значення енергоспоживання будівель. К. Ущатовський стверджує, що розрахункова методологія встановлює принципи визначення енергетичного балансу споруди, враховує різноманітні джерела енергії, визначає розподіл потоків теплоти, а також задає формальні алгоритми для оцінки теплових втрат, теплових надходжень та ефективності інженерних систем [27, с. 198]. Розрахункові схеми є також інструментом порівняння будівель між собою, визначення класу енергоефективності та обґрунтування доцільності впровадження тих чи інших інноваційних заходів. Вони дозволяють інженерам, архітекторам, проєктувальникам та енергетичним аудиторам застосовувати уніфікований підхід, що забезпечує відтворюваність результатів незалежно від типу будівлі, її локації чи особливостей експлуатації. Водночас методики, якщо вони недостатньо адаптовані або узгоджені, можуть створювати суттєві похибки,

ускладнювати процес сертифікації, або призводити до суперечливих результатів для одного й того ж об'єкта.

Проблематика методик розрахунку енергоефективності полягає насамперед у відмінностях між національними та міжнародними нормативними підходами. Україна, перебуваючи в процесі глибокої та системної гармонізації стандартів, одночасно користується як власними нормативними документами, що відображають локальні особливості клімату й будівельних традицій, так і міжнародними стандартами, на основі яких формуються європейські вимоги. Ця ситуація створює необхідність аналізу відповідності, виявлення розбіжностей та пошуку шляхів інтеграції різних методологічних підходів. Без належної узгодженості виникає ризик появи помилок у розрахунках, некоректного визначення енергетичного класу будівлі, необґрунтованих інвестиційних рішень або навіть невідповідності сертифікатів міжнародним вимогам.

Особливої уваги потребує порівняння українських методик з новим поколінням європейських стандартів EPB (Energy Performance of Buildings), серед яких провідне місце займає стандарт ISO 52016-1:2017. Він замінив попередні стандарти, включно з EN ISO 13790, та пропонує більш точний, динамічний підхід до визначення потреби в теплі та холоді, внутрішніх температур і теплових навантажень. У той час як український стандарт ДСТУ Б А.2.2-12:2015 зберігає логіку попередніх європейських методик і широко застосовує спрощені схеми, ISO 52016-1 надає можливість проводити детальні годинні розрахунки, враховуючи інсоляцію, акумуляцію тепла, поведінку користувачів та взаємодію інженерних систем. Така відмінність створює певний розрив між підходами до моделювання енергоспоживання, який потребує дослідження й адаптації.

Порівняння методик важливе ще й тому, що ISO 52016-1:2017 задає сучасний стандарт точності, що застосовується в країнах ЄС для сертифікації будівель, визначення класу енергоефективності та розробки інвестиційних проєктів. Перехід до використання моделей, заснованих на даному стандарті, дозволяє зменшити похибки й отримувати результати, що краще відображають реальну поведінку будівлі. Це особливо важливо в умовах високої варіативності

кліматичних умов та зростання ролі систем автоматизації, відновлюваних джерел енергії й «розумних» технологій управління. У таких умовах спрощені методики, що базуються на сезонних або місячних розрахунках, стають менш точними й не дозволяють виявити динаміку теплових процесів у реальному часі.

Українська методика, закріплена в ДСТУ Б А.2.2-12:2015, забезпечує багатокомпонентний підхід до визначення енергоспоживання для опалення, охолодження, вентиляції, освітлення та гарячого водопостачання. Вона використовує адаптовані до українського клімату параметри, містить розділи, присвячені кліматичним даним, коефіцієнтам теплопередачі, вентиляції та коригувальним параметрам експлуатації. Методика дозволяє здійснювати сезонні та місячні розрахунки, що є достатнім для оцінки стандартних будівель. Проте її структура не містить механізмів точного моделювання коливань температури протягом доби, а також врахування динаміки взаємодії різних систем будівлі. Це може призводити до відхилень у прогнозах, особливо для сучасних енергоефективних будівельних рішень, які використовують багатокомпонентні системи керування, рекуперацію тепла та інші інновації.

ISO 52016-1:2017, на відміну від ДСТУ, застосовує новітню концепцію динамічних розрахунків, що дає змогу враховувати вплив сонячної радіації, накопичення теплової енергії у будівельних конструкціях, поведінку користувачів та роботу інженерних систем із високою точністю. Стандарт охоплює широкий спектр сценаріїв, включаючи динамічне опалення та охолодження, гнучкі режими експлуатації та зміну кліматичних параметрів протягом дня. Значною перевагою ISO 52016-1 є можливість використання годинних та спрощених методів, що дозволяє адаптувати розрахунок залежно від мети — від високоточного інженерного аналізу до стандартної сертифікації. Це робить стандарт універсальним інструментом, який охоплює як потреби великих проєктних компаній та інженерів, так і вимоги органів державної влади щодо енергетичної сертифікації будівель.

Порівняльний аналіз показує, що попри методологічні відмінності, ДСТУ Б А.2.2-12:2015 та ISO 52016-1:2017 мають спільну основу. Обидва документи передбачають визначення енергетичного балансу через урахування тепловтрат,

теплових надходжень, впливу клімату та поведінки систем опалення чи охолодження. Методики базуються на принципах енергетичної рівноваги та потребують точних кліматичних даних. Вони покликані забезпечити уніфікований підхід до визначення енергоспоживання незалежно від типу будівлі або системи опалення, що робить їх сумісними у базових принципах, хоча і різними у ступені деталізації та складності.

Проте відмінності є важливими у контексті подальшого розвитку української нормативної бази. Для того щоб відповідати сучасним європейським вимогам і створити умови для повноцінної інтеграції до ЄС, методики необхідно узгодити, адаптувати або замінити на новітні стандарти. В іншому випадку Україна ризикує опинитися у ситуації, коли її національна система сертифікації не відповідає міжнародним критеріям, а результати енергоаудиту не визнаватимуться на міжнародному рівні. Це ускладнить реалізацію проєктів з енергоефективності, залучення інвестицій та доступ до європейських фінансових інструментів, таких як «зелений» кредит чи грантові програми на термомодернізацію.

У цьому контексті особливо важливим стає визначення проблем, що виникають при використанні різних методик розрахунку. На думку А. Іскакова, до найбільш поширених належать: різниця в масштабах часових кроків, відсутність у національних методиках моделювання динамічних процесів, спрощення при розрахунках вентиляції та охолодження, відмінності у врахуванні внутрішніх тепловиділень та сонячних теплових надходжень [17, с. 91]. Важливо також зазначити, що ДСТУ не включає комплексне моделювання інтегрованих систем відновлюваної енергетики, тоді як стандарти серії ISO 52000 та ISO 52016 передбачають широкий набір інструментів для оцінки гібридних систем теплопостачання, теплових насосів та інших технологій.

З огляду на вищезазначене, виникає потреба у проведенні системного дослідження, спрямованого на встановлення відповідності між національними та міжнародними методиками, а також на визначення шляхів гармонізації та оптимізації українських нормативів. Таке дослідження дозволить підвищити точність розрахунків, забезпечити їх відтворюваність, узгодити процедури

сертифікації та підвищити конкурентоспроможність української системи нормування. Воно також сприятиме імплементації кращих європейських практик у сфері енергоефективності та створить основу для модернізації нормативної бази.

По-перше, гармонізація методологічної бази є необхідною умовою відповідності міжнародним стандартам, без чого неможливо забезпечити інтегрованість української системи сертифікації у європейський енергетичний простір. У країнах ЄС енергоефективність будівель оцінюється відповідно до стандартів нового покоління EPB, які забезпечують високу точність розрахунків та ґрунтуються на динамічних моделях. Якщо українська методика не буде узгоджена зі стандартами ISO 52016-1 та пов'язаними документами серії ISO 52000, розбіжності між результатами розрахунків неминуче зростатимуть, що призведе до низки практичних проблем: неуніфікованих енергетичних сертифікатів, різної інтерпретації класів енергоефективності, зниження довіри до результатів енергоаудитів і труднощів у залученні інвестицій.

По-друге, узгодження методик є критично важливим з огляду на модернізацію українського житлового фонду та масштабні програми відбудови після руйнувань енергетичної та будівельної інфраструктури. Розрахунки, виконані на основі застарілих чи фрагментованих методів, можуть призвести до неправильного визначення енергетичного потенціалу будівлі, необґрунтованих проєктних рішень або заниження фактичної ефективності модернізаційних заходів. У свою чергу, застосування узгодженої методології дозволить стандартизувати вимоги до новобудов і реновацій, забезпечити точне прогнозування економічного ефекту та підвищити якість проєктування й експлуатації будівель. Це є надзвичайно важливим в умовах зростання вартості енергоносіїв, необхідності оптимізації державних та приватних інвестицій і переходу до низьковуглецевої економіки.

По-третє, дослідження узгодженості методик дозволяє подолати наявні розриви між науковою теорією, нормативною практикою та реальним застосуванням розрахунків у проєктуванні. Наявна ситуація, коли різні фахівці користуються різними підходами (спрощеними, місячними або деталізованими

розрахунками), створює ризики непорівнюваності даних і суттєвої різниці в результатах для ідентичних будівель. Вивчення взаємної відповідності української та міжнародної методології дає змогу оцінити масштаби таких розбіжностей, окреслити найбільш критичні точки невідповідності й визначити напрями вдосконалення нормативної бази. Це сприятиме формуванню науково обґрунтованої, структурованої та цілісної системи розрахунку енергетичних характеристик, яка відповідає як європейським тенденціям, так і потребам українського ринку.

У сукупності ці фактори обґрунтовують, чому дослідження узгодженості методик розрахунку є актуальним, стратегічно важливим і науково доцільним. Саме на підставі цього обґрунтування можна сформулювати наукову задачу магістерської роботи: дослідження узгодження методик розрахунку енергоефективності будівель у відповідності з стандартизованими вітчизняними та міжнародними нормативними документами.

РОЗДІЛ 2

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ВІТЧИЗНЯНИХ ТА ЗАРУБІЖНИХ МЕТОДИК РОЗРАХУНКУ ПАРАМЕТРІВ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ

В межах сучасних нормативних документів, що регламентують енергоефективність будівель, провідна ідея розрахунку полягає в побудові енергетичного балансу будівлі або її зони, який відображає взаємодію тепловтрат і теплових надходжень. У загальному вигляді річна потреба в тепловій енергії на опалення визначається через різницю між втратами теплоти через огорожувальні конструкції та вентиляцію і корисними тепловими надходженнями від сонячної радіації та внутрішніх джерел, тобто описується співвідношенням [35]

$$Q_{H,need} = H_{tot} \cdot (\theta_{int,set} - \theta_{e,avg}) \cdot t - \eta_{gains} \cdot Q_{gains} \quad (2.1)$$

де H_{tot} є сумарним коефіцієнтом теплопередачі та вентиляційних втрат, $\theta_{int,set}$ – розрахункова внутрішня температура, $\theta_{e,avg}$ – середня зовнішня температура за розрахунковий період, t – тривалість періоду в годинах, Q_{gains} – сумарні внутрішні та сонячні теплові надходження, η_{gains} – коефіцієнт їх корисного використання.

У методиках, які використовують місячний період (або крок), таких як традиційні реалізації розрахунку за українськими нормативами і похідні від EN ISO 13790, ці параметри осереднюються за місяць, і формула застосовується окремо для кожного місяця з подальшим підсумовуванням річної потреби в енергії.

У міжнародних стандартах нового покоління, насамперед ISO 52016-1:2017, вищезгаданий енергетичний баланс уточнюється і деталізується шляхом переходу від місячних до годинних розрахунків, що дозволяє безпосередньо враховувати зміни зовнішніх кліматичних умов, сонячної радіації, режимів роботи систем опалення та охолодження і поведінки користувачів. Формально це означає, що замість усереднених за місяць температур $\theta_{e,avg}$ використовується

годинний масив значень $\theta_e(t)$, а коефіцієнти теплопередачі та теплових надходжень вбудовуються у систему диференціальних або різницевих рівнянь теплового балансу, які пов'язують зміну внутрішньої температури $d\theta_{int}/dt$ із різницею між миттєвими втратами і надходженнями тепла. У тексті ISO 52016-1 вказано, що методика розрахунку параметрів енергоефективності підлягає обчисленню як у місячному, так і в годинному режимах. Проте саме годинний метод є базовим для оцінки динамічних процесів у будівлі, зокрема внутрішніх температур і теплових навантажень систем опалення та охолодження.

2.1. Методологічні засади основоположних українських нормативних документів

Українська нормативна база з енергетичної ефективності будівель побудована навколо розрахункового методу оцінки річного енергоспоживання на опалення, охолодження, вентиляцію, освітлення та гаряче водопостачання, який був уперше системно сформульований у стандарті ДСТУ Б А.2.2-12:2015 «Енергетична ефективність будівель. Метод розрахунку енергоспоживання при опаленні, охолодженні, вентиляції, освітленні та гарячому водопостачанні», а зараз оновлений і замінений стандартом ДСТУ 9190:2022 з аналогічною назвою та розширеним змістом. Обидва документи містять єдиний підхід до визначення річних витрат енергії для житлових та громадських будівель, які проєктуються або вже введені в експлуатацію, і використовуються як основа для енергетичної сертифікації відповідно до затверджених методик визначення енергетичної ефективності будівель. Методологія вищевказаних нормативних документів тісно пов'язана з вимогами ДБН та настановою ДСТУ-Н Б А.2.2-13:2015, де деталізовано підхід до енергетичної оцінки будівель, а також з будівельною кліматологією за ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010, що задає кліматичні дані для розрахунків. Таким чином, українська система спирається на цілісну сукупність документів, але центральним математичним «ядром» є саме розрахунок річних енергетичних потреб за ДСТУ Б А.2.2-12 та ДСТУ 9190, які реалізують квазістаціонарний, переважно місячний підхід.

Загалом український стандарт представляє розрахунок річної потреби в тепловій енергії на опалення будівлі як суму потреб за окремі розрахункові періоди (основною складовою яких є місяці опалювального сезону). Для кожного місяця потреба в теплі визначається як різниця між тепловтратами через огорожувальні конструкції та вентиляцію і корисними тепловими надходженнями від сонячної радіації та внутрішніх джерел. Ця логіка узгоджується з підходами стандарту EN ISO 13790 і реалізує стаціонарний баланс для усереднених за місяць умов. У спрощеній формі місячна потреба в теплі на опалення для певного місяця m може бути подана як [11]:

$$Q_{H,nd,m} = (H_{T,m} + H_{V,m}) \cdot (\theta_{int,set} - \theta_{e,m}) \cdot t_m - \eta_{g,m} \cdot Q_{g,m} \quad (2.2)$$

де $Q_{H,nd,m}$ є потребою в теплі на опалення, $H_{T,m}$ – сумарний коефіцієнт теплопередачі огорожувальних конструкцій за місяць, $H_{V,m}$ – коефіцієнт втрат через вентиляцію та інфільтрацію, $\theta_{int,set}$ – розрахункова внутрішня температура, $\theta_{e,m}$ – середня зовнішня температура за місяць, t_m – тривалість місяця в годинах, $Q_{g,m}$ – місячні теплові надходження, $\eta_{g,m}$ – коефіцієнт корисного використання надходження тепла.

Річна потреба визначається шляхом підсумовування результатів за всі місяці опалювального періоду, тобто [11]:

$$Q_{H,nd,year} = \sum Q_{H,nd,m} \quad (2.3)$$

Ця структура ілюструє ключову рису української методики: усі змінні зовнішнього середовища та експлуатаційні параметри в межах місяця замінюються їх усередненими значеннями, що дозволяє уникнути розв'язування диференціальних рівнянь та працювати з простими алгебраїчними співвідношеннями.

Сумарний коефіцієнт теплопередачі $H_{T,m}$ у стандарті пов'язаний із площами огорожувальних конструкцій та їхніми коефіцієнтами теплопередачі.

Для кожного елемента оболонки будівлі (стіна, покрівля, перекриття, підлога, вікно) визначається добуток від перемноження коефіцієнта теплопередачі U_i та площі A_i , після чого всі такі добутки сумуються. Таким чином, для сукупності огорожень n [11]

$$H_T = \sum(U_i \cdot A_i) \quad (2.4)$$

В окремих випадках у H_T додатково можуть бути враховані містки холоду через лінійні та точкові теплопровідні включення, але в базовому формулюванні ДСТУ основними є саме площинні огороження. Параметр H_V визначається через витрату повітря на вентиляцію та інфільтрацію V та теплоємність повітря, і в найбільш поширеному вигляді може бути заданий рівнянням [11]:

$$H_V = \rho_{air} \cdot c_{p,air} \cdot V \quad (2.5)$$

де ρ_{air} є густиною повітря, $c_{p,air}$ – його питомою теплоємністю, а V – розрахунковою витратою повітря ($\text{м}^3/\text{с}$), що включає інфільтраційні й нормативні вентиляційні витрати. Усі ці величини в українській методиці трактуються як сталі протягом розрахункового місяця, а зміна зовнішньої температури усереднюється через величину $\theta_{e,m}$, яка береться з кліматичних таблиць або ж формується на основі будівельної кліматології.

Окремої уваги заслуговує спосіб врахування сонячного випромінювання та внутрішніх джерел генерування тепла. В українських методиках вони подаються через місячну суму теплових надходжень $Q_{g,m}$, яка складається з частки сонячної радіації, що надходить крізь прозорі огороження, та тепловиділень від людей, побутових приладів, освітлення та технологічного обладнання. Загалом можна записати [11]:

$$Q_{g,m} = Q_{sol,m} + Q_{int,m} \quad (2.6)$$

де $Q_{sol,m}$ – надходження тепла від сонячної радіації, $Q_{int,m}$ – внутрішні тепловиділення.

Надходження тепла від сонячної радіації розраховуються шляхом множення площі світлопрозорих огорожень A_{gl} на місячну суму сонячної радіації за умов відповідної орієнтації та коефіцієнтів пропускання й затінення. Внутрішні надходження (надходження тепла від внутрішніх джерел) визначаються за нормативними значеннями питомих тепловиділень на одиницю площі чи за даними про реальні режими експлуатації. Коефіцієнт $\eta_{g,m}$ відображає те, що не всі надходження можуть бути використані для зниження потреби в опаленні: частина надходжень призводить до перегріву або втрачається через вентиляцію та теплопередачу. У ДСТУ для $\eta_{g,m}$ застосовують емпіричні залежності або таблиці, які також ґрунтуються на стаціонарних припущеннях і усереднених коефіцієнтах.

Розрахунок тепловтрат через огороження та вентиляцію в українських методиках часто інтерпретується через градусо-години або градусо-добу, що додатково підкреслює її квазістаціонарний характер. Якщо різниця між внутрішньою та зовнішньою температурою $\Delta\theta_m = \theta_{int,set} - \theta_{e,m}$ вважається постійною в межах місяця, то добуток $\Delta\theta_m \cdot t_m$ є еквівалентним сумі градусо-годин за місяць. Тоді потреба в теплі на опалення може бути записана [11]:

$$Q_{H,nd,m} = H_{T,eq} \cdot HDD_m \quad (2.7)$$

де $H_{T,eq}$ – еквівалентний коефіцієнт теплопередачі, а HDD_m – місячні опалювальні градусо-години.

Така форма є типовою для стаціонарних моделей, оскільки перетворює часову залежність у один усереднений параметр HDD_m , що не містить детальної інформації про короткочасні коливання температури зовні та внутрішню динаміку будівлі.

Важливим аспектом української методики є її застосування у нормативних документах щодо енергетичної сертифікації. Затверджена «Методика визначення енергетичної ефективності будівель» прямо посилається на ДСТУ Б А.2.2-12 (після 2023 року – на ДСТУ 9190) як на джерело основних розрахункових формул та алгоритмів, що визначають енергоспоживання будівлі для опалення,

охолодження, вентиляції, освітлення та гарячого водопостачання. У межах цієї методики результати розрахунків перетворюються на питомі показники, наприклад, річну потребу в енергії на опалення у $\text{kВт} \cdot \text{год}/\text{м}^2$ корисної площі, які порівнюються з нормативними граничними значеннями для присвоєння будівлі відповідного класу енергоефективності.

Таким чином, вибір саме місячного, стаціонарного підходу безпосередньо впливає на те, як будуть виглядати сертифікати, і які рішення будуть прийняті щодо реновації та модернізації.

Статичність українських методик проявляється і в тому, яким чином вони враховують режими роботи інженерних систем. У формулах для енергоспоживання на опалення та охолодження передбачається, що система підтримує розрахункову внутрішню температуру $\theta_{int,set}$ протягом усього опалювального або охолоджувального періоду, а зниження температури в неробочий час, нічні зниження або гнучкі графіки роботи систем, характерні для сучасних будинків з автоматизованим керуванням, враховуються через узагальнені коригувальні коефіцієнти.

Наприклад, режим переривчастого опалення може враховуватися через поправки до ефективної внутрішньої температури або через зниження тривалості опалювального періоду t_m , але сама структура енергетичного балансу лишається стаціонарною. Це суттєво відрізняється від динамічних підходів, де зміна режимів опалення та охолодження описується як функція часу, і внутрішня температура є змінною, яка визначається розв'язуванням системи рівнянь теплового балансу.

Щоб конкретизувати статичний характер української методики, доцільно розглянути спрощений приклад оцінки потреби в тепловій енергії на опалення для окремої будівлі в січні. Припустимо, що для будівлі визначені площі огорожувальних конструкцій і їхні коефіцієнти теплопередачі, у результаті чого отримано $H_T = 250 \text{ Вт}/\text{К}$. За даними кліматології, середня зовнішня температура січня для заданого населеного пункту становить $\theta_{e,jan} = -3^\circ\text{C}$, а розрахункова внутрішня температура приймається $\theta_{int,set} = 20^\circ\text{C}$. Тоді середня різниця температур $\Delta\theta_{jan} = 23 \text{ К}$. Тривалість січня $t_{jan} = 24 \cdot 31 = 744 \text{ год}$. Витрати на

вентиляцію та інфільтрацію дають додатковий внесок $H_V = 80$ Вт/К, тож сумарний коефіцієнт тепловтрат становить $H_T + H_V = 330$ Вт/К. Якщо нехтувати тепловими надходженнями, місячна потреба в теплі становитиме:

$$Q_{H,nd,jan} = 330 \cdot 23 \cdot 744 = 5,64 \cdot 10^6 \text{ Вт} \cdot \text{год}$$

що дорівнює приблизно 5640 кВт·год. У реальному розрахунку ДСТУ додає до цієї формули параметри $Q_{g,jan}$ та $\eta_{g,jan}$, але всі величини $\theta_{e,jan}$, H_T , H_V , $\eta_{g,jan}$ будуть сталими в межах місяця, а часовий вимір увійде лише у вигляді множника t_{jan} . У цьому й полягає суть статичності: фундаментальні рівняння не відстежують розвиток процесів у часі, а працюють із інтегральними, усередненими показниками.

Подібна логіка застосовується й до інших компонентів енергоспоживання – охолодження, вентиляції, освітлення та гарячого водопостачання. Стандарт ДСТУ 9190:2022 розширює та актуалізує попередні формули, але зберігає загальний місячний підхід і орієнтацію на річні інтегральні показники, пов'язані з корисною, первинною та кінцевою енергією.

Наприклад, під час оцінки енергії на охолодження також застосовуються середні добові або місячні значення зовнішньої температури понад певну базову температуру, а теплові надходження від сонячної радіації й внутрішніх джерел подаються через інтегральні місячні величини. Це дозволяє зберегти єдину математичну структуру для різних видів енергії, але водночас означає, що короткочасні піки навантаження, які мають велике значення для розрахунку необхідної потужності обладнання та оцінки комфортності, залишаються поза увагою.

На основі аналізу української нормативної методики можна зробити проміжний висновок, що її «статичність» є результатом трьох ключових методичних рішень.

По-перше, усі зовнішні та внутрішні впливи усереднені за тривалими інтервалами часу (місяць або сезон), що переводить реальний динамічний тепловий процес у набір стаціонарних задач, розв'язуваних для умов «звичайного дня» або «звичайного місяця».

По-друге, тепловий стан будівлі описується не через зміну внутрішньої температури, як функції часу, а через підтримання фіксованої розрахункової температури, яку забезпечують системи опалення та охолодження, тоді як різні режими роботи систем враховуються лише коригувальними коефіцієнтами.

По-третє, взаємодія між огорожувальними конструкціями та інженерними системами не розкладається на часові кроки, а подається через інтегральні коефіцієнти. Вони зручні в межах нормативного застосування, але не дозволяють описати реальну внутрішню термічну інерційність будівельних конструкцій.

Саме такі характеристики українських методик розрахунку параметрів енергоефективності можуть слугувати відправною точкою для порівняння статичного та динамічного підходів, зокрема для пояснення, яким чином у сучасних міжнародних документах час входить у розрахунок через годинні значення температур, сонячної радіації, теплових навантажень і режимів роботи систем, а внутрішня температура та теплові потоки розглядаються як змінні величини, що визначаються з розв'язання системи рівнянь теплового балансу.

2.2 Міжнародне нормативне забезпечення розрахунку параметрів енергоефективності будівель

Міжнародний стандарт ISO 52016-1:2017 належить до нового покоління документів серії EPB (Energy Performance of Buildings), створених Європейським комітетом зі стандартизації для формування комплексної, уніфікованої методичної основи оцінки енергетичної ефективності будівель. Його поява стала результатом глибокого перегляду попередніх підходів, що ґрунтувалися на місячних або сезонних стаціонарних моделях, і відображає загальну тенденцію переходу до точних, часово залежних методів моделювання, здатних адекватно врахувати мінливість клімату, поведінкові фактори та динаміку роботи інженерних систем. Стандарт визначає методи розрахунку потреб у теплі та холоді, внутрішніх температур, а також річних теплових навантажень HVAC-систем, передбачаючи застосування як спрощених, так і детальних годинних розрахунків. У цьому полягає його універсальність: одна методологічна база

може бути використана і для базового енергетичного сертифікату, і для складного проектного моделювання систем тепlopостачання.

Основою ISO 52016-1 є детальний баланс енергії будівельної зони, побудований на фундаментальних принципах теплопередачі, що враховує теплові потоки через огорожувальні конструкції, теплові надходження від сонячної радіації, внутрішні тепловиділення, роботу інженерних систем і накопичення тепла в конструкціях будівлі. На відміну від українського підходу, де розрахункові значення усереднені за місяць, міжнародна методика розраховує процес для кожної години року, що дозволяє простежувати зміну теплової поведінки будівлі в безперервному часовому режимі. Базова формула теплового балансу для годинного кроку має вигляд [35]:

$$C_{int} \cdot \frac{d\theta_{int}(t)}{dt} = \Phi_{HC}(t) + \Phi_{int}(t) + \Phi_{sol}(t) - H_T \cdot [\theta_{int}(t) - \theta_e(t)] - H_V \cdot [\theta_{int}(t) - \theta_e(t)] \quad (2.8)$$

де C_{int} є ефективною теплоємністю будівлі, $\frac{d\theta_{int}(t)}{dt}$ – похідна внутрішньої температури за часом, $\Phi_{HC}(t)$ – тепловий потік від систем опалення й охолодження, $\Phi_{int}(t)$ – внутрішні тепловиділення, $\Phi_{sol}(t)$ – сонячні надходження, H_T – коефіцієнт теплопередачі огорожень, H_V – коефіцієнт втрат через вентиляцію, $\theta_{int}(t)$ – внутрішня температура в момент часу t , $\theta_e(t)$ – зовнішня температура у той самий момент. Характерною особливістю рівняння є те, що внутрішня температура є змінною величиною, а процес її зміни описується через теплову інерцію будівлі, задану параметром C_{int} .

У найпростішому випадку стандарт допускає використання спрощеного варіанта розрахунку, де замість диференціального рівняння застосовується дискретизований різницевий аналог [35]:

$$C_{int} \cdot [\theta_{int}(t) - \theta_{int}(t - \Delta t)] = \Phi_{tot}(t) \cdot \Delta t \quad (2.9)$$

де $\Phi_{tot}(t)$ є сумою всіх теплових потоків у момент часу t , а Δt — тривалість кроку, найчастіше рівна одній годині. Такий підхід дозволяє повністю зберегти

динамічний характер процесу, але робить його більш доступним для практичних впроваджень, зокрема у програмному забезпеченні для енергомодельовання.

Ключова відмінність між ISO 52016-1 та українською методикою полягає в тому, що міжнародний стандарт розглядає внутрішню температуру будівлі як результат теплового процесу, а не як фіксовану величину, яку підтримує система опалення. Незалежно від того, чи працює система опалення, температура в приміщенні змінюється внаслідок інерційних властивостей будівельних матеріалів, інтенсивності тепловтрат та теплових надходжень. Якщо система опалення призупиняється або зменшує подачу тепла, температура не миттєво встановлюється на новому значенні, а змінюється поступово, що й моделюється у стандарті через параметр C_{int} . Відповідно, унаслідок моделювання однієї й тієї ж будівлі з використанням ISO 52016-1 і української методики дає помітно різні профілі температур та теплових навантажень навіть при однакових середньомісячних кліматичних умовах.

Стандарт ISO 52016-1 чітко визначає структуру теплових потоків, що враховуються під час розрахунку. Тепловтрати через огорожувальні конструкції формуються добутком коефіцієнта теплопередачі та різниці температур, що у часовому вигляді може бути позначено [35]:

$$\Phi_T(t) = H_T \cdot [\theta_{int}(t) - \theta_e(t)] \quad (2.10)$$

Водночас, у статичному українському підході цей вираз є аналогічним за формою, але температурні величини є середніми за певний місяць. Втрати через вентиляцію задаються добутком коефіцієнта H_V на різницю температур, але в ISO 52016-1 також допускається моделювання потоків повітря як змінних у часі. Сонячні надходження $\Phi_{sol}(t)$ визначаються як добуток площі світлопрозорих конструкцій, коефіцієнтів пропускання та миттєвих значень сонячної радіації, які у часовому форматі формуються з кліматичних даних, що включають дифузну й пряму складові. Внутрішні тепловиділення $\Phi_{int}(t)$ можуть задаватися через графіки використання приміщень, що також вводить часову складову.

Одним із найважливіших аспектів ISO 52016-1 є моделювання накопичення теплової енергії у будівельних конструкціях. Українська методика не враховує теплову інерційність будівлі, за винятком окремих коригувальних коефіцієнтів, тоді як міжнародний стандарт оперує поняттям ефективною теплоємності, що акумулює тепловий вплив попередніх годин. Це означає, що навіть за однакової зовнішньої температури теплова поведінка будівлі у двох різних годинах буде різною, залежно від того, які теплові навантаження діяли до цього. У математичному вигляді це відображається в наявності похідної $\frac{d\theta_{int}(t)}{dt}$ у рівнянні теплового балансу.

Слід наголосити, що модель ISO 52016-1 здатна враховувати ефекти, недоступні у межах спрощених місячних підходів. Наприклад, є можливість врахувати короточасні піки сонячної радіації, зміни у роботі вентиляційних систем, поведінку користувачів, які у спрощених методиках замінюють середні коефіцієнти.

Вплив теплової інерції на тепловий комфорт під час перехідних періодів доби також є важливим фактором, який не може бути описаний за допомогою середньомісячних температур. У результаті ISO 52016-1 дозволяє визначати не лише річне енергоспоживання, а й такі параметри, як годинні теплові навантаження на систему опалення, ризик перегріву приміщень у літній період, необхідність використання охолодження та ефекти від інерційних властивостей конструкцій.

Особливо показовим є приклад моделювання внутрішньої температури в неопалюваний період. В українській методиці внутрішня температура задається фіксованим значенням або визначається простими коригуваннями, тоді як у ISO 52016-1 внутрішня температура є результатом інтегрального впливу сонячної радіації, внутрішніх тепловиділень та тепловтрат. Наприклад, у день з високою інтенсивністю сонячного випромінювання внутрішня температура за динамічним розрахунком може підвищуватися до значень, що перевищують середньомісячні розрахункові показники на 4-6°C, що в межах середньомісячної розрахункової моделі залишається неврахованим. Також, теплова інерційність

може зміщувати пік перегріву на декілька годин уперед, тоді як середньомісячні розрахунки не здатні відстежити такі ефекти.

Для ілюстрації динамічної природи ISO 52016-1 розглянемо спрощений приклад. Припустимо, зовнішня температура змінюється протягом доби від -3°C вночі до $+5^{\circ}\text{C}$ удень, а середній добовий профіль сонячної радіації передбачає пік у 400 Вт/м^2 опівдні. У середньомісячному стаціонарному підході української методики єдиним значенням у розрахунку буде середня добова температура, як от $+1^{\circ}\text{C}$. У ISO 52016-1 внутрішня температура буде залежати від профілю зовнішньої температури та сонячного впливу за кожну годину. Рівняння теплового балансу дозволить визначити потенційні коливання [35]:

$$C_{int} \cdot \frac{d\theta_{int}(t)}{dt} + H_{tot} \cdot \theta_{int}(t) = H_{tot} \cdot \theta_e(t) + \Phi_{int}(t) + \Phi_{sol}(t) \quad (2.11)$$

Чисельний розв'язок рівняння свідчить, що внутрішня температура може змінюватися в межах $20\text{--}23^{\circ}\text{C}$ протягом доби. У результаті реальне теплове навантаження на систему опалення буде відрізнятися від значення, отриманого за стаціонарною формулою.

Ще однією фундаментальною перевагою ISO 52016-1 є можливість точного урахування роботи систем керування кліматом. Наприклад, системи з регулюванням температури за графіками, використання нічного зниження температури або інтелектуальних алгоритмів, що враховують прогноз погоди, вимагають часової моделі теплового балансу. У місячній методиці українського стандарту такі режими враховуються через коригувальні коефіцієнти, але без реального впливу на динаміку температури. Це призводить до ситуації, коли реальна поведінка будівлі та її нормативний розрахунок суттєво відрізняються.

Міжнародна методика також забезпечує кращу точність при оцінці ефективності відновлюваних джерел енергії. Наприклад, робота теплових насосів суттєво залежить від миттєвої різниці температур повітря або ґрунту; системи вентиляції з рекуперацією тепла мають залежність від годинних графіків повітрообміну; сонячні колектори та панелі працюють за високої мінливості сонячної радіації. Усі ці чинники неможливо адекватно оцінити за місячними

середніми значеннями, натомість ISO 52016-1 включає часові дані, що дозволяє значно покращити точність прогнозів.

Узагальнюючи, можна зазначити, що ISO 52016-1:2017 є сучасною, динамічною та точною методикою розрахунку енергетичної ефективності будівель, яка суттєво відрізняється від українських статичних підходів. Динамічність міжнародної методики проявляється в урахуванні годинних змін зовнішнього клімату, внутрішніх тепловиділень, сонячної радіації, режимів роботи інженерних систем та теплової інерційності будівлі. Ці особливості надають їй здатність відображати теплові процеси з високою точністю, тоді як українські нормативні документи базуються на місячній усередненій моделі, де час входить лише у вигляді тривалості періоду. З огляду на це стає очевидним, що питання узгодження методик розрахунку є надзвичайно актуальним, оскільки від нього залежить відповідність української системи нормативів європейським вимогам, точність оцінки енергетичних характеристик і ефективність рішень щодо реновації та новобудов.

2.3 Дослідження причинно-наслідкових зв'язків виникнення відмінностей у вітчизняних та зарубіжних параметрах енергоефективності

Порівняння українських і міжнародних нормативних документів у сфері енергоефективності неможливе без попереднього окреслення тих параметрів, які лежать в основі методик розрахунку та визначають їхню математичну, фізичну й концептуальну сутність. На мою думку, у науковому дослідженні важливо не лише вказати ці параметри, а вибудувати чітку логіку, за якої кожен з них постає як елемент єдиної системи, що формує характер енергетичного балансу будівлі.

Українські нормативні документи, зокрема ДСТУ Б А.2.2-12:2015 та ДСТУ 9190:2022, і міжнародні стандарти, представлені передусім ISO 52016-1:2017, спираються на однакові фізичні основи теплопередачі, акумуляції теплоти та взаємодії будівлі з навколишнім середовищем. Проте спосіб математичного опрацювання цих процесів у кожній із методик має принципові відмінності, які зумовлені вибором часової моделі, формою представлення кліматичних даних,

підходами до оцінки тепловтрат та теплових надходжень, а також способами врахування внутрішньої температури та роботи інженерних систем.

Для коректного визначення спільних та відмінних рис нормативних документів необхідно послідовно описати параметри, які застосовуються для розрахунку енергетичної ефективності. Їхня спільність проявляється у тому, що і українські, і міжнародні документи виходять із базового енергетичного балансу будівлі, де враховуються тепловтрати через огорожувальні конструкції, втрати через вентиляцію, надходження сонячної радіації та внутрішні тепловиділення. Водночас розбіжності між документами виникають на рівні методів чисельного опрацювання цих параметрів. Українські стандарти застосовують стаціонарний, середньомісячний підхід, що розглядає всі кліматичні й експлуатаційні змінні як усереднені величини. Натомість, міжнародні стандарти нового покоління формують динамічну картину теплових процесів, у якій параметри змінюються щогодини, а тепловий стан будівлі постає як функція часу та попередніх теплових впливів.

Таким чином, формування переліку параметрів має подвійне значення: по-перше, він дозволяє побудувати таблицю відповідності між українськими та міжнародними нормативами; по-друге, він створює концептуальну основу для аналізу причинно-наслідкових зав'язків, що пояснюють відмінності у точності, структурі та практичному застосуванні методик. Саме на такій основі у подальших дослідженнях можна буде вибудувати систематизоване зіставлення документів та показати, чому різниця у часовій моделі, урахуванні теплової інерційності чи способі представлення сонячних надходжень формує абсолютно різний характер розрахунку енергетичних параметрів будівлі.

Таблиця 2.1 – Порівняльна таблиця розрахунку параметрів енергоефективності

№	Назва параметру	Вітчизняна методика розрахунку	Міжнародна методика розрахунку	Коментар
1	Потреба теплової енергії на опалення	<p>У межах українських нормативів річна потреба теплової енергії визначається як сума місячних потреб. Для кожного місяця використовують стаціонарне рівняння енергетичного балансу:</p> $Q_{H,nd,m} = (H_{T,m} + H_{V,m}) \cdot (\theta_{int,set} - \theta_{e,m}) \cdot t_m - \eta_{g,m} \cdot Q_{g,m}$ <p>Це рівняння передбачає, що внутрішня температура будівлі є сталою, тепловтрати та теплові надходження усереднюються за місяць, а динаміка процесів не моделюється.</p>	<p>Міжнародний стандарт ISO 52016-1 формує потребу тепла як результат інтегрування погодинних теплових потоків, використовуючи базове диференціальне рівняння теплового балансу:</p> $c_{int} \cdot \frac{d\theta_{int}(t)}{dt} = \Phi_{Hc}(t) + \Phi_{int}(t) + \Phi_{sol}(t) - H_T \cdot [\theta_{int}(t) - \theta_e(t)] - H_V \cdot [\theta_{int}(t) - \theta_e(t)]$ <p>Це означає, що тепла потреба визначається не середнім балансом за місяць, а динамічно – за кожну годину року.</p>	<p>Спільним у методиках є застосування енергетичного балансу. Відмінність полягає у тому, що ДСТУ використовує квазістаціонарний підхід, а ISO – динамічний часовий баланс, у якому температура та теплові потоки змінюються з часом.</p>
2	Тепловтрати через огорожувальні конструкції	<p>Українські нормативи подають тепловтрати через огороження як сталу величину, що визначається формулою:</p> $H_T = \sum (U_i \cdot A_i)$ <p>де U_i – коефіцієнт теплопередачі окремого елемента, A_i – площа конструкції. Оскільки модель є статичною, H_T залишаються незмінним протягом усього місяця.</p>	<p>У міжнародній методиці формула H_T є ідентичною, але використовується для визначення погодинного потоку тепла:</p> $\Phi_T(t) = H_T \cdot [\theta_{int}(t) - \theta_e(t)]$ <p>У цьому випадку H_T – це постійний параметр, але власне потік тепла $\Phi_T(t)$ є змінним, оскільки залежить від миттєвої внутрішньої та зовнішньої температури.</p>	<p>Обидві методики використовують однакове базове визначення кількості тепловтрат. Проте міжнародний стандарт застосовує його у подальшому динамічному рівнянні, тоді як ДСТУ – залишає незмінним.</p>
3	Вентиляційні та інфільтраційні тепловтрати	<p>Українські нормативні документи задають втрати через вентиляцію формулою:</p> $H_V = \rho_{air} \cdot c_{p,air} \cdot \dot{V}$ <p>де \dot{V} – середня місячна витрата повітря. В межах розрахунку усі величини вважаються сталими для всього розрахункового періоду.</p>	<p>У міжнародному стандарті цей параметр має погодинний характер, аналогічно до тепловтрат через огорожувальні конструкції:</p> $H_V(t) = \rho_{air} \cdot c_p \cdot \dot{V}(t)$ $\Phi_V(t) = H_V(t) \cdot [\theta_{int}(t) - \theta_e(t)]$ <p>де $\Phi_V(t)$ може змінюватися залежно від часу доби, роботи вентиляції, присутності користувачів та режимів рекуперації.</p>	<p>Спільним є фізичний зміст процесу. Відмінність полягає у тому, що міжнародна методика враховує змінність повітрообміну, а українська використовує фіксоване місячне значення.</p>
4	Сонячні теплові надходження	<p>За вітчизняним ДСТУ сонячні надходження можуть бути подані у вигляді місячної інтегральної величини:</p> $Q_{sol,m} = A_{gl} \cdot G_m \cdot F_{sh} \cdot g_{gl} \cdot F^\circ$	<p>Натомість, у міжнародному нормативі сонячні надходження визначаються погодинно:</p> $\Phi_{sol}(t) = A_{gl} \cdot g_{tot}(t) \cdot G_{sol}(t)$	<p>Спільним для обидвох НД є використання геометричних характеристик і пропускових властивостей</p>

№	Назва параметру	Вітчизняна методика розрахунку	Міжнародна методика розрахунку	Коментар
		де G_m – місячна сума сонячної радіації, g_{gl} – коефіцієнт пропускання, F_{sh} – коефіцієнт затінення.	де $G_{sol}(t)$ включає пряму й дифузну складову, а $g_{tot}(t)$ враховує змінні умови затінення.	огорожень. Відмінність полягає у тому, що українська модель інтегрує радіацію за місяць, тоді як міжнародна визначає сонячний потік щогодини.
5	Внутрішні тепловиділення	ДСТУ 9190 характеризує внутрішні тепловиділення як усереднену місячну величину: $Q_{int,m} = q_{int} \cdot A \cdot t_m$ де q_{int} – питомі тепловиділення.	Водночас, в межах ISO 52016-1 обчислення таких тепловиділень є погодинним: $\Phi_{int}(t) = \sum q_{int,k}(t)$ Це дозволяє враховувати різні сценарії використання приміщень.	Основна відмінність – міжнародна методика є засобом відтворення реальних графіків діяльності, тоді як українська залишається статичною.
6	Внутрішня температура	Українська методика приймає внутрішню температуру як фіксовану величину: $\theta_{int} = const$ Її зміни протягом доби моделюються коригувальними коефіцієнтами.	У ISO 52016-1 внутрішня температура є результатом інтегрування диференціального рівняння: $c_{int} \cdot \frac{d\theta_{int}(t)}{dt} + H_{tot} \cdot \theta_{int}(t) = H_{tot} \cdot \theta_e(t) + \Phi_{int}(t) + \Phi_{sol}(t) + \Phi_{nc}(t)$ У цій формулі $\theta_{int}(t)$ змінюється з часом, що дозволяє врахувати теплову інерційність будівельних конструкцій.	Спільним є те, що внутрішня температура використовується для подальшого обчислення теплових потоків. Однак за ISO її визначають з рівняння, а за ДСТУ – задають константою.
7	Теплова інерційність будівлі	У межах українських НД теплова інерційність не моделюється, а вплив масивності огорожень враховується опосередковано через коригувальні коефіцієнти.	ISO 52016-1 містить чіткий математичний опис інерційності: $C_{int} = \sum m_i \cdot c_{p_i}$ Цей параметр робить внутрішню температуру залежною від теплової історії будівлі, а не лише від миттєвих значень.	Спільною є ідея впливу масивності будівлі на тепловий процес. Однак в ISO інерційність є ключовою частиною моделі, а у ДСТУ вона фактично майже відсутня.
8	Режими роботи систем опалення та охолодження	У ДСТУ режими подаються коригувальними коефіцієнтами, наприклад коефіцієнтом зниження температури у неробочий час.	В межах ISO 52016-1 режими роботи задаються функцією часу: $\Phi_{nc}(t) = f(t)$	Спільною є можливість моделювати зміну режимів. Відмінність полягає у точності: ISO відображає

№	Назва параметру	Вітчизняна методика розрахунку	Міжнародна методика розрахунку	Коментар
			що дозволяє точно моделювати їх періодичну роботу та вплив на внутрішній мікроклімат.	години включення та виключення систем, ДСТУ – лише середню поведінку.
9	Річна потреба в енергії	Українська методика передбачає використання опосередкованих значень: $Q_{H,year} = \sum Q_{H,m}$ де $Q_{H,m}$ – місячні значення енергопотреб.	Згідно з міжнародним підходом, річна потреба в енергії обчислюється за формулою: $Q_{H,year} = \sum \Phi_{HC}(t) \cdot \Delta t$ де Δt дозволяє враховувати погодинні навантаження.	Спільним є визначення річного енергоспоживання за допомогою сумування. Відмінність знову полягає у точності інтегрування: ISO враховує всі добові та погодинні коливання, тоді як ДСТУ обмежується середньомісячними значеннями.
10	Температура внутрішніх поверхонь огорожувальних конструкцій	У межах українських ДСТУ температура внутрішньої поверхні огороження визначається за стаціонарним теплотехнічним рівнянням, що впливає з одношарового або багатшарового рівняння теплопровідності. Типове нормативне співвідношення подається у вигляді: $\theta_{si} = \theta_{int} - (q \cdot R_{si})$ де θ_{si} – температура внутрішньої поверхні стіни, θ_{int} – внутрішня температура повітря, q – густина теплового потоку через огороження, R_{si} – внутрішній термічний опір поверхні. В межах нормативів параметр q обчислюють за формулою: $q = (\theta_{int} - \theta_e) / R_{tot}$ де R_{tot} – сумарний термічний опір огороження. Таким чином, температура поверхні розраховується для усереднених	У міжнародному стандарті ISO 52016-1 (у комбінації з ISO 52017-1) температура внутрішніх поверхонь визначається у динамічному режимі як частина системи рівнянь теплопровідності. Для кожного шару огороження задається його теплоємність і теплопровідність, а потік тепла описується часовою залежністю: $C_{wall} \cdot \frac{d\theta_{wall}(t)}{dt} = \Phi_{cond,in}(t) - \Phi_{cond,out}(t)$ а температура внутрішньої поверхні: $\theta_{si}(t) = \theta_{int}(t) - \Phi_{cond,in}(t) \cdot R_{si}$ де $\theta_{int}(t)$ – погодинна внутрішня температура, $\Phi_{cond,in}(t)$ – миттєвий тепловий потік до внутрішньої поверхні.	Спільним для обох підходів є те, що температура поверхні визначається через тепловий потік і термічний опір. Принципова відмінність полягає в тому, що ДСТУ використовує статичний, усереднений тепловий потік, тоді як ISO – динамічний, часово залежний процес із урахуванням теплоємності матеріалу.

№	Назва параметру	Вітчизняна методика розрахунку	Міжнародна методика розрахунку	Коментар
		місячних умов, без урахування динаміки теплових потоків.		
11	Концентрація CO ₂ у приміщенні	<p>Українські нормативні документи безпосередньо не визначають концентрацію CO₂ і розглядають вентиляцію лише як джерело тепловтрат або нормативний повітрообмін. Розрахунок концентрації можливий лише опосередковано, за рівнянням повітрообміну:</p> $C_i = C_e + \left(\frac{G_{CO_2}}{V \cdot \rho_{air}} \right)$ <p>Де C_i – концентрація CO₂ у приміщенні, C_e – зовнішня концентрація, G_{CO_2} – інтенсивність утворення CO₂ людьми, V – нормативна витрата вентиляційного повітря. У цій формулі V є постійною місячною величиною.</p>	<p>У міжнародному стандарті ISO 17772-1 (частина пакету стандартів до ISO 52016-1) концентрація CO₂ визначається як змінна величина, що залежить від часу та вентиляційного повітрообміну:</p> $\frac{dC_i(t)}{dt} = \frac{G_{CO_2}(t)}{V_{room}} - (C_i(t) - C_e(t)) \cdot \frac{V(t)}{V_{room}}$ <p>Де V_{room} – об'єм приміщення, $G_{CO_2}(t)$ – погодинна продукція CO₂, $V(t)$ – вентиляційна подача, що змінюється за графіком. Це рівняння описує CO₂ як динамічну масообмінну систему, що реагує на присутність людей, роботу вентиляції та зміну умов у реальному часі.</p>	<p>Спільним є те, що обидві методики спираються на рівняння масового балансу. Відмінним є спосіб опису повітрообміну: українська модель статична, міжнародна – динамічна. ISO дає можливість моделювати продукування CO₂ погодинно, визначати пікові концентрації, періоди накопичення та ефективність вентиляційних систем, тоді як українська модель здатна описувати лише усереднений стан.</p>

Відмінності між українськими та міжнародними нормативними документами полягають насамперед у різних типах математичної моделі, що лежить в основі кожного стандарту. Якщо українські документи використовують місячний квазістаціонарний підхід, то всі параметри – від тепловтрат через огороження до внутрішніх тепловиділень, сонячних надходжень і вентиляційних потоків – набувають інтегрального характеру. Відповідно, це автоматично робить усі залежні величини (температура поверхонь, внутрішня температура, концентрація CO₂ тощо) усередненими, оскільки динаміка процесів не може бути відтворена в межах моделі, де час присутній лише у вигляді тривалості місяця. Статичність підходу стає першопрчиною того, що українська методика не враховує теплової інерційності будівлі, не відстежує добові коливання клімату та не дозволяє точно визначити пікові навантаження на системи опалення або вентиляції. У результаті всі параметри, що потенційно можуть бути динамічними, спрощуються до опосередкованих значень, що і є фундаментальним джерелом розбіжностей.

Міжнародна методика ISO 52016-1 працює з погодинними величинами, тому всі параметри (зовнішня температура, сонячне випромінювання, внутрішні тепловиділення, вентиляційні потоки, температура стін, концентрація CO₂) розглядаються як функції часу. Це призводить до того, що внутрішня температура не задається як константа, а визначається з диференціального рівняння, де важливу роль відіграє ефективна теплоємність конструкцій.

Такий підхід робить можливим моделювання теплової інерції, відкладених теплових реакцій, нічного охолодження, короткочасних піків радіації або CO₂, а також реальних режимів роботи систем опалення та вентиляції. Саме тому всі динамічні параметри в міжнародній методиці мають «історію»: їх значення в кожен момент часу залежить не тільки від зовнішніх умов, а й від попереднього стану системи. У підсумку міжнародна модель створює причинно-наслідковий ланцюг, де зміна температури, радіації, присутності людей або повітрообміну автоматично впливає на теплові потоки, баланс енергії, комфортність і навантаження на системи.

Водночас, статичний характер української методики породжує кілька системних залежностей. Якщо внутрішня температура вважається сталою, то потреба в теплі визначається виключно різницею між середньомісячними температурами та усередненими втратами; тому навіть значні добові коливання зовнішньої температури не впливають на результат. Якщо сонячні надходження інтегруються за місяць, модель не фіксує перегрів у сонячні години, що впливає на точність визначення потреби в охолодженні. Якщо вентиляційні втрати подані як середні, то модель не враховує підвищення або зниження CO₂ протягом дня. Кожна така спрощена величина формує специфічний тип систематичної похибки, що не залежить від умов експлуатації.

Отже, причинно-наслідковий механізм відмінностей між методиками має такий вигляд: тип часової моделі → спосіб подання параметрів → точність теплового балансу → визначення температур → формування теплових навантажень → кінцеві енергетичні показники будівлі.

У статичній моделі зміни часу приглушені, тому похибки накопичуються в інтегральному показнику річного енергоспоживання. У динамічній моделі зміни часу є драйвером процесів, тому похибки зменшуються, а фізична реальність може бути описана адекватніше.

Проведений аналіз показує, що відмінності між українськими та міжнародними методиками не є випадковими, а впливають із самого принципу побудови розрахункової моделі. Українські стандарти використовують статичну середньомісячну схему, що робить усі параметри усередненими та позбавляє тепловий процес часової динаміки. Міжнародні стандарти ISO інтегрують час у рівняння теплового балансу, тому всі набувають реалістичної часової поведінки. Унаслідок цього міжнародні методики забезпечують вищу точність, можливість моделювання пікових навантажень, оцінку теплової інерції та повноцінне відтворення теплового комфорту. Загальна логіка розбіжностей зводиться до різних підходів: статична модель описує лише середній стан, динамічна – реальний фізичний процес.

2.4 Проблематика «непорівнюваних величин»: прикладний аспект у контексті параметрів енергоефективності будівель

Поняття «непорівнюваних величин» у науковому дискурсі означає такі числові показники, які на перший погляд стосуються одного й того самого фізичного явища, але насправді описують його в різних системах відліку, за різними правилами або в різних умовах. Відповідно до вищезгаданої точки зору, дві величини можуть вважатися непорівнюваними, якщо вони або мають різну розмірність, або стосуються різних часових чи просторових інтервалів, або відображають різний фізичний зміст, хоча називаються однаково. У галузі енергоефективності будівель це питання набуває особливої ваги, оскільки розрахунки виконуються за різними нормативними документами, і їхні результати часто намагаються зіставити, не враховуючи глибинних методичних відмінностей.

Коли йдеться про енергетичну ефективність будівель, то на перший план виходять такі характеристики, як річна потреба в теплі на опалення, питомі енергетичні показники, тепловтрати через огороження, потреба в охолодженні, комфортні температури, рівень якості повітря та інші параметри. Якщо одна й та сама будівля розраховується за українськими ДСТУ і за міжнародним стандартом ISO 52016-1, виникає природне бажання взяти два числа, наприклад, два значення річної потреби $Q_{H,year}$, і просто порівняти їх. Однак, це порівняння може виявитися некоректним, якщо не врахувати, як саме ці числа було отримано. У випадку українських методик ми маємо справу з місячним квазістаціонарним підходом, де вся динаміка теплових процесів за період «спресована» в одне усереднене значення. У міжнародному стандарті, навпаки, ця динаміка розгортається у часі: внутрішня температура, теплові потоки, сонячні надходження і вентиляційні витрати обчислюються для кожної години року, після чого інтегруються.

Отже, поняття «непорівнюваних величин» у контексті енергоефективності будівель означає, що числові результати, отримані за різними методиками, не можна безпосередньо зіставляти, якщо вони ґрунтуються на принципово різних підходах до часу, до моделювання теплової інерційності, до представлення

кліматичних даних, до трактування внутрішньої температури та до опису роботи інженерних систем. Навіть якщо величини мають однакову одиницю вимірювання, наприклад, кВт·год/м²·рік, це ще не робить їх порівняння можливим, адже основою розрахунку цих значень є різні фізичні сценарії, різні граничні умови, відмінні моделі поведінки користувачів і навіть неоднакові визначення, що саме слід вважати «корисною» чи «кінцевою» енергією.

У цьому сенсі «непорівнювані величини» є не просто проблемою термінології, а методологічним викликом. У сучасних дослідженнях енергоефективності будівель важливо не лише отримати числові результати, а й розуміти, у якій «системі координат» вони отримані. Порівнювати між собою можна або величини, що отримані за ідентичними моделями, або величини, які попередньо було приведено до спільного знаменника через відповідні перерахунки, нормування чи коригування. У протилежному випадку процедура порівняння перетворюється на зіставлення несумірних концептів, що неминуче породжує методичні помилки та хибні кінцеві висновки.

Першопричиною виникнення непорівнюваних величин в межах методик розрахунку параметрів енергоефективності за українськими ДСТУ та міжнародними стандартами є різний тип математичної моделі, яка лежить в основі таких розрахунків. Як було вказано у п. 2.2, українські нормативні документи традиційно використовують квазістаціонарний, місячний підхід, у межах якого всі основні параметри усереднюються за місяць або сезон. Це означає, що для кожного місяця всі дійсні коливання температури, зміни режимів роботи систем, коливання сонячної радіації тощо замінюються на одне умовне значення «середніх умов».

Розглянемо це на прикладі параметра теплових потреб $Q_{H,m}$. У статичній вітчизняній моделі потреба тепла $Q_{H,m}$ розраховується за формулою, де внутрішня температура є константою, а зовнішня температура представлена середньомісячним значенням $\theta_{e,m}$. Відповідно, річна потреба в енергії є результатом додавання кількох інтегральних величин, кожна з яких описує умовно «типовий» місяць.

Натомість, міжнародний стандарт ISO 52016-1 дозволяє працювати у режимі погодинного моделювання. Замість середньомісячної температури використовується часовий ряд $\theta_e(t)$, замість помісячних сонячних сум – погодинні значення $G_{sol}(t)$, замість усереднених внутрішніх тепловиділень – функція $\Phi_{int}(t)$, яка змінюється залежно від присутності людей, роботи обладнання та освітлення. У моделі також присутня ефективна теплоємність C_{int} , що описує теплову інерційність будівельних конструкцій. Це означає, що тепловий стан будівлі у певний момент залежить не лише від поточних температур та надходжень, а й від того, які процеси відбувалися раніше. У такій системі часовий вимір є невід’ємною частиною моделі, а всі результати розрахунків мають часову структуру, яку неможливо повністю відобразити усередненими параметрами.

На основі вищевказаного можна сформулювати першу важливу причину непорівнюваності величин: в українських методиках час присутній лише як тривалість періоду t_m , тоді як у міжнародних методиках час є змінною, яка безпосередньо входить до рівнянь.

Друга причина полягає у різному трактуванні внутрішньої температури. У ДСТУ 9190 вона постає як нормативна, фіксована величина, що підтримується системою опалення, тоді як у ISO 52016-1 внутрішня температура є розрахунковою змінною, яка постійно змінюється внаслідок взаємодії огорожень, повітря, систем опалення, сонячних надходжень та поведінки користувачів. Таким чином, величина $\theta_{int,set}$ в українських документах та величина $\theta_{int}(t)$ у міжнародних стандартах насправді представляють різні концепції, хоча обидві називаються «внутрішньою температурою».

Третьою причиною є різний підхід до представлення теплових потоків. У квазістаціонарній моделі теплові потоки через огороження та вентиляцію розглядаються як постійні в межах місяця, тоді як у динамічній моделі кожна година має свою величину потоку, яка залежить від поточних умов. Аналогічну проблему спостерігаємо в розрахунку сонячних надходжень: їхня місячна сума $Q_{sol,m}$ не є безпосереднім аналогом погодинного потоку $\Phi_{sol}(t)$. Наостанок, різниця в способі розрахунку та інтерпретації таких параметрів, як концентрація

CO₂, температура внутрішніх поверхонь, рівень теплового комфорту призводить до того, що формально схожі показники мають різний фізичний зміст і, відповідно, стають непорівнюваними без додаткового аналізу.

Щоб наочно побачити, як працює механізм непорівнюваності, доцільно розглянути кілька конкретних типів величин, що формуються в українських методиках і не мають прямого аналога в міжнародних, або мають, але з іншим змістом. Однією з таких величин є місячна потреба в тепловій енергії на опалення $Q_{h,m}$. Формально вона визначається як різниця між місячними тепловтратами через огороження та вентиляцію та корисними тепловими надходженнями, помножена на тривалість місяця. Однак критично важливо, що для цього розрахунку внутрішня температура вважається сталою, зовнішня температура – середньомісячною, а сонячні надходження й внутрішні тепловиділення – інтегральними. Отже, $Q_{h,m}$ описує не реальну поведінку будівлі, а умовний «середній» сценарій.

Якщо тепер взяти погодинний графік теплових потоків опалення $\Phi_{HC}(t)$, розрахований за ISO 52016-1, то математично можна інтегрувати його за місяць і отримати загальну місячну енергію, витрачену на опалення. Номінально цей результат може мати ту саму одиницю вимірювання, що й $Q_{h,m}$ за ДСТУ, але вихідні процеси, що передують розрахунку, будуть іншими. У динамічній моделі в окремі години теплові потоки будуть значно більшими чи меншими за середні місячні значення, оскільки враховуються добові коливання, інерційність, зміни в роботі опалення, поведінка людей. Тому фізичне або числове наближення двох значень ще не означає, що вони описують одну й ту саму реальність. Такі параметри будуть залишатися непорівнюваними, доки не буде враховано різницю в математичних моделях.

Ще одним прикладом може слугувати внутрішня температура, яка в українських розрахунках задається як $\theta_{int,set}$. Це – нормативна величина (яка становить, наприклад, 20 °C для житлових приміщень), що не змінюється в часі. Водночас в межах міжнародної динамічної моделі внутрішня температура $\theta_{int}(t)$ є змінною, що відповідає фактичному тепловому стану приміщення: вона може

зростати вдень через сонячні надходження і падати вночі, здатна реагувати на відключення системи опалення або на різкі зміни зовнішньої температури. Якщо просто порівнювати $\theta_{int,set}$ з окремим значенням $\theta_{int}(t)$ у певну годину, то це будуть величини, що описують різні речі: статична – бажаний нормативний режим, динамічна – реальний стан системи в конкретний момент.

Схожа ситуація виникає із розрахунком внутрішніх тепловиділень. В українських методиках вони уведені як параметр $\theta_{int,m}$ і представляють сумарне тепло від людей та обладнання за місяць. У динамічній моделі шукана величина $\Phi_{int}(t)$ показує, коли саме протягом доби вмикаються прилади, у який період приміщення заповнюється людьми, або ж коли відбувається пікове тепловиділення. Аналогічно до теплових потоків, величини внутрішніх тепловиділень можуть бути математично пов'язані, але без такого зв'язку вони непорівнювані, адже вітчизняна передбачає розрахунок загального інтегрального ефекту, міжнародна – змінну часову структуру процесу.

У міжнародних методиках, зокрема в ISO 52016-1 та ISO 17772-1, існує ціла низка параметрів, які за своєю природою не мають прямих статичних аналогів у українських нормативних документах і тому автоматично належать до категорії непорівнюваних. Одним із найважливіших прикладів є температура внутрішніх поверхонь огорожень $\theta_{si}(t)$. У динамічній моделі її значення залежить не тільки від поточного значення внутрішньої та зовнішньої температур, а й від теплового стану матеріалу стіни, попередніх сонячних навантажень та режиму опалення. У результаті розрахунку утворюється часовий ряд $\theta_{si}(t)$, який можна використовувати для оцінки ризику конденсації, відчуття теплового комфорту біля поверхонь, визначення небезпеки розвитку цвілі тощо.

В українських нормативних документах температура внутрішньої поверхні найчастіше оцінюється за спрощеним стаціонарним рівнянням, де за основу береться різниця між внутрішньою та зовнішньою температурою і сумарний опір огороження. Отримана величина є умовною, вона відповідає деякому «середньому» стану в холодний період року, але не відображає добові коливання. Таким чином, $\theta_{si}(t)$ у динамічній моделі і «розрахункова» θ_{si} за ДСТУ є

непорівнюваними величинами. Вони й надалі залишаться такими, якщо не виконати спеціальну процедуру усереднення або перерахунку.

Іншим цікавим прикладом є розрахунок концентрації CO₂. У міжнародних стандартах вона описується диференціальним рівнянням масообміну, де враховуються погодинні потоки припливного повітря, фактична кількість людей у приміщенні, їх активність та швидкість утворення вуглекислого газу. У результаті отримуємо часовий профіль $C_i(t)$, який показує, як змінюється якість повітря, коли відбувається перевищення допустимих рівнів, а також наскільки ефективно працює вентиляція. У статичній українській моделі концентрація часто зводиться до умовного «сталого» рівня, який впливає з нормативних значень повітрообмінів і середньої кількості людей. Такі два підходи до опису концентрації CO₂ принципово відрізняються: міжнародна величина – динамічна і відображає реальну поведінку системи, вітчизняна є розрахунковим нормативним орієнтиром. Саме тому порівнювати їх напряду – неможливо, адже це означає зіставляти модель реальності з моделлю «середнього» стану.

Аналогічна логіка поширюється на теплові навантаження систем опалення й охолодження. У міжнародній динамічній моделі формується часовий профіль теплової потужності $\Phi_{HC}(t)$, який показує пікові значення, моменти максимального навантаження, періоди роботи в частковому навантаженні. Натомість, у статичних українських підходах розрахунок здебільшого дає інтегральну річну або місячну потребу в енергії, але не дозволяє отримати годинні профілі потужності. Отже, миттєва потужність системи, що необхідна для покриття пікових теплових потреб, у динамічній моделі та середня потреба в тепловій енергії на місяць – це два різні типи величин, які не можна ставити поряд як рівнозначні.

Узагальнюючи проведений аналіз, можна стверджувати, що поняття «непорівнюваних величин» є ключовим для коректного трактування результатів розрахунків енергоефективності будівель, виконаних за українськими та міжнародними нормативними документами. Непорівнюваність не означає, що результати однієї з методик є некоректними, а іншої – єдино правильними: вона вказує насамперед на те, що ці результати належать до різних моделей реальності

й відображають її з різним ступенем деталізації. Українські статичні методики описують будівлю в величинах середніх станів, інтегральних місячних і річних показників, нормативних температур і усереднених теплових навантажень. Міжнародні динамічні методики, навпаки, описують будівлю як систему, що розвивається у часі, де кожна година має своє значення температур, теплових потоків, сонячної радіації, вентиляційних витрат, концентрації CO₂.

Саме тому величини, що мають однакові одиниці вимірювання та навіть однакові назви, часто виявляються непорівнюваними у межах вітчизняних та зарубіжних методик розрахунку. Щоб зробити їх співставними, необхідно або спростити динамічну модель до рівня інтегральних показників (наприклад, інтегрувати погодинні дані до місячних сум), або, навпаки, деталізувати статичну модель шляхом введення додаткових залежностей, що наближують її до динамічної. Без такого узгодження порівняння фізично схожих величин та інших параметрів перетворюється на зіставлення різних концепцій, а не реальних фізичних станів.

Відповідно, подальші дослідження, пов'язані з гармонізацією методик розрахунку енергоефективності будівель, мають особливу важливість. Вони покликані не лише формально зіставити українські ДСТУ та міжнародні стандарти ISO, а й побудувати місток між статичною й динамічною моделями теплових процесів. Розуміння того, які величини є непорівнюваними і чому, дозволяє розробити коректні процедури перерахунку, адаптації й нормування, що, у свою чергу, є необхідною умовою для інтеграції української системи стандартів у європейський нормативний простір, підвищення точності енергетичної оцінки та формування обґрунтованої політики енергоефективності.

РОЗДІЛ 3

МОДЕЛЮВАННЯ РОЗРАХУНКУ ПАРАМЕТРІВ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ БУДІВЕЛЬ У СЕРЕДОВИЩІ MATLAB

Моделювання методик розрахунку параметрів енергетичної ефективності будівель у середовищі MATLAB є доцільним насамперед через те, що сучасні методики оцінювання енергоефективності ґрунтуються на системах алгебраїчних та диференціальних рівнянь, які є надзвичайно складними для опрацювання з аналітичної точки зору.

Для опису теплових процесів у будівлі необхідно одночасно враховувати тепловтрати через огорожувальні конструкції, вентиляційні та інфільтраційні втрати, внутрішні та сонячні теплові надходження, теплову інерційність конструкцій, режими роботи інженерних систем та динаміку концентрації CO₂ у приміщеннях тощо. MATLAB забезпечує зручні інструменти для чисельного розв'язання таких задач у вигляді часових рядів, що дає змогу реалізувати як спрощені квазістаціонарні моделі за ДСТУ 9190 [11], так і повноцінні динамічні моделі за ISO 52016-1 / ISO 17772 [35; 34].

Суттєвою перевагою MATLAB є можливість чітко відокремити фізичну постановку задачі від обчислювальної реалізації. Кожен параметр енергоефективності може бути реалізований у вигляді окремого блоку коду, що напряму відображає відповідну розрахункову формулу. Це спрощує верифікацію моделей: такий розрахунок дозволяє послідовно порівняти кожен рядок скрипта з аналітичним виразом у нормативному документі та перевірити коректність вихідних припущень. До того ж, така структурованість полегшує потенційне подальше розширення моделі: заміну кліматичних даних, уточнення геометрії будівлі, додавання нових режимів вентиляції чи керування опаленням.

Важливою є також можливість швидкого проведення параметричних досліджень. Після побудови базової моделі в MATLAB можна систематично змінювати теплофізичні параметри огорожень, кратність повітрообміну, графіки присутності людей, налаштування систем опалення та охолодження, а також кліматичні умови, характерні для різних регіонів України. Це дозволяє не

лише розрахувати енергетичні показники для однієї конкретної будівлі, а й оцінити чутливість результатів до зміни вхідних параметрів, що є важливим елементом наукового аналізу та прийняття проектних рішень. Швидко повторне моделювання при зміні даних забезпечує ефективну роботу з різними сценаріями термомодернізації.

Окрему роль відіграють засоби візуалізації. MATLAB дає змогу оперативно будувати графіки зміни внутрішньої та зовнішньої температури, теплових потоків, кумулятивної річної потреби в енергії, а також профілів концентрації CO₂ впродовж доби чи року. Такі графічні результати є не лише зручними для інтерпретації та якісного аналізу, але й підсилюють наукову аргументацію, оскільки наочно демонструють вплив теплової інерційності будівлі, ефективності вентиляції, сонячних надходжень і внутрішніх тепловиділень на енергетичний баланс. З практичної точки зору це полегшує підготовку звітів, наукових публікацій і презентацій, де необхідні ілюстрації динаміки розрахункових параметрів.

Отже, використання MATLAB під час дослідження забезпечує відтворюваність і транспарентність результатів. Усі вихідні дані, формули та проміжні обчислення доцільно зберігати у вигляді відкритих скриптів, що можуть бути повторно запущені, перевірені та адаптовані іншими дослідниками чи проєктувальниками. Це відповідає сучасним вимогам до наукових робіт у сфері енергоефективності, де особливо важливими є прозорість методики, можливість незалежної верифікації та подальшого використання напрацьованих моделей у практиці енергетичного аудиту й проєктування будівель.

В межах розділу проведено моделювання параметрів енергоефективності будівель, наведених у табл. 2.1, за вітчизняною та міжнародною методиками.

3.1 Параметр «потреба теплової енергії на опалення»

Скрипт для розрахунку параметра «потреба теплової енергії на опалення» наведений у додатках А.1.1 та А.1.2 відповідно. За результатами розрахунку було отримано такі дані:

- потреба теплової енергії на опалення за ДСТУ 9190 – 17204.1 кВт·год;

– потреба теплової енергії на опалення за ISO 52016-1 – 18716.3 кВт·год.

Різницю можна пояснити тим, що вітчизняний розрахунок є квазістаціонарним і працює з усередненими місячними температурами та зведеними коефіцієнтами використання внутрішніх і сонячних надходжень, які частково «занижують» розрахункову потребу в теплі. У моделі ISO було обчислено погодинну динаміку з жорстким підтриманням температури 20 °С у кожному годину, тому всі короточасні піки тепловтрат (особливо в холодні періоди) повністю перекриваються системою опалення і дають більшу сумарну енергію. Отже, такий динамічний підхід виявляється «жорсткішим» до умов експлуатації будівлі та, відповідно, розраховує вищу річну потребу в енергії, ніж спрощена місячна модель ДСТУ.

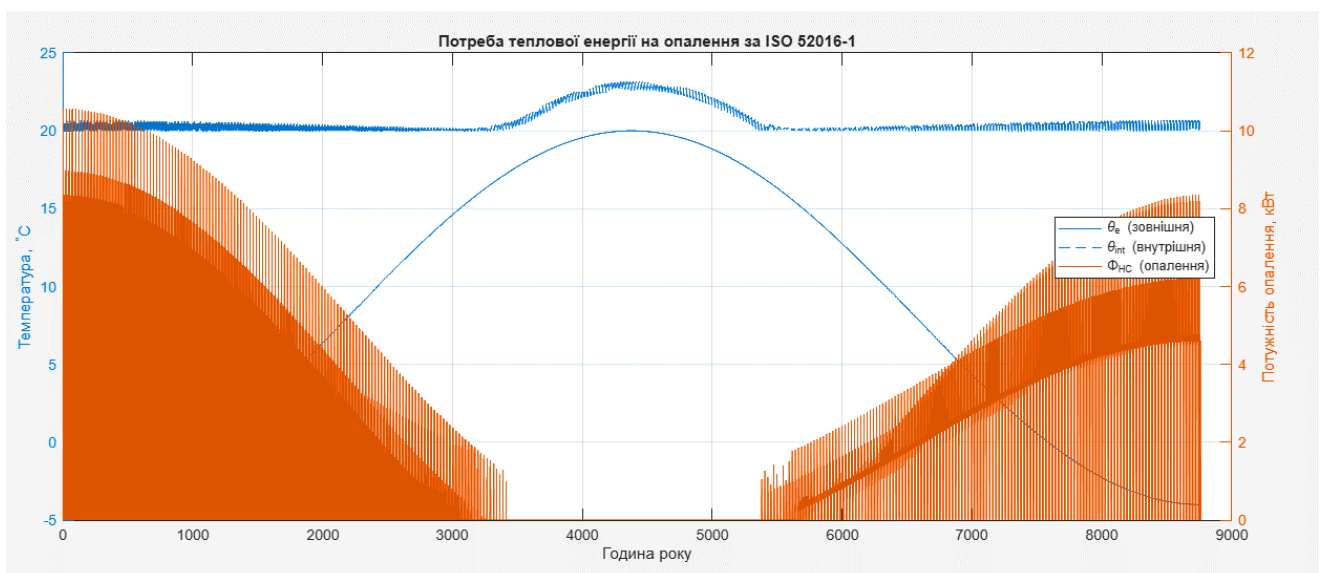


Рисунок 3.1 – Результат моделювання розрахунку потреби теплової енергії на опалення за ISO 52016-1

Структура обчислень безпосередньо відтворює математичні моделі, закладені у ДСТУ та ISO 52016-1, тому кожен блок коду відповідає окремим доданкам енергетичного балансу будівлі. У частині за ДСТУ використовується місячний підхід із сталими значеннями коефіцієнтів теплопередачі H_T , H_V та усередненими зовнішніми температурами для Івано-Франківського регіону [1], що відповідає квазістаціонарній постановці задачі для розрахунку сумарної потреби в теплоті. Натомість модель за ISO реалізує диференціальне рівняння

теплового балансу для внутрішньої температури з урахуванням теплоємності внутрішніх мас C_{int} , що потребує дискретизації за часом (погодинний крок) і ітераційного оновлення $\theta_{int}(t)$. Введені в коді потоки $\Phi_{int}(t)$, $\Phi_{sol}(t)$ та $\Phi_{HC}(t)$ описують відповідно внутрішні, сонячні та системні надходження тепла, тому їхня наявність є необхідною для коректного відтворення динаміки температури й споживання теплової енергії. Додатково алгоритм керування опаленням (вмикання Φ_{HC} у разі падіння температури нижче setpoint) відображає реальну роботу системи опалення, а синусоїдальна апроксимація зовнішньої температури забезпечує відповідність багаторічним кліматичним умовам Івано-Франківська, що дозволяє провести репрезентативне моделювання річного навантаження (рис. 3.1).

3.2 Параметр «тепловтрати через огорожувальні конструкції»

Скрипт для розрахунку параметра «потреба теплової енергії на опалення» наведений у додатках А.2.1 та А.2.2 відповідно. За результатами розрахунку було отримано такі дані:

- сумарні річні тепловтрати через огороження за ДСТУ 9190 – 8401.8 кВт·год;
- сумарні річні тепловтрати через огороження за ISO 52016-1 – 9261.1 кВт·год.

Різницю тут можна пояснити аналогічно до п.3.1: за ДСТУ 9190 тепловтрати через огороження розраховуються за усередненими місячними температурами, тому нічні й короткочасні провали температури нівелюються в межах місяця і дають менший сумарний результат. В межах моделі ISO 52016-1 ми враховуємо погодинний профіль зовнішньої температури, тож усі холодні години (особливо нічні та перехідні періоди) повністю потрапляють у розрахунок і збільшують інтеграл тепловтрат. Додатково, у динамічній моделі ISO береться безперервна різниця $\theta_{int}(t) - \theta_e(t)$ без спрощень у вигляді «нічних відключень» чи укрупнених коефіцієнтів, тому сумарні втрати через огороження закономірно виявляються вищими.

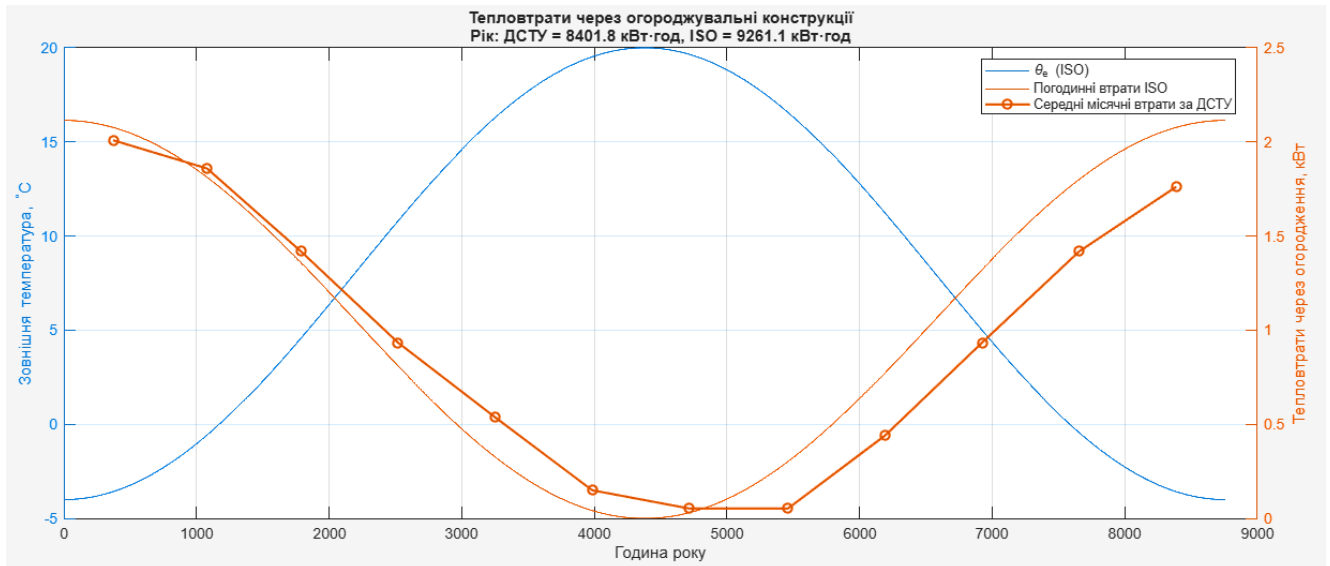


Рисунок 3.2 – Результат моделювання розрахунку погодинних тепловтрат через огорожувальні конструкції за ISO 52016-1 та ДСТУ 9190

Наведений у додатку А.2.1 код відтворює статичну постановку задачі, де тепловтрати через огороження описуються інтегральним коефіцієнтом теплопередачі $H_T = \sum(U_i \cdot A_i)$, що є сталим для заданої будівлі. У цьому підході часовий аспект враховується лише через тривалість місяця й усереднену зовнішню температуру, тому розрахунок зводиться до визначення сумарної енергії за опалювальний період. Натомість у блоці за ISO 52016-1 той самий H_T використовується вже в динамічному виразі $\Phi_T(t) = H_T \cdot [\theta_{int}(t) - \theta_e(t)]$, який дозволяє отримати погодинний профіль втрат тепла. Задання зовнішньої температури як періодичної функції часу, наближеної до клімату Івано-Франківського, забезпечує коректне представлення сезонних коливань навантаження. Розрахунок і візуалізація $\Phi_T(t)$ у вигляді графіка (рис. 3.2) дають змогу не лише оцінити річну енергію втрат, але й проаналізувати пікові періоди теплового навантаження, що важливо для проєктування систем опалення та термомодернізації.

3.3 Параметр «вентиляційні та інфільтраційні тепловтрати»

Скрипт для розрахунку параметра «вентиляційні та інфільтраційні тепловтрати» наведений у додатках А.3.1 та А.3.2 відповідно. За результатами розрахунку було отримано такі дані:

- коефіцієнт вентиляційних тепловтрат $H_V = 42.5$ Вт/К
- річні вентиляційні та інфільтраційні тепловтрати за ДСТУ 9190 – 4053.1 кВт·год
- річні вентиляційні та інфільтраційні тепловтрати за ISO 52016-1 – 4467.6 кВт·год

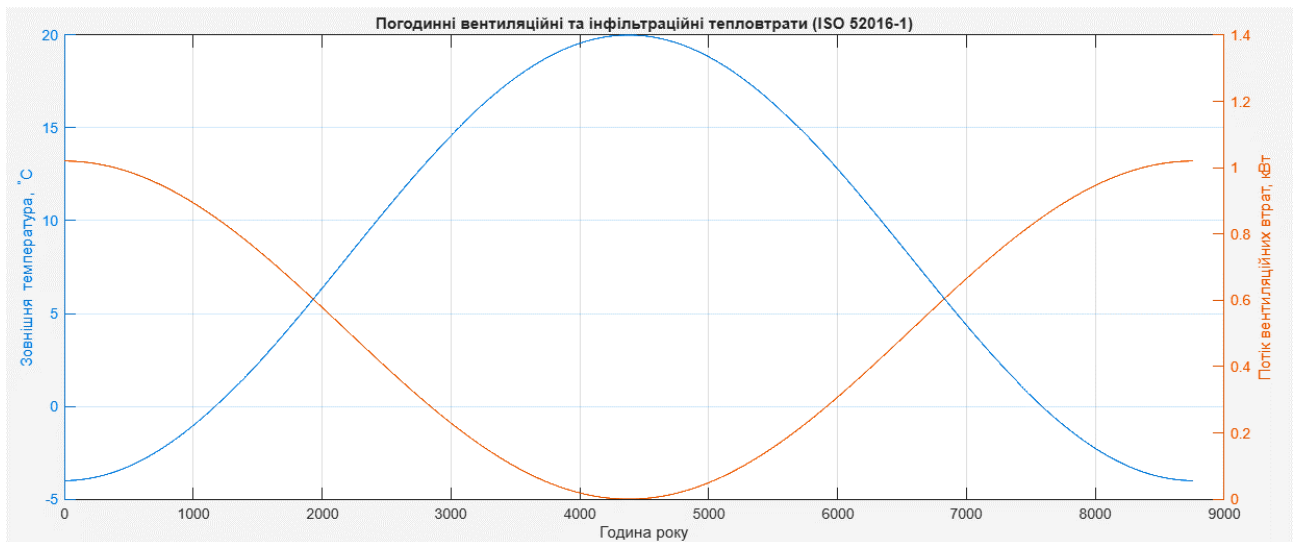


Рисунок 3.3 – Результат моделювання розрахунку погодинних вентиляційних та інфільтраційних тепловтрат за ISO 52016-1

У наведених моделях вентиляційні та інфільтраційні тепловтрати описуються через еквівалентний коефіцієнт теплопередачі $H_V = 0,34 \cdot n \cdot V$, де V – об’єм приміщення (м^3), а n – кратність повітрообміну (1 /год), що агрегує як організовану вентиляцію, так і неконтрольовану інфільтрацію. Множник 0,34 походить із добутку питомої теплоємності повітря та його густини, приведених до одиниці часу, тому H_V має розмірність Вт / К і дозволяє лінійно пов’язати різницю температур $\theta_{int} - \theta_e$ з потоком тепла. У розрахунку за методикою ДСТУ 9190 застосовується квазістаціонарний підхід із використанням середньомісячних зовнішніх температур $\theta_{e,m}$ та сталої внутрішньої температури

$\theta_{int,set}$, що дає змогу оцінити сумарні втрати за опалювальний період без урахування внутрішньодобових коливань. Натомість реалізація за ISO 52016-1 оперує погодинним потоком $\Phi_V(t)$, де зовнішня температура моделюється сезонною функцією часу, прив'язаною до кліматичних умов Івано-Франківського регіону. Така дискретизація за часом дозволяє детально аналізувати зміну вентиляційних навантажень упродовж року, виділяти пікові періоди втрат та коректно зіставляти їх із іншими складовими теплового балансу будівлі.

3.4 Параметр «сонячні теплові надходження»

Скрипт для розрахунку параметра «сонячні теплові надходження» наведений у додатках А.4.1 та А.4.2 відповідно. За результатами розрахунку було отримано такі дані:

- сумарні річні сонячні теплові надходження за ДСТУ 9190 – 7458.0 кВт·год;
- сумарні річні сонячні теплові надходження за ISO 52016-1 – 3426.4 кВт·год.

Місячна модель за ДСТУ 9190 оперує укрупненими значеннями сонячної радіації G_m (часто для оптимальної орієнтації та доволі «сонячних» умов) і множить їх на сталий коефіцієнт пропускання та затінення, фактично припускаючи, що вікна ідеально приймають сонячну енергію протягом усього розрахункового періоду. У динамічній моделі за ISO 52016-1 ми використовуємо погодинні профілі сонячної радіації: з урахуванням нічних годин, низького стояння сонця, похмурих/міжсезонних періодів, а також більш реалістичних коефіцієнтів затінення, тому інтегральні надходження закономірно виходять нижчими. Додатково впливає те, що в ISO-моделі сонячний потік часто зменшується через поведінку користувачів (жалюзі, штори, зменшення прозорості площі в окремі години), тоді як у спрощеному ДСТУ-розрахунку ці ефекти або не враховуються взагалі, або введені як надто великі показники. Внаслідок цього модель за ДСТУ переоцінює корисні сонячні надходження, тоді як динамічна реалізація ISO дає більш стримане і фізично реалістичне значення.

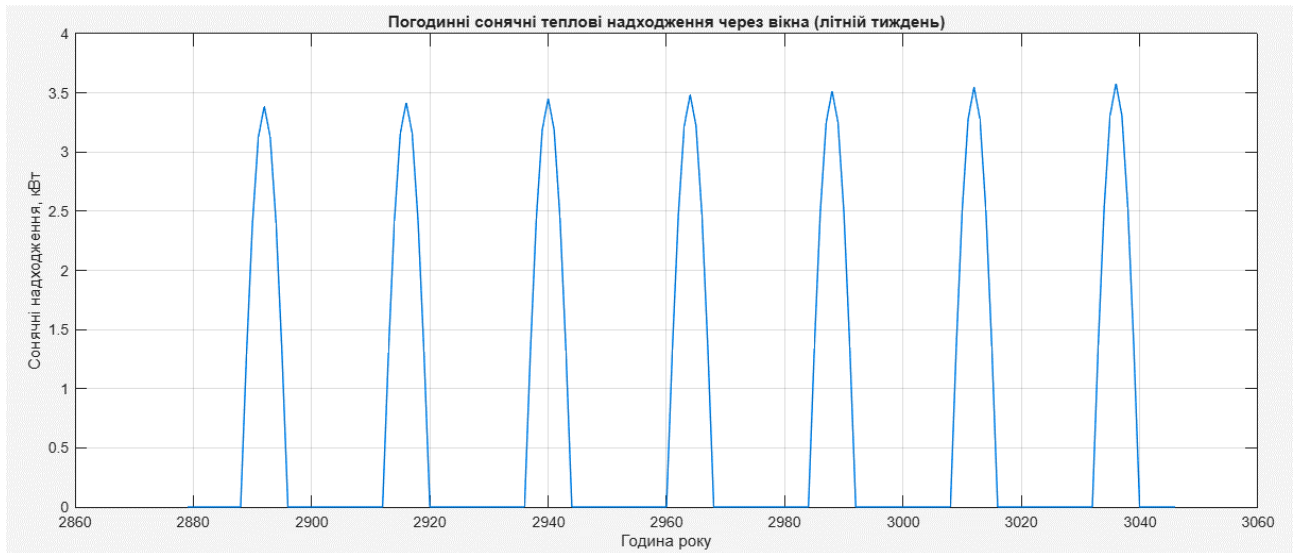


Рисунок 3.4 – Результат моделювання розрахунку погодинних сонячних теплових надходжень через вікна протягом літнього тижня за ISO 52016-1

У розрахунках сонячних теплових надходжень використовуються три ключові групи величин: геометричні параметри огорожень (площа світлопрозорих конструкцій A_{gl}), оптичні властивості огорожень (зведений коефіцієнт пропускання сонячної енергії g_{gl} та коефіцієнт затінення F_{sh}) і сонячна радіація на поверхню (G_m або $E_{sol}(t)$). У ДСТУ-моделі ці параметри агрегуються на рівні місяця, тому використовуються сумарні місячні значення сонячної радіації G_m , що дозволяє швидко оцінити річні надходження без моделювання внутрішньодобових змін. У моделі за ISO 52016-1 сонячна радіація описується як функція часу $E_{sol}(t)$, де добовий профіль відтворює зміну висоти сонця протягом дня, а сезонний множник – зміну сонячної активності впродовж року, характерну для широт, близьких до Івано-Франківська. Саме тому в межах коду використовуються окремі масиви для дня року (doy) та години доби (hod), що дозволяє сформувати реалістичний погодинний профіль $E_{sol}(t)$ і, відповідно, $\Phi_{sol}(t)$. Така деталізація є необхідною для динамічного енергетичного балансу будівлі, де сонячні надходження суттєво впливають на внутрішню температуру та потребу в опаленні / охолодженні.

3.5 Параметр «внутрішні тепловиділення»

Скрипт для розрахунку параметра «внутрішні тепловиділення» наведений у додатках А.5.1 та А.5.2 відповідно. За результатами розрахунку було отримано такі дані:

- сумарна потужність внутрішніх тепловиділень $\varphi_{int} = 2000.0$ Вт;
- річні внутрішні тепловиділення за ДСТУ 9190 – 7884.0 кВт·год;
- річні внутрішні тепловиділення за ISO 52016-1 – 11807.8 кВт·год.

Підвищене значення річних внутрішніх тепловиділень у моделі ISO 52016-1 порівняно з ДСТУ 9190 пояснюється різним рівнем деталізації часових профілів і припущень щодо режиму використання приміщень. У квазістаціонарному розрахунку за ДСТУ внутрішні надходження задаються через усереднені питомі потужності та фіксовану тривалість перебування людей у приміщенні, до того ж із урахуванням коефіцієнта використання, який частково знижує ефективний обсяг тепловиділень. У динамічній схемі ISO внутрішні джерела тепла моделюються погодинно, із розділенням внеску від людей, обладнання й освітлення, що працюють за більш інтенсивним добовим графіком, без додаткового укрупненого зменшення через узагальнені коефіцієнти. У результаті інтегрування погодинних теплових потоків дає суттєво більшу річну суму, що відображає більш реалістичне, з точки зору експлуатації, використання приміщень упродовж доби та року.

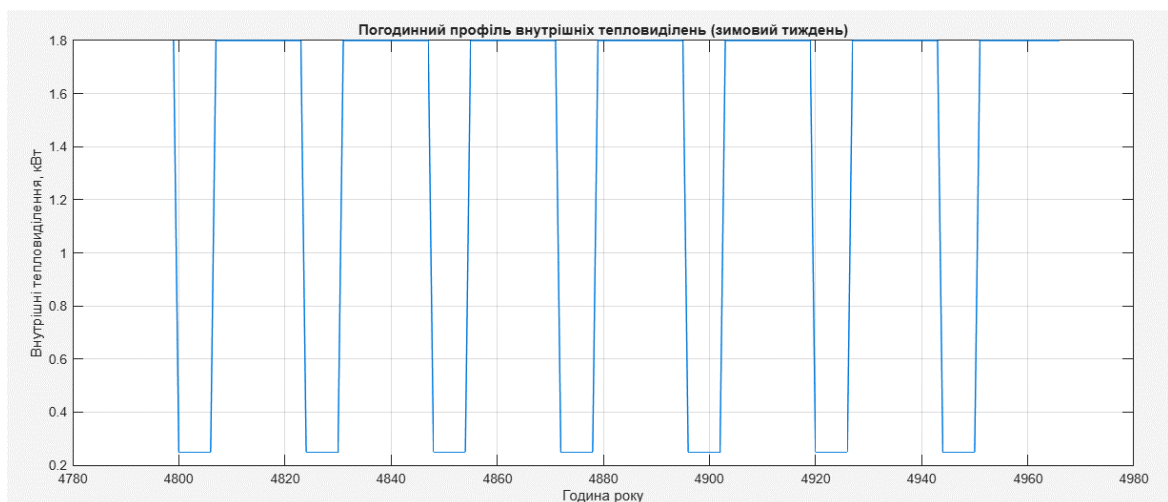


Рисунок 3.5 – Результат моделювання розрахунку погодинного профілю внутрішніх тепловиділень у зимовий тиждень за ISO 52016-1

У моделюванні внутрішніх тепловиділень ключову роль відіграють площа зони A_f та питомі теплові потужності від різних джерел (люди, побутова техніка, освітлення), які задаються у вигляді питомих навантажень у Вт / м². У квазістаціонарному підході за ДСТУ 9190 ці потужності вважаються сталими протягом розрахункового інтервалу, а часовий аспект враховується лише через тривалість зайнятості приміщення за місяць, що дозволяє визначити сумарні внутрішні надходження енергії без деталізації добового профілю. Натомість у рамках ISO 52016-1 внутрішні тепловиділення описуються як погодинна функція $\Phi_{int}(t)$, де питомі навантаження змінюються залежно від години доби та режиму експлуатації (денна активна фаза, вечірнє використання, нічний мінімум). Тому в межах коду введено розклади присутності та роботи обладнання через логічні масиви `is_day`, які керують значеннями питомих навантажень у кожен годину. Така деталізація необхідна для коректного відтворення динаміки внутрішніх джерел тепла, що суттєво впливають на баланс опалення й охолодження будівлі впродовж доби та року.

3.6 Параметр «внутрішня температура»

Скрипт для розрахунку параметра «внутрішня температура» за методикою ISO 52016-1 наведений у додатку А.6. У методиці ДСТУ внутрішня температура не розраховується динамічно, а задається як нормативна розрахункова: для житлових приміщень зазвичай приймають $\theta_{int,set} = 20^\circ\text{C}$ (або інше нормоване значення), і далі всі потреби / втрати тепла розраховуються відносно цієї сталої величини. Тому окремий код для ДСТУ-моделі не потрібен – температура фігурує як задана константа, а не як результат моделювання.

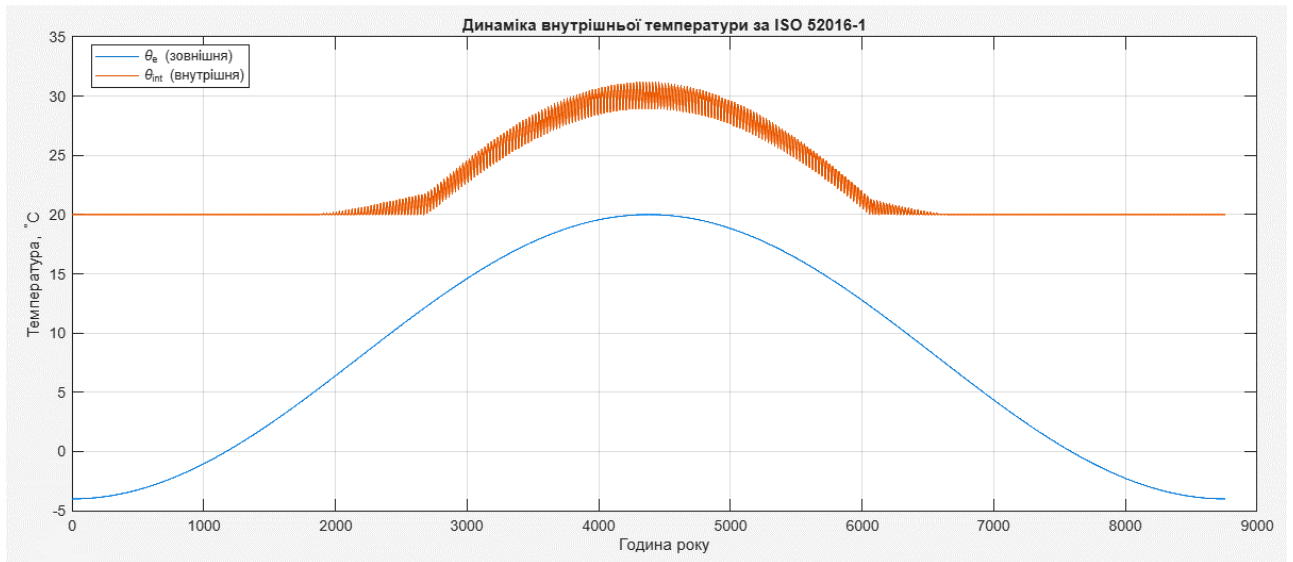


Рисунок 3.6 – Результат моделювання динаміки внутрішньої температури (за відсутності системи охолодження) за ISO 52016-1

У моделі, що відповідає ISO 52016-1, внутрішня температура приміщення розглядається як результат балансу між тепловими надходженнями та втратами, а не як заданий параметр. Саме тому в кодї явно вводяться коефіцієнти теплопередачі H_T та H_V , ефективна теплоємність C_{int} , зовнішня температура $\theta_e(t)$, внутрішні тепловиділення $\Phi_{int}(t)$ та сонячні надходження $\Phi_{sol}(t)$, які формують праву частину диференціального рівняння теплового балансу. Дискретизація за часом із кроком 1 година реалізується методом Ейлера, що дозволяє поетапно оновлювати $\theta_{int}(t)$ з урахуванням змін кліматичних умов і режимів експлуатації будівлі. Введений у модель простий алгоритм керування опаленням (увімкнення $\Phi_{HC}(t)$ при загрозі падіння температури нижче заданого setpoint) імітує роботу реальної системи опалення, яка намагається підтримувати нормативну температуру у внутрішньому середовищі. Внаслідок цього внутрішня температура перестає бути абстрактною константою і перетворюється на фізично обґрунтовану динамічну величину, чутливу до зміни як кліматичних впливів, так і параметрів енергоефективності огорожень та інженерних систем.

3.7 Параметр «теплова інерційність будівлі»

Скрипт для розрахунку параметра «теплова інерційність будівлі» наведений у додатках А.7.1 та А.7.2 відповідно.

У межах чинних українських нормативних документів теплова інерційність будівельних огорожень не моделюється як окрема динамічна характеристика, а її вплив враховується опосередковано – через коригувальні коефіцієнти до розрахункових тепловтрат та теплового навантаження. Такий підхід дозволяє спростити процедуру розрахунку, однак не дає змоги кількісно описати часову реакцію будівлі на зміни зовнішніх кліматичних умов чи внутрішніх теплових надходжень. У результаті масивні та легкі огороження можуть мати однакові розрахункові показники за статичною схемою, хоча їхня фактична поведінка у перехідних режимах (нічне охолодження, короткочасні відлиги, інтенсивні сонячні періоди) суттєво відрізняється.

Саме тому у рамках дослідження було розроблено власну спрощену динамічну модель теплової інерційності, в якій теплова ємність внутрішніх мас будівлі явно вводиться у вигляді параметра C_{int} , а вплив огорожень на внутрішню температуру описується через часову сталу $\tau = C_{int}/H_{tot}$. Така модель, реалізована в середовищі MATLAB, надала змогу порівнювати «легкі» та «важкі» будівлі на основі їхньої здатності згладжувати добові коливання температури, оцінювати швидкість охолодження / нагрівання та кількісно аналізувати роль теплової інерційності в загальному енергетичному балансі. Крім того, запропонований підхід забезпечує часткову узгодженість з методологією ISO 52016-1, де динамічні властивості огорожень відіграють ключову роль, і тим самим заповнює методологічний розрив між національними спрощеними розрахунками та сучасними європейськими практиками енергетичного моделювання будівель.

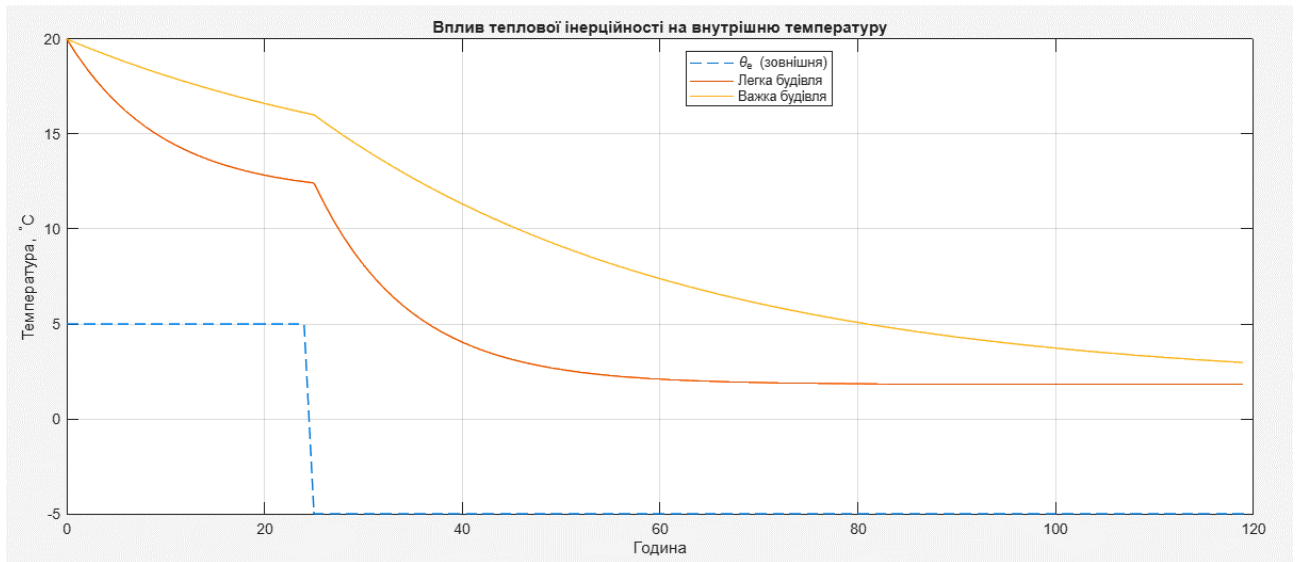


Рисунок 3.7 – Результат моделювання впливу теплової інерційності на внутрішню температуру (під час переходу «осінь – зима») за ISO 52016-1

У статичному підході теплову інерційність доцільно характеризувати через ефективну теплоємність внутрішніх мас будівлі C_{int} та часову сталу $\tau = C_{int}/H_{tot}$, яка показує, наскільки швидко змінюється внутрішня температура у відповідь на зовнішні збурення. Саме тому в ДСТУ-моделі спочатку обчислюється питома теплоємність шарів конструкцій $\sum \rho_i \cdot c_i \cdot d_i$, далі – загальна C_{int} і, нарешті, часова стала як показник інерційності. У рамках ISO 52016-1 теплова інерційність входить безпосередньо у диференціальне рівняння у вигляді множника при похідній $C_{int}d\theta_{int}/dt$, тому зміна C_{int} змінює швидкість реакції будівлі на зміну зовнішньої температури чи внутрішніх надходжень. Моделювання двох варіантів з різними C_{int} демонструє, що «важка» будівля має більш згладжені та повільніші коливання внутрішньої температури, тоді як «легка» значно швидше охолоджується чи нагрівається.

3.8. Параметр «режими роботи систем опалення та охолодження»

Скрипт для розрахунку параметра «режими роботи систем опалення та охолодження» наведений у додатках А.8.1 та А.8.2 відповідно. За результатами розрахунку відповідно до ДСТУ-моделі було отримано такі дані:

- ефективні години роботи опалення за рік – 3914 год;
- ефективні години роботи охолодження за рік – 1452 год.

За цією моделлю задаємо розклад (коли система може працювати) і за ним рахуємо ефективний час роботи за рік. За методикою ISO 52016-1 режими роботи реалізуються через контрольні температури та розклади: взимку – опалення підтримує $\theta_{int} \geq \theta_{H,set}$; влітку – охолодження не дає перевищити $\theta_{C,set}$; у різний час доби – різні setpoint (наприклад, нічний знижений режим).

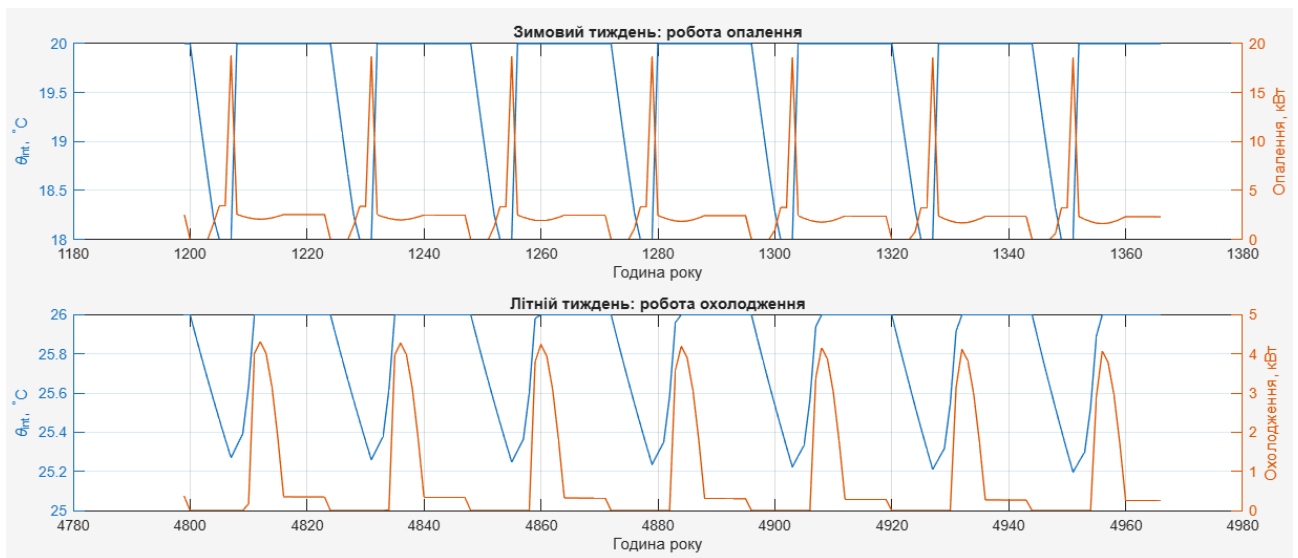


Рисунок 3.8 – Результат моделювання режимів роботи опалення / охолодження у зимовий / літній тиждень за ISO 52016-1

На графіку, наведеному на рис. 3.8, пікові значення потужності опалення та охолодження є наслідком закладеного в моделі дискретного керування із годинним кроком. У зимовий період будівля за ніч охолоджується, а вранці алгоритм порівнює прогнозовану «вільну» температуру з розрахунковим setpoint і, у разі дефіциту, вмикає опалення такою потужністю, щоб за один крок довести температуру до 20 °С, що породжує короткі високі імпульси та подальші низькі «полиці» підтримувального режиму. Аналогічно, влітку, коли у денні години внутрішня температура через сонячні та внутрішні надходження перевищує заданий ліміт, система охолодження формує імпульсні піки холодопродуктивності, після чого вимикається або зводиться до мінімуму, а будівля далі реагує за рахунок власної теплової інерційності. Таким чином, характерні зубчасті форми синіх і помаранчевих кривих відображають

поєднання інерційності огорожень, добових коливань зовнішніх умов та дискретної логіки увімкнення / вимкнення систем опалення й охолодження.

У спрощеному, типовому для ДСТУ 9190, описі режими роботи систем опалення й охолодження задаються через розклад – добові та сезонні інтервали, коли обладнання може бути увімкнене, що дозволяє оцінити ефективну тривалість роботи за рік і врахувати її у місячних енергетичних балансах. У динамічній моделі ISO 52016-1 режими роботи реалізуються як кінцеві умови керування: для кожної години задаються допустимі діапазони внутрішньої температури (від $\theta_{H,set}$ до $\theta_{C,set}$) та перевіряється, чи дозволений у цей момент опалювальний або охолоджувальний режим. Саме тому в межах коді спочатку обчислено «вільну» температуру θ_{free} , а потім, залежно від її відхилення від заданих setpoint та сезонних коливань heating_allowed / cooling_allowed, визначається потрібна потужність нагріву або охолодження. Такий підхід дозволяє одночасно врахувати як кліматичні умови, так і реальний графік експлуатації будівлі, що є критичним для коректної оцінки річних потреб в енергії на опалення та кондиціонування.

3.9 Параметр «річна потреба в енергії»

Скрипт для розрахунку параметра «річна потреба в енергії» наведений у додатках А.9.1 та А.9.2 відповідно. За результатами розрахунку було отримано такі дані:

- річна потреба в енергії за ДСТУ 9190 – 17204.1 кВт·год;
- річна потреба в енергії за ISO 52016-1 – 12717.1 кВт·год.

Отримана різниця між річною потребою в енергії свідчить про те, що динамічна модель у цьому випадку дає менше розрахункове навантаження на опалення. Це пояснюється насамперед тим, що в моделі ISO внутрішні тепловиділення та сонячні надходження враховуються погодинно з реалістичними добовими графіками, тому їхній «згладжений» кумулятивний вплив на зниження потреби в опаленні є більш відчутним, ніж у квазістаціонарній ДСТУ-моделі з фіксованими коефіцієнтами використання. Додатково в межах динамічного підходу взято до уваги теплову інерційність

огорожень: частина надлишкового тепла накопичується конструкціями та повертається в періоди знижених зовнішніх температур, що також зменшує сумарну потребу в енергії. Натомість місячна модель за ДСТУ оперує усередненими температурами та укрупненими поправками, які не повністю відображають часову структуру внутрішніх і сонячних надходжень, унаслідок чого розрахункове річне енергоспоживання виявляється завищеним порівняно з більш детальною динамічною моделлю за методикою ISO.

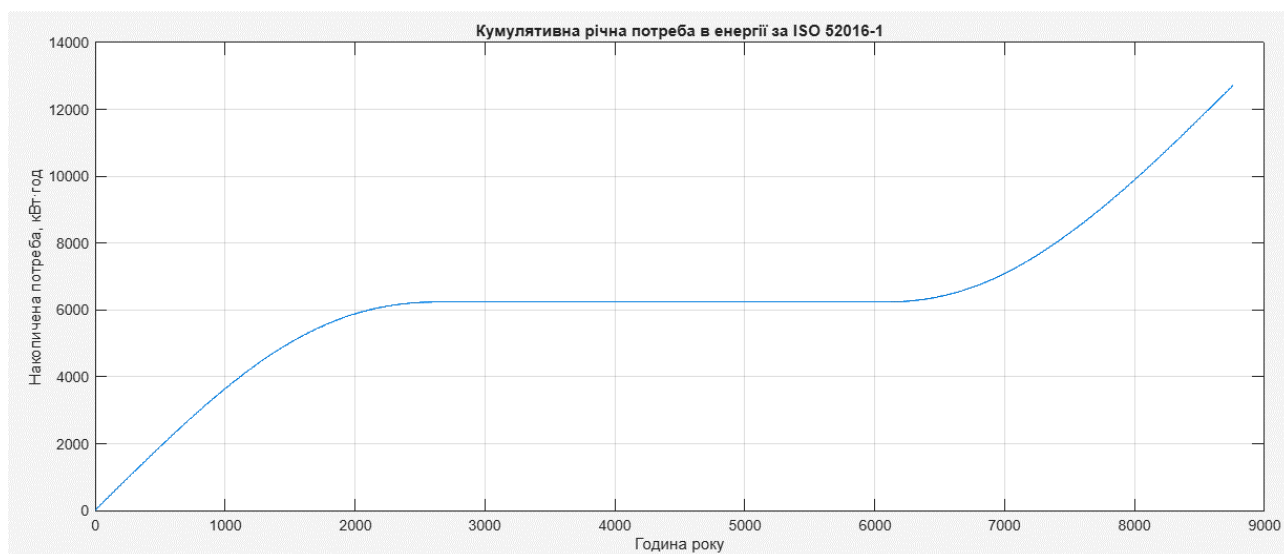


Рисунок 3.9 – Результат моделювання розрахунку кумулятивної річної потреби в енергії (протягом року) за ISO 52016-1

У вітчизняній методиці річна потреба в енергії на опалення визначається як сума місячних енергопотреб $Q_{H,year} = \sum Q_{H,m}$, де кожне $Q_{H,m}$ отримують зі стаціонарного балансу з усередненими за місяць параметрами. Такий підхід простий у реалізації, але не враховує внутрішньодобові коливання кліматичних умов і режимів експлуатації будівлі. Натомість ISO 52016-1 пропонує динамічну схему, у якій річна потреба визначається інтегруванням погодинної потужності системи опалення: $Q_{H,year} = \sum \Phi_{HC}(t) \cdot \Delta t$, що прямо реалізовано в коді через суму $phi_{HC} * dt$. Це дозволяє коректно врахувати короточасні піки навантаження, вплив теплової інерційності та реальні графіки роботи систем, роблячи оцінку річного енергоспоживання значно точнішою порівняно з квазістаціонарною місячною моделлю.

3.10 Параметр «температура внутрішніх поверхонь огорожувальних конструкцій»

Скрипт для розрахунку параметра «температура внутрішніх поверхонь огорожувальних конструкцій» наведений у додатках А.10.1 та А.10.2 відповідно. В межах розрахунку було використано такі дані:

- Місячні температури внутрішньої поверхні (°C): 17.4667 | 17.6556 | 18.2111 | 18.8222 | 19.3222 | 19.8111 | 19.9333 | 19.9333 | 19.4444 | 18.8222 | 18.2111 | 17.7778
- Мінімальна θ_{si} за рік: 17.5 °C.

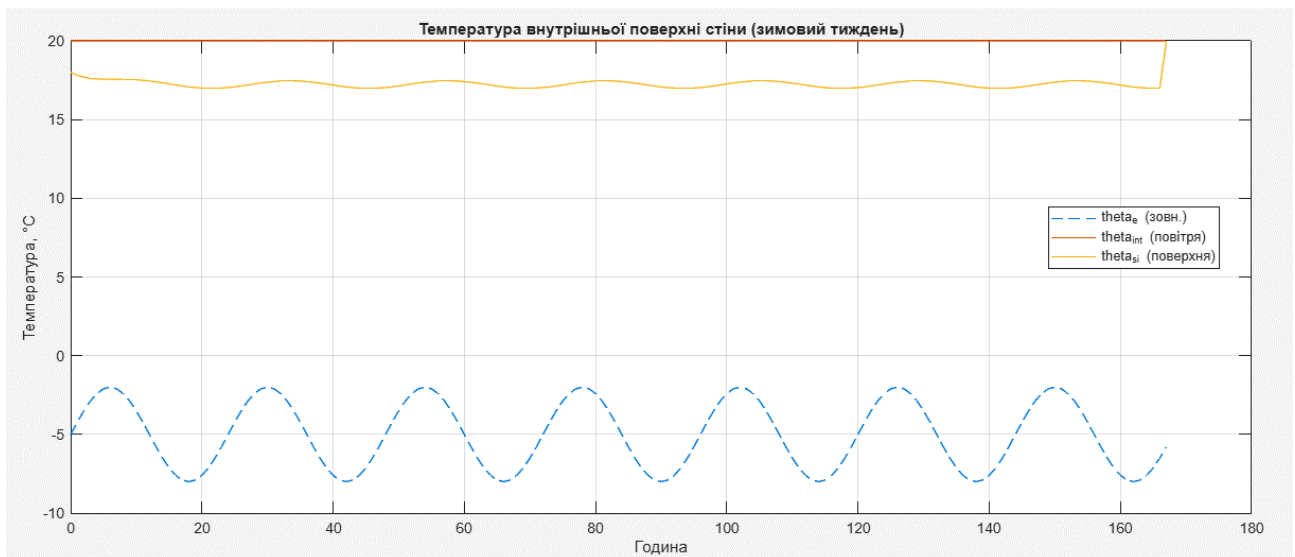


Рисунок 3.10 – Результат моделювання температури внутрішньої поверхні стіни за ISO 52016-1

Температура внутрішніх поверхонь огорожувальних конструкцій є ключовим показником не лише енергоефективності, а й теплового комфорту та гігієнічної надійності будівлі. На відміну від температури повітря, цей параметр безпосередньо впливає на середню радіаційну температуру в приміщенні, а отже – на суб’єктивне відчуття тепла користувачами. Стаціонарний підхід, що реалізується у вітчизняних нормах, дозволяє визначити мінімальні значення температури поверхні в розрахункових зимових умовах і перевірити відсутність ризику конденсації чи промерзання, проте він не враховує добової динаміки

нагріву та охолодження огорожень. Натомість динамічна модель, сумісна з ISO 52016-1, розглядає стіну як теплоємний елемент, для якого задається диференціальне рівняння теплопровідності, що описує накопичення та віддачу тепла в часі. Це дає змогу простежити, як інерційні властивості матеріалів і змінні зовнішні умови впливають на миттєве значення температури внутрішньої поверхні, включно з короткочасними паузами, важливими з точки зору утворення конденсату та росту цвілі. Поєднання стаціонарної й динамічної оцінки дає більш повну картину теплотехнічної поведінки огорожень і забезпечує аргументоване обґрунтування вибору конструктивних рішень і заходів термомодернізації.

3.11 Параметр «концентрація CO₂ у приміщенні»

Скрипт для розрахунку параметра «концентрація CO₂ у приміщенні» наведений у додатках А.11.1 та А.11.2 відповідно. За результатами розрахунку було отримано такі дані (зовнішню концентрацію CO₂ прийнято у розмірі 420 ppm):

- розрахункова внутрішня концентрація CO₂ (за ДСТУ 9190) – 1075 ppm;
- максимальна внутрішня концентрація CO₂ за добу (за ISO 17772-1) – 813 ppm;
- концентрація CO₂ наприкінці доби (за ISO 17772-1) – 487 ppm.

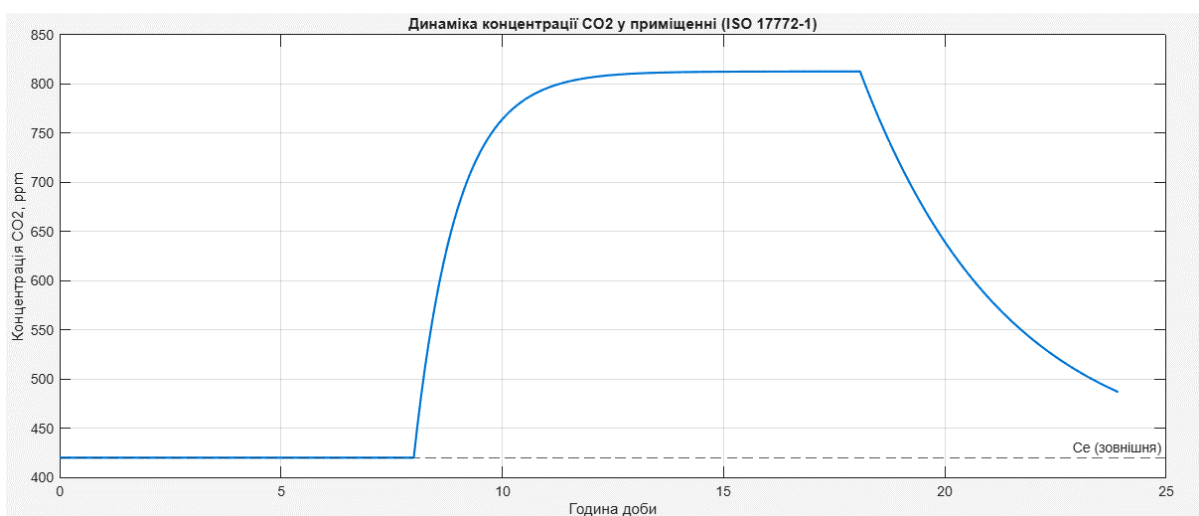


Рисунок 3.11 – Результат моделювання динаміки концентрації CO₂ у приміщенні за ISO 17772-1

У вітчизняній моделі концентрація CO₂ не задається прямо, а визначається опосередковано з рівняння повітрообміну, де всі параметри вважаються сталими для розрахункового місячного періоду. Такий підхід дозволяє оцінити лише усереднений стан і не відображає коливань концентрації протягом доби. У нормативному документі ISO 17772-1, що узгоджується з ISO 52016-1, концентрація CO₂ описується диференціальним рівнянням масового балансу, тому в коді цей параметр відтворено як функцію часу, чутливу до графіка присутності людей та змінного повітрообміну. Це дає змогу визначати пікові значення, періоди накопичення CO₂ та ефективність вентиляційних стратегій в умовах, характерних для реальної експлуатації будівель, зокрема в кліматі Івано-Франківського регіону.

Отже, реалізація розрахунків у MATLAB може бути не просто зручним обчисленням формул, а інструментом енергетичного моделювання, який дає змогу зіставляти спрощені національні підходи з сучасними європейськими практиками та зменшувати методологічний розрив між ними.

Стаціонарна модель (за методикою ДСТУ 9190) у цьому контексті є корисною як практичний «початковий етап» аналізу. Вона доречна тоді, коли вихідні дані обмежені, потрібно швидко отримати інженерно зрозумілу оцінку і порівняти варіанти рішень без надмірної складності. Стаціонарність також полегшує перевірку та пояснення результатів потенційному замовнику: припущення прозорі, а вплив основних факторів (огородження, вентиляція, надходження) відстежується простіше. Водночас в межах розділу чітко виокремлене ключове обмеження такого підходу: внутрішня температура у спрощеній методиці фактично фіксується як нормативна константа, тобто модель лише частково стосується будівлі і не відтворює її реальну реакцію на зміну умов.

Саме тому динамічна модель (на основі ISO 52016-1) є більш придатною для реалістичних розрахунків та інженерних висновків. У розділі це обґрунтовано через погодинну дискретизацію та баланс теплових надходжень і втрат, де внутрішня температура формується як результат взаємодії огорожень, вентиляції, теплової ємності, зовнішнього клімату, внутрішніх і сонячних

надходжень. Такий підхід принципово краще відображає короткочасні піки навантажень, вплив інерційності та реальні режими роботи систем, тобто те, що в експлуатації визначає і комфорт, і фактичне споживання.

Наведені у межах розділу відмінності між підходами та отриманими результатами виникають через логічну залежність від різної фізичної деталізації. Зокрема, для сонячних теплових надходжень динаміка дає більш стриману й фізично реалістичну картину, оскільки враховує нічні години, сезонні та погодні зміни, затінення і навіть поведінкові фактори на кшталт використання штор чи жалюзі, тоді як місячний підхід схильний узагальнювати й ідеалізувати умови надходження сонячної енергії. Аналогічно динамічне відтворення внутрішніх джерел тепла є сильнішою стороною, бо воно дозволяє описати їхню змінність упродовж доби й року та коректно розглянути ці надходження в контексті теплового балансу будівлі, а не розглядати їх як усереднений додаток.

Підсумовуючи вище зазначене, можна стверджувати, що стаціонарна модель може бути виправдана як швидкий, зрозумілий і надійний інструмент попередньої оцінки та порівняння рішень, тоді як динамічна модель є більш експлуатаційно орієнтованою і краще відтворює реальну поведінку будівлі, систем та користувачів. Саме тому для точніших інженерних рішень, узгоджених із сучасними підходами енергетичного моделювання, пріоритет слід надавати динамічному опису, використовуючи стаціонарний підхід як базовий рівень або етап верифікації / порівняння результатів.

РОЗДІЛ 4

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ДСТУ 9190 ТА ISO 52016-1

У попередньому розділі було проаналізовано результати моделювання основних параметрів енергоефективності за спрощеною квазістаціонарною методикою ДСТУ 9190 та динамічною методикою ISO 52016-1 / ISO 17772-1 для типової житлової будівлі в кліматичних умовах Івано-Франківська. Для кожного параметра – від тепловтрат через огороження і вентиляційних втрат до сонячних надходжень, внутрішніх тепловиділень, внутрішньої температури та концентрації CO₂ – було показано, що обидві методики дають різні числові оцінки, що зумовлено рівнем фізичної деталізації, обраним часовим кроком та способом врахування теплової інерційності будівлі. На підставі цих результатів постає питання не лише методологічних відмінностей, але й їхніх техніко-економічних наслідків: у яких випадках доцільно обмежуватися розрахунком за ДСТУ 9190, а коли раціонально застосовувати більш складну, але точнішу методику ISO 52016-1.

Для техніко-економічного порівняння доцільно виходити з того, що результат розрахунку безпосередньо впливає на два ключові аспекти – розмір річних витрат на енергоресурси та прийняті проєктні рішення (теплотехнічні характеристики огорожень, потужність інженерних систем, доцільність термомодернізаційних заходів). Якщо для однієї й тієї самої будівлі методика ДСТУ оцінює річну потребу в тепловій енергії на опалення як 17204,1 кВт·год, а модель ISO – як 12717,1 кВт·год, то різниця становить 4487 кВт·год, тобто близько 35 % відносно результату ISO. За будь-яких реалістичних тарифів на теплову енергію така похибка вже має відчутні економічні наслідки: вона змінює очікуваний строк окупності заходів з утеплення, впливає на вибір потужності котельного обладнання й може призводити до завищених експлуатаційних витрат у розрахунках або, навпаки, до недооцінки потенційної економії від модернізації.

Зручно розглядати вибір методики як компроміс між трьома групами витрат: по-перше, прямі витрати на саме моделювання (час проєктувальника, вартість програмного забезпечення, збір вихідних даних); по-друге, очікувані витрати на енергоресурси протягом життєвого циклу будівлі; по-третє, ризики прийняття некоректних рішень, які можуть призвести до перевитрат або недоінвестування в енергоефективність. Для порівняно простих об'єктів і типових рішень додаткові витрати на детальне динамічне моделювання можуть виявитися співмірними з потенційним виграшем від більш точного прогнозу споживання, тоді як для складних, високоенергоефективних чи демонстраційних будівель економічна цінність більш точної моделі істотно зростає.

Якщо умовно ввести вартість 1 кВт·год теплової енергії, позначивши її через c_H , то річні витрати на опалення за ДСТУ становитимуть $C_{\text{ДСТУ}} = 17204,1 \cdot c_H$, тоді як за ISO – $C_{\text{ISO}} = 12717,1 \cdot c_H$. Різниця $\Delta C = (17204,1 - 12717,1) \cdot c_H = 4487 \cdot c_H$ показує, на скільки зміниться оцінка річних витрат лише через вибір методики.

Для типового строку аналізу 20 років навіть без дисконтування це відповідає значній різниці у прогнозованих витратах на опалення. У реальній практиці ці величини не означають фактичної переплати або економії – енергоспоживання будівлі визначатиметься її фізичними властивостями, а не обраною методикою. Однак саме на цих прогнозних значеннях базуються рішення щодо інвестицій у термомодернізацію, вибору потужності систем, економічної доцільності додаткового утеплення тощо. Відповідно, похибка у 30-35% у розрахунковому енергоспоживанні може змістити межу окупності багатьох заходів.

Важливо зазначити, що похибки ДСТУ-методики не є систематично «у бік збільшення»: для окремих параметрів (сонячні надходження, внутрішні тепловиділення) вона, навпаки, дає завищені значення, які в підсумку частково компенсують завищені тепловтрати. У розглянутій моделі сонячні надходження за ДСТУ становили 7458,0 кВт·год, тоді як за ISO – 3426,4 кВт·год, тобто різниця перевищує 50%; внутрішні тепловиділення за ДСТУ – 7884,0 кВт·год, за ISO – 11807,8 кВт·год. Сума цих двох потоків за ДСТУ (15342 кВт·год) виявляється

близькою до суми за ISO (15234 кВт·год), однак розподіл у часі принципово різний. Це означає, що місячна модель може коректно відтворювати річні баланси, але водночас істотно спотворювати миттєві навантаження, тривалість піків і специфіку добового режиму. У техніко-економічному аспекті це важливо для проектування систем керування, складання погодинних тарифних графіків, обґрунтування встановленої потужності теплогенерувального обладнання та вибору ємності теплових акумуляторів.

З точки зору витрат на моделювання статична методика ДСТУ 9190 є очевидно дешевшою: вона потребує значно меншого обсягу вхідних даних (усереднені кліматичні параметри, інтегральні коефіцієнти теплопередачі, питомі внутрішні навантаження), простіше реалізується у табличних редакторах і може бути виконана одним спеціалістом без поглиблених навичок програмування. Середня трудомісткість розрахунку для одного варіанта будівлі може оцінюватися умовно у декілька людино-годин. Навпаки, побудова повноцінної динамічної моделі за ISO 52016-1 передбачає формування погодинних профілів зовнішньої температури, сонячної радіації, графіків присутності, режимів роботи обладнання, а також налаштування алгоритмів керування опаленням і охолодженням. Це вимагає більших витрат часу на збір вхідних даних, валідацію моделі та аналіз результатів, що доцільно лише тоді, коли очікуваний вигреш в точності й інформаційній насиченості перевищує додаткові витрати.

Для зручності інженерного аналізу доцільно оцінювати «економічну цінність» переходу від ДСТУ до ISO-моделі через порівняння зміни прогнозованої річної енергопотреби з умовною вартістю моделювання. Якщо позначити вартість детального динамічного моделювання як C_{mod} , а відносну різницю між результатами методик – як $\delta = (Q_{DSTU} - Q_{ISO})/Q_{ISO}$, то умовний строк окупності витрат на моделювання можна оцінити як:

$$T_{payback} = \frac{C_{mod}}{\delta \cdot Q_{ISO} \cdot c_H} \quad (4.1)$$

Якщо для розглянутої будівлі $Q_{ISO} = 12\,717,1 \text{ кВт}\cdot\text{год}$, $\delta \approx 0,35$, а тариф c_H прийняти 4 грн / кВт·год, то, приймаючи вартість уточнення рівною 30 тис. грн, вона окупиться приблизно за:

$$T_{payback} \approx \frac{30\,000}{0,35 \cdot 12\,717,1 \cdot 4} \approx 1,7 \text{ року.}$$

Зрозуміло, що ці розрахунки є ілюстративними, але вони показують, що для будівель із суттєвою тривалістю експлуатації та відчутними енергетичними витратами додаткові витрати на побудову динамічної моделі можуть бути економічно виправданими вже в короткостроковій перспективі.

Важливим аспектом техніко-економічного аналізу є вплив методики на вибір потужності систем опалення та охолодження. У спрощеній моделі за ДСТУ9190 пікові навантаження фактично прив'язуються до розрахункових температур зовнішнього повітря та нормативних запасів, що призводить до певного «запасу» потужності, але не завжди адекватно відображає синергетичний вплив інерційності будівлі, сонячних та внутрішніх надходжень. Натомість динамічне моделювання за ISO дозволяє отримати реальний погодинний графік потужності системи опалення й охолодження, на основі якого можна проводити статистичний аналіз – наприклад, обирати установлену потужність не за абсолютним максимумом, а за певним коефіцієнтом (наприклад, 95%), оцінюючи прийнятний рівень ризику недогріву в окремі короткочасні періоди. Зменшення встановленої потужності навіть на 10–15 % для багатоквартирного будинку чи громадської будівлі може дати істотну економію на стадії інвестицій, яка перевищить вартість детального моделювання.

З іншого боку, для малих будівель (індивідуальні житлові будинки, типові садочки, школи), де потужність систем опалення задається великим кроком типоряду й запас потужності закладається автоматично, економічний ефект від максимально точного визначення навантажень може бути не таким значним. У цих випадках більшої ваги набуває швидкість отримання результатів і нормативна узгодженість розрахунку: усі процедури енергетичної сертифікації,

затвердження проєктів і державної експертизи в Україні наразі спираються саме на ДСТУ 9190 та пов'язані з ним документи. Для таких задач застосування динамічної моделі ISO може розглядатися як додатковий інструмент внутрішнього аналізу, тоді як офіційною залишається стаціонарна методика.

Окремий напрям техніко-економічної доцільності стосується завдань енергетичної модернізації існуючих будівель. На етапі первинного скринінгу великого будинкового фонду (наприклад, для міської програми термомодернізації) застосування детальних динамічних моделей для кожної будівлі було б економічно невиправданим – обсяг вихідних даних і трудомісткість моделей занадто великі. У такій ситуації стаціонарні розрахунки за ДСТУ дозволяють швидко оцінити порядок енергоспоживання, відібрати будівлі з найбільшим потенціалом економії та сформувані пріоритетні списки для подальшого поглибленого аналізу. Натомість для обмеженої кількості пілотних об'єктів, де плануються комплексні заходи (утеплення фасадів, заміна вікон, модернізація систем опалення та вентиляції з рекуперацією, встановлення сонячних колекторів або фотоелектричних систем), динамічне моделювання за ISO 52016-1 стає техніко-економічно доцільним: точніший прогноз дозволяє адекватно оцінити енергетичний та фінансовий ефект кожного заходу, уникнути надмірного утеплення чи завищення потужності обладнання та обґрунтувати інвестиційні рішення перед кредиторами або донорами.

Для ілюстрації такого підходу доцільно використати простий MATLAB-скрипт, який на основі отриманих у розділі результатів оцінює різницю витрат для обох методик у залежності від тарифу та тривалості розрахункового періоду. Скрипт коду наведено у Додатку Б.

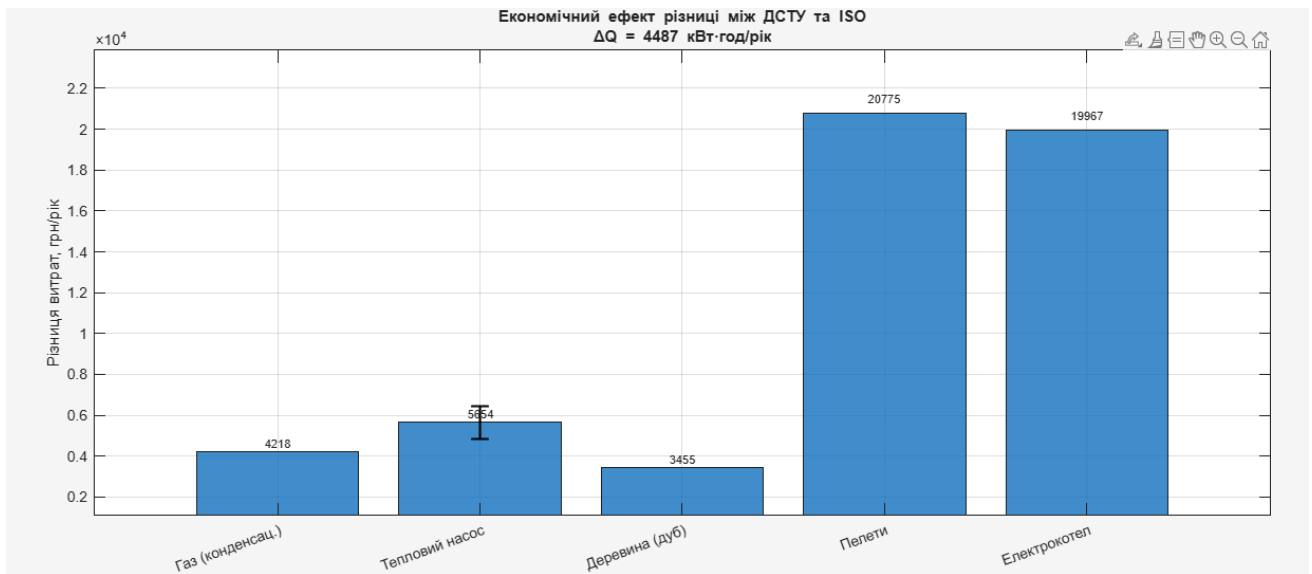


Рисунок 4.1 – Результат розрахунку економічного ефекту різниці у споживанні енергії між ДСТУ 9190 та ISO 52016-1 для різних енергетичних ресурсів

У межах коду різниця визначається насамперед вхідним параметром dQ_{kWh} , який дозволяє обчислити економічний ефект як від загальної (сумарної) різниці витрат, так і для кожного із параметрів (наведених у табл. 2.1) окремо. Такий скрипт не є самодостатньою економічною моделлю, але він дозволяє швидко оцінити порядок впливу вибору методики на прогнозні витрати. Надалі його можна розширити, додавши дисконтні коефіцієнти, сценарії зміни тарифів, різні варіанти модернізаційних заходів тощо.

Підсумовуючи техніко-економічний аналіз, можна сформулювати такі узагальнені висновки щодо доцільності застосування кожної з методик.

– Розрахунок за ДСТУ 9190 є економічно виправданим для початкових стадій проектування, для типових житлових і громадських будівель зі стандартними режимами експлуатації, а також для задач масового скринінгу енергоефективності, де важливими є швидкість, простота та нормативна сумісність. У цих випадках квазістаціонарна модель забезпечує достатню точність для попереднього вибору конструктивних рішень, орієнтовної оцінки енергоспоживання й класифікації будівель за рівнем енергоефективності.

– Натомість, динамічне моделювання за ISO 52016-1 / ISO 17772-1 стає техніко-економічно доцільним у ситуаціях, коли потрібна підвищена точність

прогнозу, коли розглядаються складні режими експлуатації (змінні графіки присутності, інтенсивна інсоляція, використання нічного охолодження), коли будівля проєктується як високоенергоєфективна або майже нульова за споживанням енергії, а також коли інвестиції в енергоєфективність є значними й потребують ґрунтового обґрунтування для фінансових інституцій. У таких випадках додаткові витрати на побудову та валідацію динамічної моделі окупаються за рахунок зменшення невизначеності, оптимізації потужності систем і більш точного прогнозу енергетичного та економічного ефекту заходів.

Таким чином, питання «За яким нормативним документом доцільно розраховувати параметри енергетичної ефективності будівель?» не має універсальної відповіді і залежить від масштабу проєкту, необхідної точності, доступності вихідних даних і вимог замовника.

Найбільш раціонально – розглядати стаціонарну методику ДСТУ 9190 як базовий рівень аналізу, що забезпечує швидкість і нормативну сумісність, а динамічну методику ISO 52016-1 – як інструмент поглибленого техніко-економічного обґрунтування для об'єктів, де від енергетичного моделювання очікується не лише відповідність нормам, а й підтримка стратегічних інвестиційних рішень.

ВИСНОВКИ

Енергоефективність будівель у роботі розглянуто як стратегічний інструмент енергетичної безпеки, економічної стабільності та екологічної стійкості України, актуальність якого додатково посилюють воєнні виклики, енергетична криза й потреба виконувати міжнародні зобов'язання щодо скорочення викидів CO₂. У межах аналізу стану проблеми показано, що сектор нерухомості в Україні споживає значну частку енергії, а втрати зумовлюються застарілими технологіями будівництва й експлуатації, низькою теплоізоляцією та неефективними системами опалення / вентиляції, що підвищує витрати на енергоресурси та загострює залежність від енергопостачання. Обґрунтовано, що ефективне вирішення проблеми потребує комплексного підходу: поєднання технологічної модернізації, фінансових стимулів (пільгове фінансування, підтримка енергоаудитів), регуляторних змін та освітньо-просвітницьких заходів, а також розвитку фахових компетентностей у сфері енергоефективності.

У процесі виконання завдання щодо аналізу нормативної бази встановлено, що методичну основу європейського регулювання формують вимоги Директиви 2010/31/ЄС (мінімальні рівні енергоефективності, сертифікація, контроль інженерних систем, стратегія реновації), а також стандартизаційні підходи EN 15217 і EN 52016 щодо представлення показників, класифікації та річного енергобалансу. Показано, що в Україні відбувається поетапна гармонізація й розвиток системи нормування: від посилення вимог до огорожувальних конструкцій до впровадження комплексних ДБН, які закріплюють розгляд будівлі як єдиної енергетичної системи та підтримують параметричний підхід нормування.

Ключовим результатом порівняльного аналізу методик є обґрунтування того, що відмінності між українськими та міжнародними підходами мають системний характер і впливають із принципу побудови розрахункової моделі. Українські методики (зокрема в логіці ДСТУ 9190) спираються на статичну / усереднену схему, тоді як ISO-підхід інтегрує часову динаміку в рівняння теплового балансу, що підвищує точність, дозволяє моделювати пікові

навантаження, теплову інерцію та параметри комфорту. Виявлено причинно-наслідковий ланцюг розбіжностей: за спільної фізичної основи теплопередачі й акумуляції теплоти принципові відмінності виникають через вибір часової моделі, форму кліматичних даних, підходи до оцінки тепловтрат/надходжень та способи врахування внутрішньої температури й роботи інженерних систем; саме тому у роботі акцентовано на необхідності «логіки параметрів» як елементів єдиної системи енергобалансу.

Окремо доведено прикладну значущість проблеми «непорівнюваних величин»: у сфері енергоефективності однаково названі показники можуть мати різний фізичний зміст або бути визначені в різних системах відліку (розмірність, часові/просторові інтервали, умови розрахунку), тому пряме зіставлення результатів без урахування методичних відмінностей призводить до хибних висновків. Це пояснює, чому узгодження методик є необхідним для коректної інтерпретації показників у проектуванні, сертифікації та енергоаудиті й для зменшення ризику помилкового ранжування заходів термомодернізації та некоректного прогнозування ефекту від їх запровадження.

У частині моделювання підтверджено доцільність використання комп'ютерного середовища MATLAB як інструмента, що дозволяє формалізувати алгоритми розрахунку й відтворити як квазістаціонарні підходи за ДСТУ 9190, так і динамічні моделі за ISO 52016-1, враховуючи множину взаємопов'язаних факторів (огородження, вентиляцію/інфільтрацію, внутрішні та сонячні надходження, теплову інерційність, режими роботи систем, якість повітря тощо). Наголошено, що візуалізація часових рядів і прозорість розрахункових кроків підсилюють аргументацію (показують роль інерційності, вентиляції, надходжень), а збереження формул і проміжних обчислень у відкритих скриптах забезпечує відтворюваність і можливість незалежної верифікації в практиці енергоаудиту та проектування.

Техніко-економічне обґрунтування, виконане на завершальному етапі роботи, доводить, що вибір методики розрахунку може змінювати не лише отримані в межах звіту значення, а й економічний сенс управлінських рішень: різниця в оціненій потребі / споживанні енергії трансформується у відмінності

вартості теплової енергії за різних енергоресурсів, що безпосередньо впливає на обґрунтування доцільності заходів і вибір інженерних рішень.

Практична цінність результатів підсумовується тим, що розроблені скрипти дають змогу оперативно виявляти й кількісно оцінювати розбіжності між ДСТУ та ISO за однакових вихідних даних, виділяти «зону невідповідності» та пов'язувати її з конкретними параметрами будівлі й умовами експлуатації, забезпечуючи підґрунтя для коректного узгодження підходів у реальних задачах енергетичного менеджменту.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Архів погоди у Івано-Франківську. URL : <https://surl.lu/wqmtma> (дата звернення : 03.12.2025).
2. Бортник Т. Ю., Мощич С. З. Інституційне забезпечення енергоефективності національної економіки. *Механізми регулювання економіки*. Вінниця, 2016. № 1. С. 42–50.
3. Вернадський В. І. Кілька слів про ноосферу. *Наука*. 1944. №54. С. 113–120.
4. Давидова Ю. В. Досвід Європейського Союзу у сфері підвищення енергоефективності. *Ефективність державного управління*. 2013. №34. С. 165 –172.
5. Дашко І. М., Крилов Д. В. Енергоефективність: проблеми оцінки та наявний стан. *Вісник Хмельницького національного університету*. 2021. №3. С.108–112.
6. ДБН В.1.2-11:2021. Основні вимоги до будівель і споруд. Енергозбереження та енергоефективність. [Чинний від 2022-09-01]. Вид. офіц. Київ : Міністерство розвитку громад та територій України, 2022.
7. ДБН В.2.6-31:2006. Теплова ізоляція будівель. [Чинний від 2007-04-01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2006.
8. ДБН В 2.6-31:2016. Теплова ізоляція будівель. [Чинний від 2017-05-01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2017.
9. ДБН В.2.6-31:2021. Теплова ізоляція та енергоефективність будівель. [Чинний від 2022-09-01]. Вид. офіц. Київ : Міністерство розвитку громад та територій України, 2022.
10. Джеджула В. В. Формування організаційно-економічного механізму підвищення енергоефективності промислових підприємств. *Економічний аналіз* : зб. наук. пр. 2013. №12(3). С. 116–118.
11. ДСТУ 9190:2022. Енергетична ефективність будівель. Метод розрахунку енергоспоживання під час опалення, охолодження, вентиляції, освітлення та гарячого водопостачання. [Чинний від 2023-03-01]. Вид. офіц. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2022.

12. ДСТУ Б EN 15603:2013 Енергетична ефективність будівель. Загальне енергоспоживання та проведення енергетичної оцінки (EN 15603:2008, IDT). [Чинний від 2014-01-01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2014.
13. ДСТУ Б EN 15217:2013 Енергетична ефективність будівель. Методи представлення енергетичних характеристик та енергетичної сертифікації будівель (EN 15217:2007, IDT). [Чинний від 2014-04-01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2014.
14. ДСТУ EN 15459-1:2017 Енергоефективність будівель. Процедура економічного оцінювання енергетичних систем будівлі. Частина 1. Процедури розрахунку, Модуль М1-14 (EN 15459-1:2017, IDT). [Чинний від 2018-07-01]. Вид. офіц. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2020.
15. Про енергетичну ефективність будівель : Закон України від 22.06.2017 р. №2118-VIII. *Відомості Верховної Ради*. 2017. №33. С. 359.
16. Заремба І. М. Проблеми оптимізації енергозабезпечення України та шляхи їх вирішення : автореф. дис. ... канд. екон. наук. Київ, 2006. 20 с.
17. Іскаков А. А., Кобушко І. М. Енергоефективність національної економіки в контексті її еколого-економічної безпеки. *Механізми регулювання економіки*. 2016. № 3. С. 88–96.
18. Кукса І. М., Сударкіна Л. Ю. Світовий досвід впровадження програм ресурсозбереження. *Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури : Економіка та управління національним господарством*. 2017. №6(11). С. 57–60.
19. Лівощко Т. В. Забезпечення ефективного управління енергоресурсами на промислових підприємствах. *Ефективна економіка*. 2022. № 1. С. 5–7.
20. Лісовий А. В. Енергетична безпека України: другий рік війни. *Modeling the development of the economic systems*. 2024. №1. С. 224–229.
21. Методика визначення економічно доцільного рівня енергетичної ефективності будівель. [Чинна від 2018-07-11]. Київ : Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, Міністерство юстиції України, 2018.

22. Методика визначення енергетичної ефективності будівель. [Чинна від 2018-07-11]. Київ : Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, Міністерство юстиції України, 2018.
23. Овсієнко О. В. Економіко-правові методи підтримки національної кампанії підвищення енергоефективності в Україні. *Ефективна економіка*. 2016. № 6. С. 7–9.
24. Про затвердження мінімальних вимог до енергетичної ефективності будівель : Наказ Міністерства розвитку громад та територій України від 27.10.2020 р. №260.
25. Собуцький С. Енергоефективність – шлях до процвітання держави. *Офіційне видання державної фіскальної служби України «Вісник офіційно про податки»*. № 10(10), 2014. С. 43–51.
26. Суходоля О. М. Енергоефективність національної економіки: методологія дослідження та механізми реалізації : монографія. Київ : НАДУ, 2006. 400 с.
27. Ущатовський К. В. Проблеми енергозбереження : монографія. Харків : ВАТ «Компанія СМІТ», 2015. 264 с.
28. Фаренюк Г. Г. Наукові основи нормативного забезпечення енергоефективності будівельних об'єктів. *Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання*. 2010. №14. С. 52–60.
29. Фаренюк Г. Г. Основи забезпечення енергоефективності будинків та теплової надійності огорожувальних конструкцій. Київ: Гама-Принт, 2009. 216 с.
30. Фаренюк Г. Г. Структура та методичні положення нормативної бази з питань енергоефективності будівель. *Наука та будівництво*. 2017, №3(13). С. 4–15.
31. Directive 2010/31/eu of the European parliament and of the council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings. *Official Journal of the European Communities*. 2010, №153. P. 13–35.

32. EN 15217:2007. Energy performance of buildings – Methods for expressing energy performance and for energy certification of buildings. [Valid from 2007-06-13]. CEN : European Committee for Standardization, 2007. 31 p.
33. EN 15603:2008. Energy performance of buildings – Overall energy use and definition of energy ratings. [Valid from 2008-01-16]. CEN : European Committee for Standardization, 2008. 43 p.
34. ISO 17772-1:2017. Energy performance of buildings – Indoor environmental quality. Part 1: Indoor environmental input parameters for the design and assessment of energy performance of buildings. [Valid from 2017-06-19]. CEN : European Committee for Standardization, 2017. 82 p.
35. ISO 52016-1:2017. Energy performance of buildings – Energy needs for heating and cooling, internal temperatures and sensible and latent heat loads. Part 1: Calculation procedures. [Valid from 2017-07-19]. CEN : European Committee for Standardization, 2017. 204 p.
36. Farenjuk, G. G. The determination of the thermal reliability criterion for building envelope structures. Technical Journal. №13(2). 2019. Pp. 129–133.

ДОДАТКИ

Додаток А – Скрипти для розрахунків параметрів енергоефективності будівель за вітчизняними та міжнародними методиками

А.1.1 – Параметр «потреба теплової енергії на опалення»

(за ДСТУ 9190)

```
% Внутрішня розрахункова температура (житлова квартира)
theta_int_set = 20; % °C
% Середні місячні зовнішні температури для Івано-Франківська, °C
% (з кліматичних даних)
theta_e_m = [-2.8, -1.1, 3.9, 9.4, 13.9, 18.3, ...
            19.4, 19.4, 15.0, 9.4, 3.9, 0.0];
% Кількість днів у місяцях
days_in_month = [31, 28, 31, 30, 31, 30, 31, 31, 30, 31, 30, 31];
% Тривалість місяця, с
t_m = days_in_month * 24 * 3600; % [s]
% Тепловтрати через огороження та вентиляцію (припущення для типової
квартири)
H_T_m = 160 * ones(1,12); % Вт/К – через огороження
H_V_m = 60 * ones(1,12); % Вт/К – вентиляція/інфільтрація
% ККД використання внутрішніх та сонячних надходжень
eta_g_m = 0.9 * ones(1,12); % безрозмірна величина
% Умовні внутрішні + сонячні надходження
% (приймаємо 20 % від розрахункових тепловтрат місяця)
Q_loss_m_rough = (H_T_m + H_V_m) .* max(0, theta_int_set - theta_e_m) .*
t_m;
Q_g_m = 0.2 * Q_loss_m_rough; % Дж
% Місячна потреба теплової енергії на опалення за ДСТУ 9190
Q_H_nd_m = (H_T_m + H_V_m) .* (theta_int_set - theta_e_m) .* t_m ...
- eta_g_m .* Q_g_m;
% У теплі місяці, де немає потреби в опаленні, обнуляємо
Q_H_nd_m(theta_int_set <= theta_e_m) = 0;
% Річна потреба тепла
Q_H_year_DSTU = sum(Q_H_nd_m); % Дж
Q_H_year_DSTU_kWh = Q_H_year_DSTU / 3.6e6; % кВт·год
fprintf('Річна потреба тепла за ДСТУ: %.1f кВт·год\n', Q_H_year_DSTU_kWh);
```

А.1.2 – Параметр «потреба теплової енергії на опалення»

(за ISO 52016-1)

```
% Часовий крок і тривалість моделювання
dt = 3600; % 1 година, с
N_hours = 8760; % годин у році
t = (0:N_hours-1) * dt; % час, с
% Апроксимація зовнішньої температури для Івано-Франківська
% Середня річна ~8 °C, амплітуда ~12 °C (взимку ≈ -4, літом ≈ 20)
theta_mean = 8; % °C
```

```

theta_amp = 12; % °C
shift = 0.25; % зсув фази, щоб мінімум був взимку
theta_e = theta_mean + theta_amp * ...
    sin(2*pi*(t/(365*24*3600) - shift)); % °C
% Внутрішня розрахункова температура
theta_set = 20; % °C
% Параметри теплопередачі (аналогічні до А.1.1)
H_T = 160; % Вт/К – огорожувальні конструкції
H_V = 60; % Вт/К – вентиляція
H_tot = H_T + H_V; % Вт/К
% Еквівалентна теплоємність внутрішніх мас (будівельні конструкції +
повітря)
C_int = 3e7; % Дж/К (типове значення для квартири)
% Внутрішні тепловиділення (люди, прилади) – добовий профіль
phi_int = zeros(1, N_hours); % Вт
hour_of_day = mod(t/3600, 24);
occ = (hour_of_day >= 7) & (hour_of_day <= 23); % присутність
phi_int(occ) = 800; % Вт, умовно
% Сонячні надходження – спрощений денний профіль
phi_sol = zeros(1, N_hours);
daytime = (hour_of_day >= 8) & (hour_of_day <= 16);
phi_sol(daytime) = 400 * sin(pi * (hour_of_day(daytime) - 8) / 8); % Вт,
дзвоник
% Ініціалізація масивів
theta_int = theta_set * ones(1, N_hours); % початкова внутрішня
phi_HC = zeros(1, N_hours); % потужність системи опалення,
Вт
for k = 1:N_hours-1
    % Крок 1: "вільна" температура в наступну годину без опалення
    phi_HC_free = 0;
    dtheta_free = dt/C_int * ( ...
        phi_HC_free + phi_int(k) + phi_sol(k) ...
        - H_tot * (theta_int(k) - theta_e(k)) );
    theta_free = theta_int(k) + dtheta_free;
    % Крок 2: якщо theta_free < theta_set -> вмикаємо опалення
    if theta_free < theta_set
        % Скільки тепла треба, щоб не опуститися нижче setpoint
        phi_HC(k) = (C_int * (theta_set - theta_free) / dt) ...
            + H_tot * (theta_int(k) - theta_e(k)) ...
            - phi_int(k) - phi_sol(k);
    else
        phi_HC(k) = 0; % опалення не потрібне
    end
    % Крок 3: реальне оновлення температури з урахуванням phi_HC(k)
    dtheta = dt/C_int * ( ...
        phi_HC(k) + phi_int(k) + phi_sol(k) ...
        - H_tot * (theta_int(k) - theta_e(k)) );
    theta_int(k+1) = theta_int(k) + dtheta;
end
% Річна потреба тепла за ISO (інтегруємо тільки опалення, кВт·год)
Q_H_year_ISO = sum(phi_HC(phi_HC > 0)) * dt; % Дж
Q_H_year_ISO_kWh = Q_H_year_ISO / 3.6e6; % кВт·год

```

```

fprintf('Річна потреба тепла за ISO 52016-1: %.1f кВт·год\n',
Q_H_year_ISO_kWh);
% --- Графік результатів ---
hours = t / 3600;
figure;
yyaxis left
plot(hours, theta_e, 'DisplayName', '\theta_e (зовнішня)');
hold on;
plot(hours, theta_int, 'DisplayName', '\theta_{int} (внутрішня)');
ylabel('Температура, ^\circC');
yyaxis right
plot(hours, phi_HC/1000, 'DisplayName', '\Phi_{HC} (опалення)');
ylabel('Потужність опалення, кВт');
xlabel('Година року');
title('Потреба теплової енергії на опалення за ISO 52016-1');
legend('Location', 'best');
grid on;

```

А.2.1 – Параметр «тепловтрати через огорожувальні конструкції» (за ДСТУ 9190)

```

% Внутрішня розрахункова температура (житлове приміщення)
theta_int_set = 20;          % °C
% Типові елементи огорожень
% 1 - зовнішні стіни, 2 - вікна, 3 - дах, 4 - підлога над холодним підвалом
U = [0.35, 1.20, 0.20, 0.30]; % Вт/(м²·K) - коефіцієнти теплопередачі
A = [90, 18, 70, 70];       % м² - площі конструкцій
% Коефіцієнт теплопередачі через усі огороження
H_T = sum(U .* A);          % Вт/K
fprintf('Сумарний коефіцієнт теплопередачі H_T = %.1f Вт/K\n', H_T);
% --- Річні тепловтрати через огороження за ДСТУ (як частина Q_H,nd) ---
% Середні місячні зовнішні температури для Івано-Франківська
theta_e_m = [-2.8, -1.1, 3.9, 9.4, 13.9, 18.3, ...
              19.4, 19.4, 15.0, 9.4, 3.9, 0.0]; % °C
% Кількість днів у місяці
days_in_month = [31, 28, 31, 30, 31, 30, 31, 31, 30, 31, 30, 31];
% Тривалість місяця в секундах
t_m = days_in_month * 24 * 3600; % с
% Місячні тепловтрати через огороження (тільки опалювальний період)
Q_T_m = H_T .* max(0, theta_int_set - theta_e_m) .* t_m; % Дж
% Річні тепловтрати через огороження
Q_T_year = sum(Q_T_m);      % Дж
Q_T_year_kWh = Q_T_year / 3.6e6; % кВт·год
fprintf('Річні тепловтрати через огороження за ДСТУ: %.1f кВт·год\n',
Q_T_year_kWh);

```

A.2.2 – Параметр «тепловтрати через огорожувальні конструкції»

(за ДСТУ ISO 52016-1)

```
%% Тепловтрати через огороження: ISO 52016-1 + щомісячні значення за ДСТУ
clear; clc; close all;
%% 1. Геометрія огорожень і H_T (спільно для ДСТУ та ISO)
U = [0.35, 1.20, 0.20, 0.30]; % Вт/(м²·К)
A = [90, 18, 70, 70]; % м²
H_T = sum(U .* A); % Вт/К
theta_int_set = 20; % °C
%% 2. ДСТУ 9190 – місячні тепловтрати через огороження
theta_e_m = [-2.8, -1.1, 3.9, 9.4, 13.9, 18.3, ...
             19.4, 19.4, 15.0, 9.4, 3.9, 0.0]; % °C
days_in_month = [31, 28, 31, 30, 31, 30, 31, 31, 30, 31, 30, 31];
t_m = days_in_month * 24 * 3600; % с
dT_m = max(0, theta_int_set - theta_e_m); % °C
Q_T_m_J = H_T .* dT_m .* t_m; % Дж
Q_T_m_kWh = Q_T_m_J / 3.6e6; % кВт·год
Q_T_year_DSTU_kWh = sum(Q_T_m_kWh);
% середня потужність втрат у кожному місяці (для нанесення на графік ISO)
P_T_m_kW = Q_T_m_kWh ./ (days_in_month * 24); % кВт
% координати по осі часу – центр кожного місяця в годинах року
day_start = [0, cumsum(days_in_month(1:end-1))]; % початок місяця,
доба
day_center = day_start + days_in_month/2; % «центр» місяця,
доба
hour_center = day_center * 24; % год
%% 3. ISO 52016-1 – погодинні тепловтрати через огороження
dt = 3600; % 1 год, с
N_hours = 8760;
t = (0:N_hours-1) * dt;
hours = t / 3600;
theta_mean = 8; % °C
theta_amp = 12; % °C
shift = 0.25;
theta_e = theta_mean + theta_amp * ...
          sin(2*pi*(t/(365*24*3600) - shift)); % °C
theta_int = theta_int_set * ones(1, N_hours); % °C
phi_T = H_T .* (theta_int - theta_e); % Вт
phi_T_heating = max(phi_T, 0); % тільки опалювальний
режим
Q_T_year_ISO_kWh = sum(phi_T_heating) * dt / 3.6e6;
%% 4. Графік: ISO (погодинно) + ДСТУ (середні місячні значення)
figure;
yyaxis left
plot(hours, theta_e);
ylabel('Зовнішня температура, ^\circC');
xlabel('Година року');
grid on;
yyaxis right
plot(hours, phi_T_heating/1000, 'LineWidth', 0.7); % ISO, кВт
hold on;
```

```

plot(hour_center, P_T_m_kW, 'o-', 'LineWidth', 1.5); % DSTU, середні за
місяць
ylabel('Тепловтрати через огороження, кВт');
title({'Тепловтрати через огорожувальні конструкції'; ...
    sprintf('Рік: DSTU = %.1f кВт·год, ISO = %.1f кВт·год', ...
        Q_T_year_DSTU_kWh, Q_T_year_ISO_kWh)});
legend({'\theta_e (ISO)', 'Погодинні втрати ISO', ...
    'Середні місячні втрати за DSTU'}, ...
    'Location','best');

```

А.3.1 – Параметр «вентиляційні та інфільтраційні тепловтрати» (за DSTU 9190)

```

% Внутрішня розрахункова температура
theta_int_set = 20; % °C
% Об'єм опалюваного приміщення
V = 250; % м³ (квартира ~100 м² з h=2.5 м)
% Кратність повітрообміну (інфільтрація + вентиляція)
n = 0.5; % 1/год (типове значення для житлової будівлі)
% Коефіцієнт вентиляційних тепловтрат
H_V = 0.34 * n * V; % Вт/К
fprintf('Коефіцієнт вентиляційних тепловтрат H_V = %.1f Вт/К\n', H_V);
% Середні місячні зовнішні температури для Івано-Франківського регіону
theta_e_m = [-2.8, -1.1, 3.9, 9.4, 13.9, 18.3, ...
    19.4, 19.4, 15.0, 9.4, 3.9, 0.0]; % °C
% Кількість днів у місяцях
days_in_month = [31, 28, 31, 30, 31, 30, 31, 31, 30, 31, 30, 31];
% Тривалість місяця в секундах
t_m = days_in_month * 24 * 3600; % с
% Місячні вентиляційні та інфільтраційні тепловтрати
Q_V_m = H_V .* max(0, theta_int_set - theta_e_m) .* t_m; % Дж
% Річні тепловтрати
Q_V_year = sum(Q_V_m); % Дж
Q_V_year_kWh = Q_V_year / 3.6e6; % кВт·год
fprintf('Річні вентиляційні та інфільтраційні тепловтрати за DSTU: %.1f
кВт·год\n', ...
    Q_V_year_kWh);

```

А.3.2 – Параметр «вентиляційні та інфільтраційні тепловтрати» (за ISO 52016-1)

```

% Об'єм опалюваної зони
V = 250; % м³
% Кратність повітрообміну (інфільтрація + вентиляція)
n = 0.5; % 1/год
% Коефіцієнт вентиляційних тепловтрат
H_V = 0.34 * n * V; % Вт/К
% Часовий крок та тривалість моделювання
dt = 3600; % 1 година, с
N_hours = 8760; % годин у році

```

```

t = (0:N_hours-1) * dt;          % с
hours = t / 3600;                % год
% Внутрішня температура (контрольована системою опалення)
theta_int = 20 * ones(1, N_hours); % °C
% Зовнішня температура: сезонна синусоїда, наближена до клімату Івано-
Франківська
theta_mean = 8;                  % °C – середньорічна температура
theta_amp = 12;                  % °C – амплітуда сезонних коливань
shift = 0.25;                    % зсув фази (мінімум узимку)
theta_e = theta_mean + theta_amp * ...
          sin(2*pi*(t/(365*24*3600) - shift)); % °C
% Погодинний потік тепла через вентиляцію та інфільтрацію
phi_V = H_V .* (theta_int - theta_e); % Вт
% Для опалювального періоду беремо тільки позитивні втрати
phi_V_heating = max(phi_V, 0); % Вт
% Річні вентиляційні та інфільтраційні тепловтрати
Q_V_year_ISO = sum(phi_V_heating) * dt; % Дж
Q_V_year_ISO_kWh = Q_V_year_ISO / 3.6e6; % кВт·год
fprintf('Річні вентиляційні та інфільтраційні тепловтрати за ISO 52016-1:
%.1f кВт·год\n', ...
        Q_V_year_ISO_kWh);
% --- Графік вентиляційних тепловтрат ---
figure;
yyaxis left
plot(hours, theta_e);
ylabel('Зовнішня температура, ^\circC');
xlabel('Година року');
grid on;
yyaxis right
plot(hours, phi_V_heating/1000);
ylabel('Потік вентиляційних втрат, кВт');
title('Погодинні вентиляційні та інфільтраційні тепловтрати (ISO 52016-
1)');

```

A.4.1 – Параметр «сонячні теплові надходження»

(за ДСТУ 9190)

```

% Сумарна площа світлопрозорих огорожень (вікна, балконні двері)
A_w = 15; % м² (приклад для квартири/поверху)
% Ефективний коефіцієнт пропускання сонячної енергії
g_tot = 0.55; % безрозмірна (скло + рама + сонцезахист)
% Коефіцієнт затінення (зовнішнє та внутрішнє затінення)
F_sh = 0.8; % 1 – без затінення, <1 – часткове затінення
% Місячні значення сумарної сонячної радіації на вертикальну південну
поверхню
% G_m – кВт·год/м² за місяць (ОРІЄНТОВНІ, для клімату типу Івано-
Франківська;
% в реальному розрахунку сюди підставляються нормативні дані)
G_m = [30, 45, 80, 110, 140, 160, 170, 150, 110, 70, 40, 25]; %
кВт·год/м²·міс
% Місячні сонячні теплові надходження через застеклення

```

```

Q_sol_m = A_w * g_tot * F_sh .* G_m * 3.6e6;    % Дж
% Річні сонячні теплові надходження
Q_sol_year = sum(Q_sol_m);                    % Дж
Q_sol_year_kWh = Q_sol_year / 3.6e6;          % кВт·год
fprintf('Річні сонячні теплові надходження за ДСТУ: %.1f кВт·год\n', ...
        Q_sol_year_kWh);

```

А.4.2 – Параметр «сонячні теплові надходження» (за ISO 52016-1)

```

% Площа світлопрозорих огорожень
A_w = 15;                                     % м²
% Ефективний коефіцієнт пропускання сонячної енергії
g_tot = 0.55;                                 % безрозмірна
F_sh = 0.8;                                   % коефіцієнт затінення
% Часовий крок і тривалість моделювання
dt = 3600;                                    % 1 година, с
N_hours = 8760;                               % годин у році
t = (0:N_hours-1) * dt;                       % с
hours = t / 3600;                             % годин з початку року
% День року та година доби
doy = floor(hours/24) + 1;                    % день року (1..365)
hod = mod(hours, 24);                         % година доби (0..23)
% --- Модель сонячної радіації E_sol(t), Вт/м² ---
% Добовий профіль (максимум - опівдні)
daily_profile = zeros(1, N_hours);
daytime = (hod >= 8) & (hod <= 16); % умовний світловий день 8:00-16:00
daily_profile(daytime) = sin(pi*(hod(daytime) - 8)/8); % 0 о 8:00 і
16:00, 1 о 12:00
daily_profile(daily_profile < 0) = 0;
% Сезонний коефіцієнт (більше сонця влітку, менше взимку)
seasonal_factor = 0.4 + 0.6 * sin(2*pi*(doy - 80)/365); % зсув на весну
seasonal_factor(seasonal_factor < 0) = 0;
% Пікове значення сонячної радіації для ясного літнього дня
G_peak = 650;                                 % Вт/м² (типовий максимум для ясного дня)
% Погодинна сонячна радіація на вертикальну південну поверхню (спрощено)
E_sol = G_peak * daily_profile .* seasonal_factor;
% Погодинні сонячні теплові надходження через вікна
phi_sol = A_w * g_tot * F_sh .* E_sol;        % Вт
% Річні сонячні надходження (інтегруємо по часу)
Q_sol_year_ISO = sum(phi_sol) * dt;           % Дж
Q_sol_year_ISO_kWh = Q_sol_year_ISO / 3.6e6;  % кВт·год
fprintf('Річні сонячні теплові надходження за ISO 52016-1: %.1f кВт·год\n',
        ...
        Q_sol_year_ISO_kWh);
% --- Графік для характерного фрагмента (наприклад, 1 літній тиждень) ---
week_start = 24*24*5; % приблизно початок червня (умовно)
week_end = week_start + 24*7 - 1;
figure;
plot(hours(week_start:week_end), phi_sol(week_start:week_end)/1000);
xlabel('Година року');

```

```

ylabel('Сонячні надходження, кВт');
title('Погодинні сонячні теплові надходження через вікна (літній тиждень)');
grid on;

```

А.5.1 – Параметр «внутрішні тепловиділення»

(за ДСТУ 9190)

```

% Площа опалюваного приміщення
A_f = 100; % м² (типова квартира)
% Питомі внутрішні тепловиділення
q_people = 5; % Вт/м² від людей (житло з помірною зайнятістю)
q_equip = 8; % Вт/м² від обладнання, побутової техніки
q_light = 7; % Вт/м² від освітлення
% Сумарна питома потужність внутрішніх тепловиділень
q_int = q_people + q_equip + q_light; % Вт/м²
phi_int = q_int * A_f; % Вт
fprintf('Сумарна потужність внутрішніх тепловиділень phi_int = %.1f Вт\n', phi_int);
% Коефіцієнт використання внутрішніх тепловиділень (не все тепло корисно)
eta_int = 0.9; % безрозмірна
% Кількість днів у місяцях
days_in_month = [31, 28, 31, 30, 31, 30, 31, 31, 30, 31, 30, 31];
% Середня тривалість перебування/роботи людей у приміщенні за день
t_occ_day = 12; % год/добу (умовно 12 год активного використання)
% Місячні внутрішні тепловиділення
Q_int_m = zeros(1, 12); % Дж
for m = 1:12
    t_occ_m = days_in_month(m) * t_occ_day * 3600; % с за місяць
    Q_int_m(m) = phi_int * t_occ_m * eta_int; % Дж
end
% Річні внутрішні тепловиділення
Q_int_year = sum(Q_int_m); % Дж
Q_int_year_kWh = Q_int_year / 3.6e6; % кВт·год
fprintf('Річні внутрішні тепловиділення за ДСТУ: %.1f кВт·год\n', Q_int_year_kWh);

```

А.5.2 – Параметр «внутрішні тепловиділення»

(за ISO 52016-1)

```

% Площа зони
A_f = 100; % м²
% Питомі тепловиділення (середньодобові)
q_people_day = 7; % Вт/м², коли люди присутні
q_people_night = 1; % Вт/м², коли майже нікого немає
q_equip_day = 6; % Вт/м², активне використання техніки
q_equip_night = 1; % Вт/м², чергові споживачі
q_light_day = 5; % Вт/м², ввімкнене освітлення

```

```

q_light_night = 0.5;           % Вт/м2, мінімальне/чергове освітлення
% Часовий крок та тривалість моделювання
dt = 3600;                     % 1 година, с
N_hours = 8760;                % годин у році
t = (0:N_hours-1) * dt;       % с
hours = t / 3600;              % год
% Години доби
hod = mod(hours, 24);          % 0..23
% Розклади присутності / роботи протягом доби
is_day = (hod >= 7) & (hod <= 23); % умовно з 7:00 до 23:00 – активне
використання
% Формуємо погодинні питомі тепловиділення
q_people = q_people_night * ones(1, N_hours);
q_people(is_day) = q_people_day;
q_equip = q_equip_night * ones(1, N_hours);
q_equip(is_day) = q_equip_day;
q_light = q_light_night * ones(1, N_hours);
q_light(is_day) = q_light_day;
% Сумарні питомі тепловиділення
q_int_hourly = q_people + q_equip + q_light; % Вт/м2
% Погодинний потік внутрішніх тепловиділень
phi_int = q_int_hourly * A_f; % Вт
% Річні внутрішні тепловиділення
Q_int_year_ISO = sum(phi_int) * dt; % Дж
Q_int_year_ISO_kWh = Q_int_year_ISO / 3.6e6; % кВт·год
fprintf('Річні внутрішні тепловиділення за ISO 52016-1: %.1f кВт·год\n',
...
    Q_int_year_ISO_kWh);
% --- Графік для характерного тижня ---
week_start = 24 * 200; % умовно "зимовий" тижденьдесь у лютому
week_end = week_start + 24*7 - 1;
figure;
plot(hours(week_start:week_end), phi_int(week_start:week_end)/1000);
xlabel('Година року');
ylabel('Внутрішні тепловиділення, кВт');
title('Погодинний профіль внутрішніх тепловиділень (зимовий тиждень)');
grid on;

```

А.6 – Параметр «внутрішня температура»

(за ISO 52016-1)

```

% --- Основні параметри будівлі ---
H_T = 160; % Вт/К – теплопередача через огороження
H_V = 60; % Вт/К – вентиляційні/інфільтраційні втрати
H_tot = H_T + H_V; % Вт/К – сумарні втрати до зовнішнього повітря
C_int = 3e7; % Дж/К – ефективна теплоємність внутрішніх
мас
% --- Часовий крок і тривалість ---
dt = 3600; % 1 година, с
N_hours = 8760; % год/рік
t = (0:N_hours-1) * dt; % с

```

```

hours = t / 3600; % год
% --- Зовнішня температура для Івано-Франківського регіону (спрощена
модель) ---
theta_mean = 8; % °C – середньорічна температура
theta_amp = 12; % °C – амплітуда сезонних коливань
shift = 0.25; % зсув фази, щоб мінімум був узимку
theta_e = theta_mean + theta_amp * ...
    sin(2*pi*(t/(365*24*3600) - shift)); % °C
% --- Модель внутрішніх тепловиділень  $\Phi_{int}(t)$  ---
A_f = 100; % м2 – площа приміщення
q_people_day = 7; % Вт/м2 – люди вдень
q_people_night = 1; % Вт/м2 – уночі
q_equip_day = 6; % Вт/м2 – обладнання вдень
q_equip_night = 1; % Вт/м2 – обладнання вночі
q_light_day = 5; % Вт/м2 – освітлення вдень/увечері
q_light_night = 0.5; % Вт/м2 – мінімальне освітлення
hod = mod(hours, 24); % година доби 0..23
is_day = (hod >= 7) & (hod <= 23);
q_people = q_people_night * ones(1, N_hours);
q_people(is_day) = q_people_day;
q_equip = q_equip_night * ones(1, N_hours);
q_equip(is_day) = q_equip_day;
q_light = q_light_night * ones(1, N_hours);
q_light(is_day) = q_light_day;
q_int = q_people + q_equip + q_light; % Вт/м2
phi_int = q_int * A_f; % Вт – внутрішні тепловиділення
% --- Модель сонячних надходжень  $\Phi_{sol}(t)$  ---
A_w = 15; % м2 – площа застління
g_tot = 0.55; % ефективний коеф. пропускання
F_sh = 0.8; % коеф. затінення
doy = floor(hours/24) + 1; % день року 1..365
% Добовий профіль сонця (8:00–16:00)
daily_profile = zeros(1, N_hours);
daytime = (hod >= 8) & (hod <= 16);
daily_profile(daytime) = sin(pi*(hod(daytime) - 8)/8);
daily_profile(daily_profile < 0) = 0;
% Сезонний коефіцієнт (більше сонця влітку)
seasonal_factor = 0.4 + 0.6 * sin(2*pi*(doy - 80)/365);
seasonal_factor(seasonal_factor < 0) = 0;
G_peak = 650; % Вт/м2 – пікова сонячна радіація
E_sol = G_peak * daily_profile .* seasonal_factor; % Вт/м2
phi_sol = A_w * g_tot * F_sh .* E_sol; % Вт – сонячні
надходження
% --- Керування опаленням і розрахунок  $\theta_{int}(t)$  ---
theta_set = 20; % °C – розрахунковий setpoint для опалення
theta_int = theta_set * ones(1, N_hours); % ініціалізація внутрішньої
температури
phi_HC = zeros(1, N_hours); % потужність опалення, Вт
for k = 1:N_hours-1
    % 1) "Вільний" крок без опалення (phi_HC_free = 0)
    phi_env = -N_tot * (theta_int(k) - theta_e(k)); % втрати до
зовнішнього повітря

```

```

    phi_free = phi_int(k) + phi_sol(k) + phi_env;           % сумарний потік
без опалення
    dtheta_free = dt/C_int * phi_free;
    theta_free = theta_int(k) + dtheta_free;
% 2) Якщо без опалення впадаємо нижче setpoint – вмикаємо опалення
    if theta_free < theta_set
        % яка потужність потрібна, щоб не впасти нижче setpoint
        phi_HC(k) = C_int * (theta_set - theta_free) / dt;
    else
        phi_HC(k) = 0;
    end
% 3) Фактичне оновлення температури з урахуванням опалення
    phi_total = phi_int(k) + phi_sol(k) + phi_env + phi_HC(k);
    dtheta = dt/C_int * phi_total;
    theta_int(k+1) = theta_int(k) + dtheta;
end
% --- Графік внутрішньої та зовнішньої температури ---
figure;
plot(hours, theta_e, 'DisplayName', '\theta_e (зовнішня)');
hold on;
plot(hours, theta_int, 'DisplayName', '\theta_{int} (внутрішня)');
xlabel('Година року');
ylabel('Температура, ^\circ C');
title('Динаміка внутрішньої температури за ISO 52016-1');
legend('Location','best');
grid on;

```

А.7.1 – Параметр «теплова інерційність»

(за ДСТУ 9190)

```

% Площа опалюваного приміщення
A_f = 100;           % м²
% Дані по внутрішніх масах (шари, які беруть участь в акумуляції тепла)
% Приклад: 1 – внутрішні стіни (цегла), 2 – стяжка підлоги, 3 – перекриття
rho = [1800, 2200, 2400]; % кг/м³ – густина матеріалів
c    = [840, 880, 850]; % Дж/(кг·K) – питома теплоємність
d    = [0.12, 0.06, 0.10]; % м – ефективна товщина шару, що "працює"
інерційно
% Питома теплоємність внутрішніх мас на 1 м²
C_areal = sum(rho .* c .* d); % Дж/(м²·K)
% Загальна ефективна теплоємність внутрішніх мас
C_int = C_areal * A_f; % Дж/K
% Сумарні тепловтрати (як у попередніх параметрах)
H_T = 160; % Вт/K
H_V = 60; % Вт/K
H_tot = H_T + H_V; % Вт/K
% Часова стала інерційності
tau_s = C_int / H_tot; % с
tau_h = tau_s / 3600; % год
fprintf('Питома теплоємність C_areal = %.0f Дж/(м²·K)\n', C_areal);
fprintf('Ефективна теплоємність C_int = %.0e Дж/K\n', C_int);

```

```
fprintf('Часова стала теплової інерційності  $\tau = %.1f$  год\n', tau_h);
```

А.7.2 – Параметр «теплова інерційність»

(за ISO 52016-1)

```
% Спільні параметри
H_T = 160; % Вт/К
H_V = 60; % Вт/К
H_tot = H_T + H_V; % Вт/К
% Два варіанти ефективної теплоємності
C_light = 8e6; % Дж/К – легка будівля
C_heavy = 3e7; % Дж/К – важка будівля
% Часовий крок і тривалість (наприклад, 5 діб)
dt = 3600; % 1 год, с
N_hours = 24*5; % 5 діб
t = (0:N_hours-1) * dt;
hours = t / 3600;
% Зовнішня температура: крок від +5 до -5 °C (імітуємо різке похолодання)
theta_e = 5 * ones(1, N_hours);
theta_e(hours > 24) = -5; % після першої доби стає холодніше
% Внутрішні надходження (постійні, умовно)
phi_int = 1500 * ones(1, N_hours); % Вт
phi_sol = zeros(1, N_hours); % для чистоти – без сонця
% Початкові умови
theta0 = 20; % °C
theta_light = zeros(1, N_hours);
theta_heavy = zeros(1, N_hours);
theta_light(1) = theta0;
theta_heavy(1) = theta0;
% Моделювання вільного згасання (без опалення)
for k = 1:N_hours-1
    % Легка будівля
    dtheta_L = dt/C_light * (phi_int(k) + phi_sol(k) ...
        - H_tot * (theta_light(k) - theta_e(k)));
    theta_light(k+1) = theta_light(k) + dtheta_L;
    % Важка будівля
    dtheta_H = dt/C_heavy * (phi_int(k) + phi_sol(k) ...
        - H_tot * (theta_heavy(k) - theta_e(k)));
    theta_heavy(k+1) = theta_heavy(k) + dtheta_H;
end
% Графік
figure;
plot(hours, theta_e, '--', 'DisplayName', '\theta_e (зовнішня)');
hold on;
plot(hours, theta_light, '-', 'DisplayName', 'Легка будівля');
plot(hours, theta_heavy, '-', 'DisplayName', 'Важка будівля');
xlabel('Година');
ylabel('Температура, ^\circ C');
title('Вплив теплової інерційності на внутрішню температуру');
legend('Location', 'best');
grid on;
```

A.8.1 – Параметр «режими роботи систем опалення та охолодження»

(за ДСТУ 9190)

```
% Пік по годинах
dt = 3600;
N_hours = 8760;
t = (0:N_hours-1) * dt;
hours = t / 3600;
hod = mod(hours, 24);           % година доби
doy = floor(hours/24) + 1;      % день року 1..365
% Опалювальний період (умовно: дні 280..120 наступного року -> приймаємо
як 280..365 і 1..120)
heating_on = (doy >= 280) | (doy <= 120);
% Години активної роботи системи опалення (5:00-23:00)
heating_hours = (hod >= 5) & (hod <= 23);
% Етап "опалення дозволене"
heating_mode = heating_on & heating_hours;
% Охолодження (умовно: тільки влітку - дні 140..260, удень 9:00-20:00)
cooling_on = (doy >= 140) & (doy <= 260);
cooling_hours = (hod >= 9) & (hod <= 20);
cooling_mode = cooling_on & cooling_hours;
% Ефективні години роботи систем
heating_hours_year = sum(heating_mode); % год
cooling_hours_year = sum(cooling_mode); % год
fprintf('Ефективні години роботи опалення за рік:      %d год\n',
heating_hours_year);
fprintf('Ефективні години роботи охолодження за рік: %d год\n',
cooling_hours_year);
```

A.8.2 – Параметр «режими роботи систем опалення та охолодження»

(за ISO 52016-1)

```
% Параметри огорожень і вентиляції
H_T = 160;           % Вт/К
H_V = 60;           % Вт/К
H_tot = H_T + H_V;  % Вт/К
% Теплова інерційність
C_int = 3e7;        % Дж/К
% Час і клімат (на рік)
dt = 3600;
N_hours = 8760;
t = (0:N_hours-1) * dt;
hours = t / 3600;
hod = mod(hours, 24);
doy = floor(hours/24) + 1;
% Зовнішня температура (як раніше)
theta_mean = 8;
theta_amp = 12;
shift = 0.25;
theta_e = theta_mean + theta_amp * ...
          sin(2*pi*(t/(365*24*3600) - shift));
```

```

% Внутрішні та сонячні надходження
A_f = 100; A_w = 15; g_tot = 0.55; F_sh = 0.8;
% Внутрішні
is_day_occ = (hod >= 7) & (hod <= 23);
q_int = 5*ones(1,N_hours); % базове тло
q_int(is_day_occ) = 18; % вдень більше (люди+техніка+світло)
phi_int = q_int * A_f;
% Сонячні
daily_profile = zeros(1,N_hours);
daytime = (hod >= 8) & (hod <= 16);
daily_profile(daytime) = sin(pi*(hod(daytime)-8)/8);
daily_profile(daily_profile < 0) = 0;
seasonal_factor = 0.4 + 0.6 * sin(2*pi*(doy - 80)/365);
seasonal_factor(seasonal_factor < 0) = 0;
G_peak = 650;
E_sol = G_peak * daily_profile .* seasonal_factor;
phi_sol = A_w * g_tot * F_sh .* E_sol;
% Режими систем: опалення та охолодження
theta_H_set_day = 20; % °C - денний setpoint опалення
theta_H_set_night = 18; % °C - нічний відпуск
theta_C_set_day = 26; % °C - денний setpoint охолодження
theta_C_set_night = 28; % °C - нічний відпуск/вимкнення
heating_allowed = (doy >= 280) | (doy <= 120);
cooling_allowed = (doy >= 140) & (doy <= 260);
theta_int = 20 * ones(1, N_hours);
phi_HC_heat = zeros(1, N_hours); % потужність опалення (Вт, >0)
phi_HC_cool = zeros(1, N_hours); % потужність охолодження (Вт, >0)
for k = 1:N_hours-1
    day_time = (hod(k) >= 7) && (hod(k) <= 23);
    % Setpoint'и для цієї години
    if day_time
        theta_H_set = theta_H_set_day;
        theta_C_set = theta_C_set_day;
    else
        theta_H_set = theta_H_set_night;
        theta_C_set = theta_C_set_night;
    end
    % Втрати до зовнішнього повітря
    phi_env = -H_tot * (theta_int(k) - theta_e(k));
    % Спочатку "вільний" крок без втручання систем
    phi_free = phi_int(k) + phi_sol(k) + phi_env;
    dtheta_free = dt/C_int * phi_free;
    theta_free = theta_int(k) + dtheta_free;
    % --- Логіка опалення / охолодження ---
    phi_heat = 0;
    phi_cool = 0;
    % Якщо опалення дозволене і  $\theta_{free} < \theta_{H\_set}$ 
    if heating_allowed(k) && (theta_free < theta_H_set)
        phi_heat = C_int * (theta_H_set - theta_free) / dt;
    end
    % Якщо охолодження дозволене і  $\theta_{free} > \theta_{C\_set}$ 
    if cooling_allowed(k) && (theta_free > theta_C_set)
        phi_cool = C_int * (theta_free - theta_C_set) / dt;
    end
end

```

```

end
% Сумарний потік (охолодження - відбір теплоти, тому зі знаком "-")
phi_total = phi_int(k) + phi_sol(k) + phi_env + phi_heat - phi_cool;
dtheta = dt/C_int * phi_total;
theta_int(k+1) = theta_int(k) + dtheta;
phi_HC_heat(k) = phi_heat;
phi_HC_cool(k) = phi_cool;
end
% --- Графік: фрагмент літа та зими для ілюстрації режимів ---
week_start_winter = 24*50;           % приблизно кінець зими
week_end_winter   = week_start_winter + 24*7 - 1;
figure;
subplot(2,1,1);
yyaxis left
plot(hours(week_start_winter:week_end_winter), ...
      theta_int(week_start_winter:week_end_winter));
ylabel('\theta_{int}, ^\circC');
yyaxis right
plot(hours(week_start_winter:week_end_winter), ...
      phi_HC_heat(week_start_winter:week_end_winter)/1000);
ylabel('Опалення, кВт');
xlabel('Година року');
title('Зимовий тиждень: робота опалення');
grid on;
week_start_summer = 24*200;         % приблизно літо
week_end_summer   = week_start_summer + 24*7 - 1;
subplot(2,1,2);
yyaxis left
plot(hours(week_start_summer:week_end_summer), ...
      theta_int(week_start_summer:week_end_summer));
ylabel('\theta_{int}, ^\circC');
yyaxis right
plot(hours(week_start_summer:week_end_summer), ...
      phi_HC_cool(week_start_summer:week_end_summer)/1000);
ylabel('Охолодження, кВт');
xlabel('Година року');
title('Літній тиждень: робота охолодження');
grid on;

```

А.9.1 – Параметр «річна потреба в енергії»

(за ДСТУ 9190)

```

% Внутрішня розрахункова температура
theta_int_set = 20;           % °C
% Середні місячні зовнішні температури
theta_e_m = [-2.8, -1.1, 3.9, 9.4, 13.9, 18.3, ...
             19.4, 19.4, 15.0, 9.4, 3.9, 0.0]; % °C
% Дні в місяцях
days_in_month = [31, 28, 31, 30, 31, 30, 31, 31, 30, 31, 30, 31];
t_m = days_in_month * 24 * 3600; % тривалість місяця, с
% Коефіцієнти теплопередачі через огороження та вентиляцію

```

```

H_T_m = 160 * ones(1,12);          % Вт/К
H_V_m = 60 * ones(1,12);          % Вт/К
% ККД використання внутрішніх і сонячних надходжень
eta_g_m = 0.9 * ones(1,12);
% Оцінка внутрішніх+сонячних надходжень (20 % від тепловтрат)
Q_loss_m_rough = (H_T_m + H_V_m) .* max(0, theta_int_set - theta_e_m) .*
t_m;
Q_g_m = 0.2 * Q_loss_m_rough;      % Дж
% Місячна потреба теплової енергії на опалення (з таблиці 2.1)
Q_H_m = (H_T_m + H_V_m) .* (theta_int_set - theta_e_m) .* t_m ...
- eta_g_m .* Q_g_m;
% Нема опалення, якщо зовнішня T ≥ внутрішньої
Q_H_m(theta_int_set <= theta_e_m) = 0;
% Річна потреба в енергії (опалення) за ДСТУ
Q_H_year_DSTU = sum(Q_H_m);        % Дж
Q_H_year_DSTU_kWh = Q_H_year_DSTU / 3.6e6;
fprintf('Річна потреба в енергії за ДСТУ: %.1f кВт·год\n',
Q_H_year_DSTU_kWh);

```

А.9.2 – Параметр «річна потреба в енергії»

(за ISO 52016-1)

```

%% Річна потреба в енергії: ISO 52016-1 (інтегрування погодинних потоків)
dt = 3600;                          % 1 година, с
N_hours = 8760;                      % годин у році
t = (0:N_hours-1) * dt;
hours = t / 3600;
% Зовнішня температура (сезонна синусоїда для Івано-Франківська)
theta_mean = 8;                      % °C
theta_amp = 12;                      % °C
shift = 0.25;                        % щоб мінімум був узимку
theta_e = theta_mean + theta_amp * ...
sin(2*pi*(t/(365*24*3600) - shift)); % °C
% Параметри будівлі
H_T = 160;                          % Вт/К
H_V = 60;                          % Вт/К
H_tot = H_T + H_V;                  % Вт/К
C_int = 3e7;                        % Дж/К
% Внутрішні та сонячні надходження
A_f = 100;                          % м²
A_w = 15; g_tot = 0.55; F_sh = 0.8;
hod = mod(hours, 24);
is_day = (hod >= 7) & (hod <= 23);
q_int = 5 * ones(1, N_hours);      % Вт/м² – базовий фон
q_int(is_day) = 18;                % вдень більше
phi_int = q_int * A_f;              % Вт
daily_profile = zeros(1, N_hours);
daytime = (hod >= 8) & (hod <= 16);
daily_profile(daytime) = sin(pi*(hod(daytime) - 8)/8);
daily_profile(daily_profile < 0) = 0;
doy = floor(hours/24) + 1;

```

```

seasonal_factor = 0.4 + 0.6 * sin(2*pi*(doy - 80)/365);
seasonal_factor(seasonal_factor < 0) = 0;
G_peak = 650; % Вт/м²
E_sol = G_peak * daily_profile .* seasonal_factor;
phi_sol = A_w * g_tot * F_sh .* E_sol; % Вт
% Керування опаленням (підтримуємо не нижче 20 °C)
theta_set = 20; % °C
theta_int = theta_set * ones(1, N_hours);
phi_HC = zeros(1, N_hours); % Вт
for k = 1:N_hours-1
    % Вільний крок без опалення
    phi_env = -H_tot * (theta_int(k) - theta_e(k));
    phi_free = phi_int(k) + phi_sol(k) + phi_env;
    dtheta_free = dt/C_int * phi_free;
    theta_free = theta_int(k) + dtheta_free;
    % Якщо падаємо нижче setpoint - додаємо опалення
    if theta_free < theta_set
        phi_HC(k) = C_int * (theta_set - theta_free) / dt;
    else
        phi_HC(k) = 0;
    end
    % Оновлення з урахуванням опалення
    phi_total = phi_int(k) + phi_sol(k) + phi_env + phi_HC(k);
    dtheta = dt/C_int * phi_total;
    theta_int(k+1) = theta_int(k) + dtheta;
end
% Річна потреба в енергії за ISO (інтегрування  $\Phi_{HC}(t) \cdot \Delta t$ )
Q_H_year_ISO = sum(phi_HC) * dt; % Дж
Q_H_year_ISO_kWh = Q_H_year_ISO / 3.6e6; % кВт·год
fprintf('Річна потреба в енергії за ISO 52016-1: %.1f кВт·год\n',
Q_H_year_ISO_kWh);
% --- Графік кумулятивної річної потреби ---
Q_cum = cumsum(phi_HC) * dt / 3.6e6; % кВт·год
figure;
plot(hours, Q_cum);
xlabel('Година року');
ylabel('Накопичена потреба, кВт·год');
title('Кумулятивна річна потреба в енергії за ISO 52016-1');
grid on;

```

A.10.1 – Параметр «температура внутрішніх поверхонь»

(за ДСТУ 9190)

```

theta_int = 20; % °C – внутрішня температура повітря
% Середні місячні зовнішні температури, Івано-Франківськ
theta_e_m = [-2.8, -1.1, 3.9, 9.4, 13.9, 18.3, ...
19.4, 19.4, 15.0, 9.4, 3.9, 0.0]; % °C
% Термічні опори (на 1 м²)
R_si = 0.13; % м²·К/Вт – внутрішній поверхневий опір
R_se = 0.04; % м²·К/Вт – зовнішній поверхневий опір
R_cond = 1.00; % м²·К/Вт – опір шару стіни

```

```

R_tot = R_si + R_cond + R_se;
% Густина теплового потоку через огородження
q_m = (theta_int - theta_e_m) / R_tot; % Вт/м²
% Температура внутрішньої поверхні за місяцями
theta_si_m = theta_int - q_m * R_si; % °C
fprintf('Місячні температури внутрішньої поверхні (°C):\n');
disp(theta_si_m);
fprintf('Мінімальна  $\theta_{si}$  за рік: %.1f °C\n', min(theta_si_m));

```

А.10.2 – Параметр «температура внутрішніх поверхонь» (за ISO 52016-1)

```

clear; clc; close all;
% --- 1. Часова сітка ---
dt = 3600; % крок, с (1 година)
N_hours = 24*7; % 7 діб
time = (0:N_hours-1)' * dt; % стовпчиковий вектор, с
hours = time / 3600; % години від початку
% --- 2. Зовнішня і внутрішня температура ---
% Зовнішня: коливання навколо -5 °C протягом доби
theta_e = -5 + 3 * sin(2*pi*hours/24); % °C, розмір N_hours x 1
% Внутрішня: постійні 20 °C (опалення підтримує)
theta_int = 20 * ones(N_hours,1); % °C
% --- 3. Термічні опори і теплоємність стіни (на 1 м²) ---
R_si = 0.13; % м²·K/Вт – внутрішній поверхневий опір
R_se = 0.04; % м²·K/Вт – зовнішній поверхневий опір
R_cond = 1.00; % м²·K/Вт – опір шару стіни
R_in = R_si; % від повітря до вузла стіни
R_out = R_cond + R_se; % від вузла стіни до зовнішнього повітря
C_wall = 1.3e5; % Дж/(м²·K) – ефективна теплоємність стіни
% --- 4. Ініціалізація змінних ---
theta_wall = 18 * ones(N_hours,1); % °C – температура "ядра" стіни
theta_si = zeros(N_hours,1); % °C – внутрішня поверхня
phi_cond_in = zeros(N_hours,1); % Вт/м² – потік з боку приміщення
% --- 5. Основний цикл розрахунку ---
for k = 1:(N_hours-1)
    % Потік тепла від внутрішнього повітря до стіни
    phi_cond_in(k) = (theta_int(k) - theta_wall(k)) / R_in; % Вт/м²
    % Потік тепла від стіни до зовнішнього повітря
    phi_cond_out = (theta_wall(k) - theta_e(k)) / R_out; % Вт/м²
    % Рівняння теплоємності: C_wall * dθ_wall/dt = Φ_in - Φ_out
    dtheta_wall = dt / C_wall * (phi_cond_in(k) - phi_cond_out);
    theta_wall(k+1) = theta_wall(k) + dtheta_wall;
    % Температура внутрішньої поверхні:
    %  $\theta_{si}(t) = \theta_{int}(t) - \Phi_{cond,in}(t) * R_{si}$ 
    theta_si(k) = theta_int(k) - phi_cond_in(k) * R_si;
end
% Останнє значення поверхні (аналогічно попереднім крокам)
theta_si(end) = theta_int(end) - phi_cond_in(end) * R_si;
% --- 6. Графік результатів ---
figure;

```

```

plot(hours, theta_e, '--', ...
      hours, theta_int, '-', ...
      hours, theta_si, '-');
legend('theta_e (зовн.)', 'theta_{int} (повітря)', 'theta_{si}
(поверхня)', ...
      'Location','best');
xlabel('Година');
ylabel('Температура, °C');
title('Температура внутрішньої поверхні стіни (зимовий тиждень)');
grid on;

```

А.11.1 – Параметр «концентрація CO₂ у приміщенні»

(за ДСТУ 9190)

```

clear; clc;
% --- Вхідні дані ---
Vroom = 250; % м³ - об'єм приміщення
n = 0.5; % 1/год - кратність повітрообміну (нормативна)
rho_air = 1.2; % кг/м³ - густина повітря
% Вентиляційна подача (постійна для розрахункового періоду)
Vdot = n * Vroom / 3600; % м³/с
% Зовнішня концентрація CO2
Ce_ppm = 420; % ppm - характерне фонове значення
% Перехід ppm -> кг/м³ (приблизно 1 ppm CO2 ≈ 1.98e-6 кг/м³)
ppm_to_kgm3 = 1.98e-6;
Ce_mass = Ce_ppm * ppm_to_kgm3; % кг/м³
% Продукування CO2 людьми
N_people = 3; % кількість людей у приміщенні
G_person = 0.000018; % кг/с CO2 від 1 людини (≈ 65 г/год)
G_CO2 = N_people * G_person; % кг/с
% --- Обчислення за формулою з таблиці 2.1 ---
Ci_mass = Ce_mass + G_CO2 / (Vdot * rho_air); % кг CO2 / м³ повітря
Ci_ppm = Ci_mass / ppm_to_kgm3; % повертаємо до ppm
fprintf('Зовнішня концентрація CO2: %.0f ppm\n', Ce_ppm);
fprintf('Розрахункова внутрішня концентрація CO2 (статична модель): %.0f
ppm\n', Ci_ppm);

```

А.11.2 – Параметр «концентрація CO₂ у приміщенні»

(за ISO 17772-1)

```

clear; clc; close all;
% --- 1. Часова сітка (1 доба, крок 5 хв) ---
dt = 300; % крок 5 хв, с
N_step = 24*3600 / dt; % кількість кроків за добу
time = (0:N_step-1)' * dt; % с
hours = time / 3600; % години від початку доби
% --- 2. Геометрія приміщення ---
Vroom = 250; % м³ - об'єм приміщення
% --- 3. Зовнішня концентрація CO2 (фонове значення) ---
Ce_ppm = 420; % ppm

```

```

ppm_to_kgm3 = 1.98e-6; % 1 ppm CO2 ≈ 1.98e-6 кг/м³
Ce_mass = Ce_ppm * ppm_to_kgm3; % кг/м³ (масова концентрація)
% --- 4. Графік присутності людей та продукція CO2 ---
N_people = zeros(N_step,1); % кількість людей
% Наприклад: 3 людини з 8:00 до 18:00
N_people(hours >= 8 & hours <= 18) = 3;
G_person = 0.000018; % кг/с CO2 від 1 людини (≈ 65 г/год)
G_CO2_t = N_people * G_person; % кг/с (масова швидкість утворення
CO2)
% --- 5. Графік вентиляції (змінна подача повітря) ---
n_night = 0.3; % 1/год – базова інфільтрація вночі
n_day = 1.0; % 1/год – підсилена вентиляція при
присутності
n_t = n_night * ones(N_step,1);
n_t(N_people > 0) = n_day; % коли є люди – більша кратність
Vdot_t = n_t * Vroom / 3600; % м³/с – подача свіжого повітря
% --- 6. Чисельне інтегрування рівняння масового балансу ---
Ci_mass = zeros(N_step,1); % кг/м³ – концентрація CO2
Ci_mass(1) = Ce_mass; % стартуємо з зовнішньої
for k = 1:(N_step-1)
    dCi_dt = G_CO2_t(k) / Vroom ...
            - (Ci_mass(k) - Ce_mass) * Vdot_t(k) / Vroom;
    Ci_mass(k+1) = Ci_mass(k) + dt * dCi_dt;
end
% Переводимо назад у ppm для зручності інтерпретації
Ci_ppm = Ci_mass / ppm_to_kgm3;
% --- 7. Вивід деяких показників ---
Ci_max = max(Ci_ppm);
Ci_end = Ci_ppm(end);
fprintf('Зовнішня концентрація CO2: %.0f ppm\n', Ce_ppm);
fprintf('Максимальна внутрішня концентрація CO2 за добу: %.0f ppm\n',
Ci_max);
fprintf('Концентрація CO2 наприкінці доби: %.0f ppm\n', Ci_end);
% --- 8. Графік ---
figure;
plot(hours, Ci_ppm, 'LineWidth', 1.5);
hold on;
yline(Ce_ppm, '--', 'Ce (зовнішня)');
xlabel('Година доби');
ylabel('Концентрація CO2, ppm');
title('Динаміка концентрації CO2 у приміщенні (ISO 17772-1)');
grid on;

```

Додаток Б

Скрипт «Порівняння економічного ефекту різниці між ДСТУ 9190 та ISO 52016-1/17772-1»

```
% dQ_kWh – різниця результатів розрахунку (Q_DSTU - Q_ISO), кВт·год/рік
clear; clc; close all;
%% 1. Вхідний параметр: різниця між ДСТУ та ISO
% Для прикладу: Q_DSTU = 17204.1, Q_ISO = 12717.1 → dQ ≈ 4487 кВт·год
dQ_kWh = 4487; % кВт·год/рік (це значення має змінюватися)
%% 2. Тарифи на теплову енергію за видами енергоресурсу (грн/кВт·год)
% Газ (конденсаційний котел)
c_gas = 0.94;
% Теплові насоси: середнє значення та діапазон для похибки
c_hp_min = 1.08; % мінімальна оцінка
c_hp_max = 1.44; % максимальна оцінка
c_hp_mean = (c_hp_min + c_hp_max)/2;
% Тверде паливо
c_wood = 0.77; % дуб
c_pellets = 4.63; % пелети
% Електрокотел
c_electric = 4.45;
% Вектор середніх тарифів
tariffs = [c_gas, c_hp_mean, c_wood, c_pellets, c_electric];
% Підписи до стовпчиків
labels = { ...
    'Газ (конденсац.)', ...
    'Тепловий насос', ...
    'Деревина (дуб)', ...
    'Пелети', ...
    'Електрокотел'};
%% 3. Річна різниця витрат на опалення для кожного ресурсу
DeltaCost = dQ_kWh * tariffs; % грн/рік
% Похибка для теплонасоса (через діапазон тарифів)
hp_err = dQ_kWh * (c_hp_max - c_hp_min)/2; % грн/рік
%% 4. Побудова графіка
figure;
bar(DeltaCost, 'FaceAlpha', 0.8);
hold on;
% Додаємо похибку для теплонасоса (2-й стовпчик)
errorbar(2, DeltaCost(2), hp_err, 'k', 'LineWidth', 1.5, 'CapSize', 12);
grid on;
xticks(1:numel(labels));
xticklabels(labels);
xtickangle(20);
ylabel('Різниця витрат, грн/рік');
title(sprintf(['Економічний ефект різниці між ДСТУ та ISO\n' ...
    '\\DeltaQ = %.0f кВт·год/рік'], dQ_kWh), ...
    'Interpreter', 'tex');
% Показати значення над стовпчиками
for i = 1:numel(DeltaCost)
    text(i, DeltaCost(i)*1.02, sprintf('%.0f', DeltaCost(i)), ...
```

```
        'HorizontalAlignment','center', 'VerticalAlignment','bottom', ...  
        'FontSize',8);  
end  
hold off;
```

Додаток В

Авторський сертифікат на публікацію наукової статті



PROJOURNAL PROMONOGRAPH
PROCONFERENCE DOIcenter

INDEX COPERNICUS
INTERNATIONAL

Crossref

Google
scholar

With scientific support :

Academy of Economics named after D.A. Tsenov-Svishtov (Bulgaria)
Universities and Research Institutes

www.sworldjournal.com

Ref. BG34-021 November 20, 2025

AUTHOR'S CERTIFICATE

Authors:

Novytskyi Kyrylo Vitaliyovych

Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas

Vashchyshak Iryna Romanivna

Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas

Dotsenko Yevgen Romanovych

King Danylo University

Scientific work:

“STANDARDISATION PROCESSES IN UKRAINE: ACHIEVEMENTS,
CHALLENGES, PROSPECTS”

Approved by the Editorial Board for publication in the journal:

“ScientificWorldJournal”

Bulgaria, Svishtov, Issue №34, November, 2025.

Chairman of Editorial Board
Doctor of Technical Sciences
Professor, Academician



Scientific Secretary
Ph.D.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "A.G. Shibaev".
A.G. Shibaev

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "S.V. Kuprienko".
S.V. Kuprienko