

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ
УКРАЇНИ
ННІ ЕНЕРГЕТИКИ, АВТОМАТИКИ І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ**

ПОГОДЖЕНО

Директор навчально-наукового
інституту енергетики, автоматики і
енергозбереження

(назва ННІ)

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри
інженерії енергосистем

_____ **Віктор КАПЛУН**
(підпис) (ПІБ)

“ ___ ” _____ 2025 р.

_____ **Євген АНТИПОВ**
(підпис) (ПІБ)

“ ___ ” _____ 2025 р.

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему

Оцінювання впливу повітропроникності огорожувальних конструкцій
громадської будівлі на параметри мікроклімату приміщень

Спеціальність

144 – «Теплоенергетика»
(код і назва)

Освітня програма

Інженерія відновлювальних джерел енергії та енергоменеджмент
(назва)

Орієнтація освітньої програми

освітньо-професійна
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Гарант освітньої програми

Доктор техн. наук, професор
(науковий ступінь та вчене звання)

_____ (підпис)

Горобець В.Г.
(ПІБ)

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи

Канд. техн. наук, доцент
(науковий ступінь та вчене звання)

_____ (підпис)

Антипов Є.О.
(ПІБ)

Виконав

_____ (підпис)

Бурлака О.О.
(ПІБ)

КИЇВ – 2025

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ
УКРАЇНИ ННІ ЕНЕРГЕТИКИ, АВТОМАТИКИ І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

ЗАТВЕРДЖУЮ

**Завідувач кафедри
інженерії енергосистем**

Канд. техн. наук, доцент Є.О. Антипов
(науковий ступінь, вчене звання) (підпис) (ПІБ)

“ ” _____ 2024 року

**ЗАВДАННЯ
ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТУ**

Бурлаці Олександр Олександровичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

Спеціальність

144 – «Теплоенергетика»
(код і назва)

Освітня програма

Інженерія відновлювальних джерел енергії та енергоменеджмент
(назва)

Орієнтація освітньої програми

освітньо-професійна
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Тема магістерської кваліфікаційної роботи

«Оцінювання впливу повітропроникності огорожувальних конструкцій громадської будівлі на параметри мікроклімату приміщень»

затверджена наказом проректора НУБіП України від «18» листопада 2024 р. №2060 «С»

Термін подання завершеної роботи на кафедру 14.11.2025 р.
(рік, місяць, число)

Вихідні дані до магістерської кваліфікаційної роботи:

Законодавство у сфері енергоефективності, нормативні документи.

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

1. Огляд норм та вимог до повітропроникності огорожувальних конструкцій будівлі.
2. Загальна характеристика об'єкту проектування.
3. Інженерний розрахунок.
4. Техніко-економічне обґрунтування запропонованих технічних рішень.

Перелік графічного матеріалу (за потреби):

Дата видачі завдання “20” листопада 2024 р.

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи

_____ (підпис)

Антипов Є.О.
(прізвище та ініціали)

Завдання прийняв до виконання

_____ (підпис)

Бурлака О.О.
(прізвище та ініціали студента)

РЕФЕРАТ

Магістерська робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків та списку використаних джерел. Обсяг роботи становить 83 сторінки, включаючи 26 рисунків та 6 таблиць.

Метою магістерської роботи є оцінювання впливу повітропроникності огорожувальних конструкцій громадської будівлі на параметри мікроклімату приміщень.

Проведені розрахунки тепловтрат через стінові конструкції і вентиляційні отвори для окремого приміщення громадської будівлі. Показано, що використання методики, яка наведена в нині діючому ДСТУ 9191:2022 «Теплоізоляція будівель. Метод вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будівель», завищує теплові втрати через стінові конструкції на 39 - 48 %.

Урахування впливу швидкості вітрового потоку та «затінення» досліджуваної будівлі на рівень її питомого енергоспоживання показало, що відбулась зміна класу енергетичної ефективності будівлі з «D» на «E», а значення показника питомого споживання енергії зросло на 17,9%, значення показника питомих викидів CO₂ збільшилось на 12,9%, а фактора питомого споживання первинної енергії на 12,7%. Порівняльний аналіз отриманих результатів вказує на те, що при швидкості вітрового потоку від 5 до 20 м/с теплові втрати через стінові конструкції за рахунок їх повітропроникності можуть зростати в 1,1 – 2,5 раз порівняно з погодними умовами при відсутності вітру.

Оцінено вплив повітропроникності огорожувальних конструкцій громадської будівлі на параметри мікроклімату приміщень та енергетичні характеристики будівлі.

Розроблено заходи по зниженню втрат теплової енергії.

Ключові слова: повітропроникність, інфільтрація, втрати теплової енергії, баланс енергії, заходи по зниженню втрат.

ЗМІСТ

ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ НОРМАТИВНИХ ВИМОГ ЩОДО ОЦІНКИ РІВНЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ БУДІВЕЛЬ	8
1.1. Оцінка втрат теплоти через огорожувальні конструкції будівлі: Blower Door Test - тест на герметичність	9
1.2. Тест на герметичність будівлі в нормативній базі України	16
Розділ 2	18
Аналіз БАЗИ ДАНИХ СЕРТИФІКАТИВ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ БУДІВЕЛЬ В УКРАЇНІ: ОЦІНЮВАННЯ ВПЛИВУ ПОВІТРОПРОНИКНОСТІ НА ПАРАМЕТРИ МІКРОКЛІМАТУ ПРИМІЩЕНЬ	18
2.1. Історія змін законодавчої та нормативної бази з питань сертифікації енергетичної ефективності будівель	19
2.2. Рівень сертифікації енергетичної ефективності будівель в Україні	21
2.3. Національна база даних будівель в Україні, які пройшли процедуру сертифікації енергетичної ефективності	28
2.4. Висновки по розділу 2.....	34
Розділ 3	36
МЕТОДИКА ОЦІНЮВАННЯ ВПЛИВУ ЗОВНІШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА ТА ГЕРМЕТИЧНОСТІ ОГОРОДЖУВАЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ НА ЕНЕРГЕТИЧНІ ПОКАЗНИКИ БУДІВЛІ.....	36
3.1. Розрахунок тепловтрат через стінові конструкції об'єкту	36
3.2. Розрахунок тепловтрат через вентиляційну систему.....	37
3.3. Розрахунок тепловтрат кімнатою багатоповерхової будівлі.....	39
3.4. Оцінювання зміни параметрів мікроклімату приміщень	55
3.5. Висновки по розділу 3.....	60
РОЗДІЛ 4	62

РОЗРОБКА СЕРТИФІКАТУ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ГРОМАДСЬКОЇ БУДІВЛІ З УРАХУВАННЯМ ПОВІТРОПРОНИКНОСТІ ЇЇ ЗОВНІШНЬОЇ ОБОЛОНКИ.....	62
4.1. Розробка сертифікату енергетичної ефективності громадської будівлі	62
4.2. Висновки по розділу 4.....	75
ВИСНОВКИ.....	77
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	79

ВСТУП

Енергоефективність будівель є важливою характеристикою, яка обумовлена як енергетичними витратами на підтримання нормованих параметрів мікроклімату всередині приміщень будівель житлового, громадського або промислового призначення, так і економічними витратами на функціонування систем опалення, вентиляції та кондиціонування. При цьому, вдосконалення потребують методи розрахунку тепловтрат в будівлях, що дасть можливість врахувати вплив різних факторів, які наразі недостатньо вивчені в існуючих методиках оцінювання їх енергетичних показників.

У даній роботі представлена методика розрахунку, яка дає можливість більш точно врахувати такі фактори як тепловтрати від зовнішніх стінових конструкцій, що залежать від температурних характеристик зовнішнього середовища, так і впливу вітрового потоку на тепловіддачу зовнішньої поверхні стін будівлі в умовах навколишньої забудови та повітропроникність огорожувальних конструкцій, що дасть можливість оптимізувати витрати теплової енергії для опалення будівель.

Проведені розрахунки повітропроникності огорожувальних конструкцій досліджуваної будівлі, які вказують на необхідність врахування різниці тиску ззовні і всередині об'єкту дослідження. Встановлено, що на температуру поверхні також впливає потік повітря в будівлі та/або крізь її огорожувальні конструкції. Показано, що очевидно є різниця у якості виявлення дефектів «без» та «з» урахуванням додаткового створення різниці тиску, яку можна забезпечити лише спеціалізованим обладнанням для визначення повітропроникності огорожувальних конструкцій будівель «Blower Door». Доведено, що запропоновані методики розрахунків, які враховують вплив швидкості вітрового потоку у поєднанні із проведенням тесту на герметичність огорожувальних конструкцій будівлі – дають змогу реально оцінити фактичний рівень енергоспоживання та встановити дійсний клас енергетичної ефективності будівлі, оскільки відхилення більш ніж на 10-

20 % граничного значення питомого енергоспоживання будівлі на опалення та охолодження, призводить до зміни класу енергетичної ефективності об'єкту обстеження, залежно від його функціонального призначення та коефіцієнта компактності.

Виходячи з цього, *метою магістерської роботи є оцінювання впливу повітропроникності огорожувальних конструкцій громадської будівлі на параметри мікроклімату приміщень.*

Для досягнення поставленої мети необхідно:

1. Провести аналіз нормативних вимог щодо оцінки рівня енергоефективності будівель.
2. Провести розрахунок повітропроникності огорожувальних конструкцій на прикладі громадської будівлі.
3. Провести аналіз впливу повітропроникності огорожувальних конструкцій громадської будівлі на параметри мікроклімату приміщень.
4. Розробити заходи по зниженню втрат теплової енергії.

Об'єктом дослідження є огорожувальні конструкції громадської будівлі.

Предметом дослідження є процеси інфільтрації та ексфільтрації повітря через огорожувальні конструкції будівлі.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ НОРМАТИВНИХ ВИМОГ ЩОДО ОЦІНКИ РІВНЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ БУДІВЕЛЬ

Відомо, що енергоефективність будівель є ключовим фактором [1], який визначає мінімальні витрати енергії на підтримання необхідного мікроклімату в приміщеннях, що обумовлює оптимальний вибір систем опалення та їх автоматичного регулювання в залежності від зміни температури повітря, швидкості вітрового потоку, які є змінними величинами, що впливають на конструкцію та потужність опалювальних приладів для конкретної будівлі [2].

Слід зауважити, що ці характеристики зовнішнього середовища недостатньо вивчені, особливо в умовах міської забудови, що потребує розробки вдосконаленої методики розрахунку тепловтрат, яка наразі використовується в діючих нормативних документах [3].

Другим фактором, який необхідно враховувати – це вплив цих параметрів на повітрообмін між двома середовищами всередині і зовні приміщення, який також може змінюватись. Це стосується систем природної або вимушеної вентиляції, які передбачені в будівлях, а також повітропроникності через зовнішні огорожувальні конструкції. Врахування впливу цих факторів необхідне для коректного проектування теплозахисних властивостей огорожувальних конструкцій [4] та більш точного розрахунку теплової потужності системи опалення [5].

Правильний вибір системи вентиляції з оцінкою повітропроникності зовнішніх огорожувальних конструкцій будівлі важливий як для зниження енерговитрат при експлуатації будівлі, так і для забезпечення комфортних умов перебування людей в житлових, громадських і виробничих будівлях [6, 7]. При цьому, необхідно враховувати теплофізичні властивості щодо повітропроникності нових будівельних матеріалів, які використовуються в сучасному будівництві, а також враховувати, крім виділення вуглекислого газу від життєдіяльності людей, що знаходяться в приміщенні, також і наявність підвищеної концентрації шкідливих речовин, які можуть виділятися синтетичними будівельними матеріалами [6].

Склад повітря в приміщеннях може істотно змінюватися в залежності від наявності джерел забруднення та умов вентиляції, яка використовується в будівлях [8]. При цьому, важливим є правильний вибір вентиляційного обладнання, який дає змогу регулювати концентрацію шкідливих речовин в повітрі приміщень будівлі.

1.1. Оцінка втрат теплоти через огорожувальні конструкції будівлі: Blower Door Test - тест на герметичність

Тест будівлі на герметичність - його ще називають Blower Door Test або визначення повітропроникності огорожувальних конструкцій в натурних умовах - обов'язкова операція при проведенні енергоаудиту будівлі, закріплена в ДСТУ EN ISO 9972:2022 (EN ISO 9972:2015, IDT; ISO 9972:2015, IDT) «Теплотехнічні характеристики будівель. Визначення повітропроникності будівель. Метод випробувального тиску», прийнятий методом перекладу, — ідентичний щодо EN ISO 9972:2015 (версія en) «Thermal performance of buildings — Determination of air permeability of buildings — Fan pressurization method (ISO 9972:2015)».

Історія виникнення Blower Door Test. У 1960 році будівельні експерти не розуміли в якому ступені рух повітря через огорожувальні конструкції сприяло втраті тепла в житлових приміщеннях.

Дослідники з Швеції, Канади і США в 1970 році приступають до вивчення повітряної інфільтрації в будівництві. І вже в 1977 році вперше був використаний дослідниками Швеції вентилятор в отворі вікна для створення різниці тисків.

Надалі метод почали застосовувати в США. Дослідники з Принстона розміщували вентилятор в дверному отворі, оскільки дверні розміри більш стандартні, ніж віконні.

Вважається, що тепловтрати від фільтрації в області вікон, дверей, і розеткових груп становили переважну частину від загальних фільтраційних тепловтрат.

Дослідження продемонстрували потенціал методу Blower Door (Аеродвері) у виявленні раніше не врахованих енерговитрат в будівництві. Було запропоновано використовувати метод при реконструкції та енергетичній модернізації існуючих об'єктів.

На ринку почали з'являтися компанії, що виробляють обладнання Blower Door (Аеродвері). У 1980 з'явилися перші комерційні зразки. До 1986 року кількість виробників зросла до 13, а сукупні доходи від продажів і тестування, наближалися до 10 млн доларів на рік.

До середини 90-х ринок консолідувався у вигляді трьох великих північноамериканських виробників Retrotec, Energy Conservatory і Infiltec. Retrotec і Energy Conservatory досі є лідерами індустрії, що розробляють і пропонують все більш вдосконалені версії обладнання та програмного забезпечення (рис. 1.1).



а)



б)

Рис. 1.1. Приклад використання обладнання Blower Door (Аеродвері): а – Retrotec; б - Energy Conservatory

Blower Door Test сьогодні. Нині Blower Door Test — загально визнаний метод дослідження повітропроникності будівель та невід'ємна частина будівельного ринку розвинених країн.

Це ефективний інструмент контролю якості будівельних робіт і необхідний інструмент на ринку реконструкції та теплотехнічної модернізації (рис. 1.2). Також є ефективним методом дослідження дефектів — прихованих місць повітропроникності та є інструментом поза конкуренцією щодо усунення прихованих тепловтрат.



Рис. 1.2. Зовнішній вигляд сучасного комплекту обладнання (Аеродвері) для оцінки герметичності окремих приміщень або секцій будівлі

Конструкція аеродверей. Аеродвері складаються з розсувної рами, яка вставляється в дверному прорізі та на котру чіпляється штора з вбудованим вентилятором з регульованою швидкістю, манометр для вимірювання перепадів тиску всередині і зовні будинку

Вентилятор витягує повітря з дому, знижуючи тиск повітря всередині. Більш високий тиск зовнішнього повітря проникає через всі тріщини і отвори, які є в приміщенні. Аудитори можуть використовувати димову шашку, щоб бачити місця витоків повітря. Або при підвищеному тиску в 50 Па тепловізором виявляти місця втрати тепла.

Таке тестування на герметичність будівлі або окремого приміщення дозволяє:

- виміряти кратність повітрообміну приміщень і параметри повітропроникності огорожувальних конструкцій будівель;
- визначити місця витоку повітря;
- об'єктивно оцінити енергоефективність;
- перевірити справність роботи систем вентиляції, газового пожежогасіння та систем активного запобігання пожежі.

Щоб протестувати будівлю на герметичність, виконується такий алгоритм дій:

- ✓ Підготовка до перевірки герметичності будівлі.
- ✓ Вентилятор аеродверей встановлюється в отвір вхідних дверей за допомогою знімної дверної панелі (рис. 1.3):
 - для окремого будинку, приміщення або квартири — у вхідних дверях;
 - для групи приміщень — до дверей приміщення, з яким з'єднуються всі інші приміщення, які тестуються.

У багатоповерховому будинку слід випробовувати не менше трьох квартир, в тому числі, одну кутову на першому або останньому поверхах. Порядок дій може бути наступним:

- ✓ Усі зовнішні двері і вікна закриваються, всі двері всередині будівлі відкриваються.
- ✓ Вимикаються усі види газового обладнання та інші системи, працездатність яких чутлива до перепадів атмосферного тиску.
- ✓ Щільно закриваються всі вентиляційні отвори, фрамуги, канали витяжних вентиляторів, витяжні канали опалювального обладнання (печей, камінів, теплообмінників, сушарок, газових водонагрівачів тощо.).
- ✓ Вимірюється температура і тиск зовнішнього повітря, температура всередині приміщення.

Примітка. Випробування проводяться за умови, що різниця температур внутрішнього і зовнішнього повітря не перевищує 30 °С, а швидкість вітру — 8 м/с.



Рис. 1.3. Приклад підготовки аеродверей для встановлення в отвір вхідних дверей за допомогою знімної дверної панелі

Процес тестування. Вентилятор включається в режимі нагнітання повітря всередину будівлі або в режимі створення розрідження — в залежності від цілей тесту.

Вентилятор поступово набирає обертів. Коли різниця тисків між вулицею і приміщенням досягає 50 Па, починається запис показників (детальний процес тестування див. у п. 8 ДСТУ Б В.2.2-19:2007).

Герметичність будинку вимірюється двома показниками: повітрообмін і кратність повітрообміну при перепаді тиску в 50 Па.

За результатами замірів приміщення складається план об'єкта.

Проведений таким чином тест, з використанням тепловізійної камери, дає змогу визначити «слабкі місця» в огорожувальних конструкціях будівлі (рис. 1.4). За результатами такої перевірки можна ефективно усунути місця витоку повітря (і тепла). Це дозволить:

1. Підвищити клас енергоефективності будівлі (при модернізації всієї споруди).
2. Уникнути проблем з конденсацією вологи в холодних зонах, усуне протяги, підвищить комфорт і дозволить економити на опаленні і кондиціонуванні приміщень.

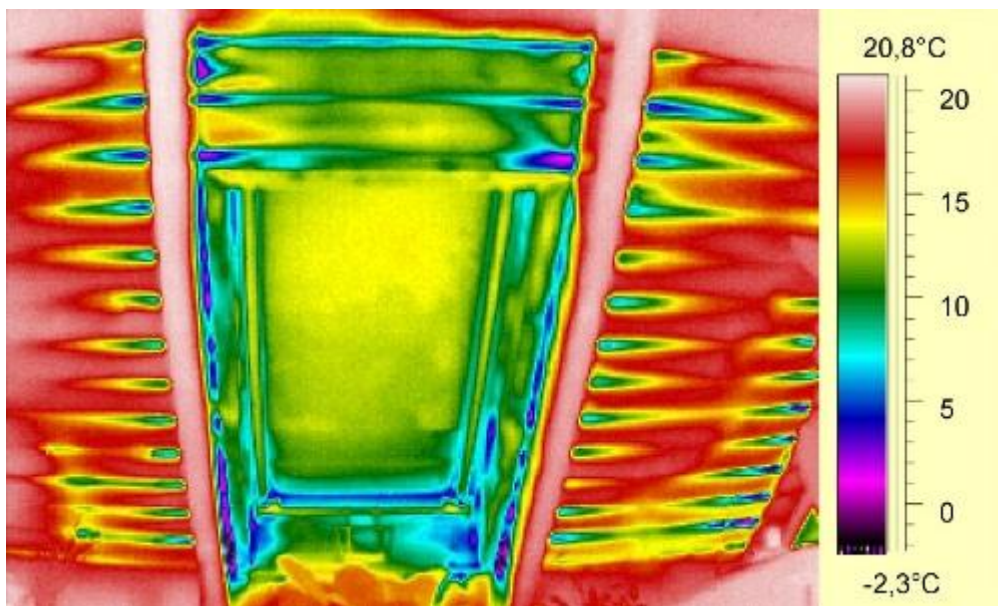


Рис. 1.4. Приклад інфрачервоного зображення мансардного вікна під час випробування під тиском за допомогою аеродверей

Результатами випробувань є показники кратності повітрообміну і, що найцінніше, детальний аналіз слабких місць утеплення і рекомендації щодо їх усунення.

Після усунення втрат тепла зазвичай проводять повторний тест для внесення в паспорт параметрів виправленого стану.

Найчастіше виявляються проблеми у таких місцях: монтажні шви вікон і дверей, пороги вхідних дверей, вузли примикання покрівлі.

1.2. Тест на герметичність будівлі в нормативній базі України

Про те, що Blower Door Test обов'язковий в Україні при оформленні енергетичного сертифікату будівлі, не в курсі не тільки власники будівель, але і фахівці. Провести професійний аудит будівлі без даних по герметичності неможливо. Визначити герметичність будівлі можна за допомогою одного випробування: фізично створити в будівлі або її частині зниження або збільшення тиску в порівнянні із зовнішнім тиском. Ось що роблять аеродвері. Отже, для точного визначення класу енергоефективності будівлі, Blower Door Test має пройти кожна опалювальна будівля в Україні.

[ДБН В.2.6–31:2016](#) «Теплова ізоляція будівель», п. 6.11, посилається на метод визначення повітропроникності огорожувальних конструкцій в натурних умовах (він же Blower Door Test), описаний в ДСТУ Б В.2.2-19, як обов'язковий для визначення параметрів повітропроникності: «Будівлі енергетичного класу С, В або А і їх частини повинні бути спроектовані так, щоб повітрообмін, який вимірюється відповідно до ДСТУ Б В.2.2-19, при різниці тисків між внутрішньою і зовнішньою частинами будівлі 50 Па не перевищував значення кратності повітрообміну, наведених в табл.7».

ДБН В.2.6-31:2016

Таблиця 7 – Нормальні значення кратності повітрообміну (год^{-1}) при різниці тисків 50 Па

Ч.ч.	Тип будівлі	Клас енергетичної ефективності будівлі	год^{-1}
1	Житлові, адміністративні, навчальні та медичні	С	2,0
		В	1,5
		А	0,8
2	Громадські будівлі, крім зазначених вище	С	2,0
		В	1,5
		А	1,0

Примітка. Оцінювання повітрообміну приміщень будівель за результатами вимірювань фактичної повітропроникності здійснюється згідно з ДСТУ Б В.2.2-19.

Рис. 1.5. Витяг із ДБН В.2.6-31:2016 Теплової ізоляція будівель

У нині діючому [ДБН В.2.6-31:2021 «Теплова ізоляція та енергоефективність будівель»](#), який готують на заміну ДБН В.2.6-31:2016, дану вимогу вилучили, а залишили лише п. 5.10 Повітропроникність зовнішніх огорожувальних конструкцій повинна відповідати вимогам згідно з ДСТУ-Н Б В.2.6-191.

В ДСТУ Б В.2.2–39:2016 «Методи і етапи проведення енергетичного аудиту будівель», п. 4.8, сказано, що енергетичні характеристики будівлі визначаються, зокрема, за результатами вимірювань фактичних значень повітрообміну в приміщеннях будівлі і повітропроникності огорожувальних конструкцій згідно ДСТУ Б В.2.2-19.

Простими словами, при отриманні звіту з енергетичного аудиту будівлі обов'язково робити Blower Door Test.

Іншою є ситуація із сертифікацією будівель, оскільки нині діюча методика, згідно вимог ДСТУ 9190:2022 «Енергетична ефективність будівель. Метод розрахунку енергоспоживання під час опалення, охолодження, вентиляції, освітлення та гарячому водопостачанні», не передбачає обов'язкового проведення тестування огорожувальних конструкцій будівлі на герметичність, що і розглянемо далі.

РОЗДІЛ 2

АНАЛІЗ БАЗИ ДАНИХ СЕРТИФІКАТИВ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ БУДІВЕЛЬ В УКРАЇНІ: ОЦІНЮВАННЯ ВПЛИВУ ПОВІТРОПРОНИКНОСТІ НА ПАРАМЕТРИ МІКРОКЛІМАТУ ПРИМІЩЕНЬ

Енергетичний сертифікат – електронний документ встановленої форми, в якому зазначено показники та клас енергетичної ефективності будівлі, наведено сформовані у встановленому законодавством порядку рекомендації щодо його підвищення, а також інші відомості, визначені національним законодавством [1].

Із вступом в дію Закону України «Про енергетичну сертифікацію будівель» розробка енергетичного сертифікату стала обов'язковою для [2]:

1) об'єктів будівництва (нового будівництва, реконструкції, капітального ремонту, крім об'єктів, на яких здійснюється виконання робіт з капітального ремонту, до яких не застосовуються мінімальні вимоги до енергетичної ефективності будівель), що за класом наслідків (відповідальності) належать до об'єктів із середніми (СС2) та значними (СС3) наслідками, які визначаються відповідно до Закону України "Про регулювання містобудівної діяльності";

2) будівель, у яких мають намір здійснювати термомодернізацію та/або енергоефективні заходи, спрямовані на підвищення теплотехнічних характеристик огорожувальних конструкцій, для здійснення яких надається державна підтримка;

3) будівель державної власності, у яких розміщені органи виконавчої влади, що займають понад 250 квадратних метрів опалюваної площі та повинна бути здійснена у термін до 03 серпня 2024 року;

4) будівель комунальної власності, у яких розміщені органи місцевого самоврядування, які займають понад 250 квадратних метрів опалюваної площі та повинна бути здійснена у термін до 03 серпня 2025 року;

5) будівель комунальної власності з опалюваною площею понад 250

квадратних метрів, які часто відвідують громадяни та повинна бути здійснена у термін до 03 серпня 2026 року.

З метою оцінювання рівня впливу додаткових факторів, зокрема таких як: висотність будівлі, рівень її «затінення» сусідніми будівлями, повітропроникність огорожувальних конструкцій та рівень герметичності зовнішньої оболонки будівлі на показник її питомого енергоспоживання, значний інтерес викликає аналіз даних з наявних енергетичних сертифікатів рівнів фактичного і розрахункового питомого енергоспоживання різними типами будівель. У дослідженні [3] увага авторів була зосереджена на показниках енергоефективності житлових та громадських будівель (починаючи з 2019 року). Колективом авторів даного дослідження додатково була проведена оцінка змін внесених у національне законодавство з питань сертифікації енергетичної ефективності будівель та оцінено їх вплив на розрахунок енергоспоживання під час опалення, охолодження, вентиляції, освітлення та гарячого водопостачання, згідно вимог попередньої [4] та діючої методики [5].

2.1. Історія змін законодавчої та нормативної бази з питань сертифікації енергетичної ефективності будівель

В Україні діяльність з енергетичної сертифікації розпочалася з введенням в дію Закону України «Про енергетичну ефективність будівель» [2], згідно вимог якого до 01.07.2019 року сертифікація енергетичної ефективності будівель була добровільною, потім – обов'язковою для будівель, згідно переліку [2].

У період 2017-2018 рр. впроваджено низку будівельних норм і стандартів, що регламентують вимоги до методів оцінювання показників енергоефективності та енергоаудиту будівель [4, 6], які пізніше зазнали змін [5, 7], а також комплекс нормативно-правових актів [8, 9], які у послідуючі роки також зазнали ряду змін [10-12].

З 1 грудня 2020 року вступила в дію частина третя статті 8 Закону України «Про енергетичну ефективність будівель» в редакції Закону № 199-ІХ від 17.10.2019, згідно з якою енергетичний сертифікат виготовляється атестованим енергоаудитором [13] з використанням Єдиної державної електронної системи у сфері будівництва (ЄДССБ) [14, 15] та з присвоєнням реєстраційного номера в цій системі, а до того часу сертифікати вносилися до бази Державного агентства з енергоефективності та енергозбереження України [16, 17], ведення якої здійснювалось, згідно вимог Порядку [18].

З 1 грудня 2022 року ЄДССБ функціонує в режимі так званої «промислової» експлуатації. Цей крок передбачений розпорядженням Кабінету Міністрів України № 565 від 20 травня 2020 року «Про затвердження плану заходів щодо створення та запровадження Єдиної державної електронної системи у сфері будівництва» [19].

Наразі розробку та реєстрацію енергетичного сертифіката може здійснювати особа, яка атестована відповідним кваліфікаційним центром, акредитованим Національним агентством кваліфікацій. Відомості зокрема про такі кваліфікаційні центри розміщуються на сайті Національного агентства кваліфікацій [20].

Варто відзначити, що вимоги щодо визначення класу енергоефективності також змінювалися з часом. Так, до вступу в дію нової редакції ДБН «Теплова ізоляція та енергоефективність будівель» [7] клас енергетичної ефективності будівлі визначався спочатку по енергоспоживанню за методикою [8] з урахуванням витрат на потреби опалення, охолодження та гарячого водопостачання на основі нормативних об'ємних витрат гарячої води, що нормуються в ДБН В.2.5-64:2012 «Внутрішній водопровід та каналізація». З 2021 року при визначенні класу енергоефективності потрібно було орієнтуватися на граничні показники витрат на опалення та охолодження за [10], а витрати на гаряче водопостачання наводились в енергетичному сертифікаті з урахуванням таблиці узагальнених питомих значень енергопотреб з ДСТУ Б А.2.2-12:2015 [4], а з 2022 року - при

визначенні класу енергетичної ефективності будівлі показник енергоспоживання системою гарячого водопостачання взагалі не враховується, згідно вимог нової методики [5].

2.2. Рівень сертифікації енергетичної ефективності будівель в Україні

Проаналізувавши активність проведення сертифікації від початку її запровадження в Україні і до нині, ситуація виглядає наступним чином. Лише у березні 2019 року енергоаудитори надали до Держенергоефективності 36 енергетичних сертифікатів, що удвічі більше, ніж за всі попередні місяці разом узяті. Загалом, із вересня 2018 року по квітень 2019 року вже сертифіковано 61 будівлю, зокрема (рис. 2.1):

- 23 житлових будинків;
- 18 громадських будівель;
- 12 закладів охорони здоров'я;
- 8 навчальних закладів.



Рис. 2.1. Рівень сертифікації енергетичної ефективності будівель в Україні станом на квітень 2019 року

Так, упродовж липня 2019 р. енергоаудитори видали ще 70 сертифікатів енергоефективності будівель. При цьому, лише за 2 дні серпня 2019 р. до бази включено додатково майже 30 сертифікатів. Загалом, станом на 02.08.2019 р. нараховувалось вже 319 будівель, які пройшли сертифікацію, зокрема (рис. 2.2):

- 93 - громадські будівлі;
- 82 - навчальні заклади;
- 66 - закладів охорони здоров'я;
- 62 - житлові будинки;
- 16 – дитячих дошкільних закладів.

Найактивнішими у цій сфері є Полтавська, Рівненська області та м. Київ.



Рис. 2.2. Рівень сертифікації енергетичної ефективності будівель в Україні станом на серпень 2019 року

У 2020 р. енергоаудиторами видано вже 5018 сертифікатів. Це майже у 4 рази більше, ніж у 2019 році (близько 1300 сертифікатів). Для порівняння у січні-лютому 2019 р. цей напрям лише зароджувався та налічував тоді перші

видані 4-14 сертифікатів. На кінець 2020 р. сертифіковано 6379 будівель [21]:

- 6022 - у базі сертифікатів на сайті Держенергоефективності на кінець листопада 2020 року;
- ще 357 – у Єдиній державній електронній системі у сфері будівництва з 1 по 31 грудня 2020 року.

Водночас Держенергоефективності проводив і незалежний моніторинг сертифікатів. Станом на 31 грудня 2020 року проведено 164 моніторинги, з яких пройшли перевірку - 56; не пройшли перевірку - 108.

На даний момент сертифіковано близько 21 тисячі будівель (рис. 2.3) і з кожним днем їх кількість невпинно зростає. Так, лише у поточному році було виготовлено 2262 енергетичних сертифікати, натомість у 2023 році цей показник склав 4319 сертифікатів, у 2022 р. та 2021 р. – 2783 та 4794 енергетичних сертифікати відповідно.

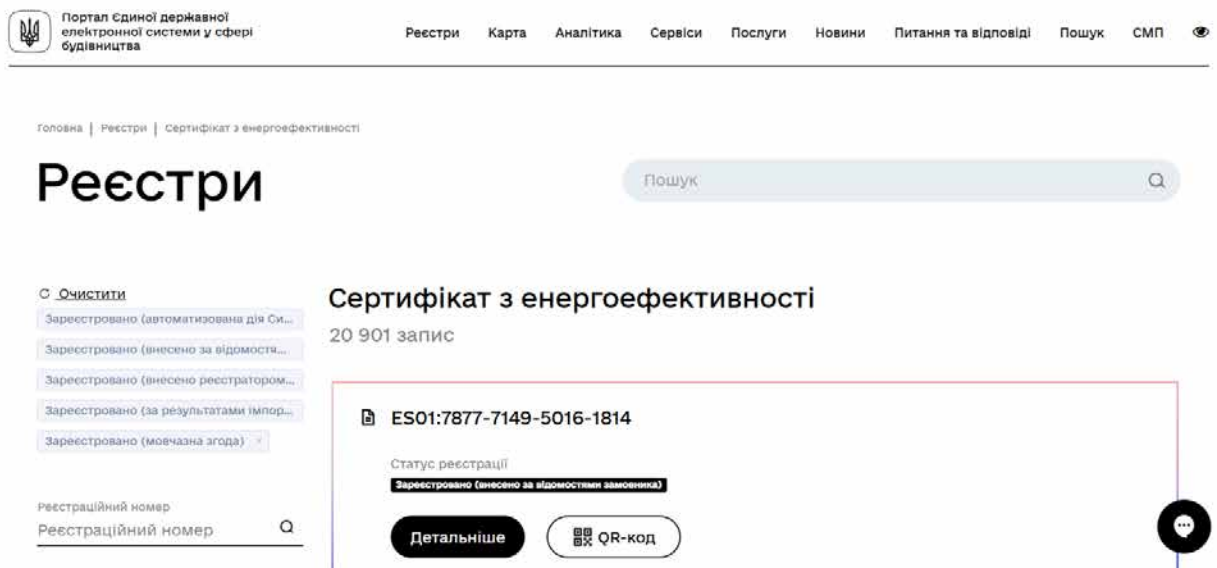


Рис. 2.3. Реєстр сертифікатів з енергоефективності, які внесені в ЄДССБ станом на листопад 2024 року

Згідно даних порталу ЄДССБ, основну частку об'єктів сертифікації складають житлові будівлі.

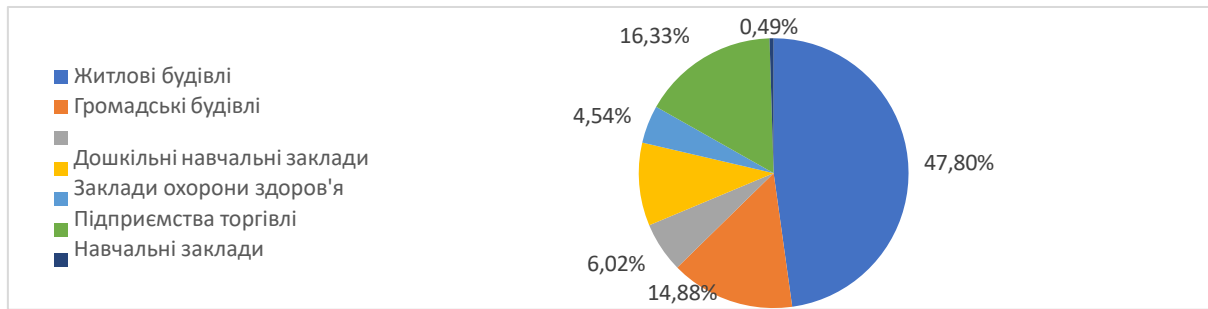


Рис. 2.4. Сертифіковані будівлі в Україні [3]

У таблиці 2.1 показано результати порівняльного аналізу кількості сертифікованих будівель та їх класів енергоефективності у відсотковому відношенні (клас енергоефективності визначено по енергоспоживанню за [5]).

Таблиця 2.1 - Розподіл кількості сертифікованих будівель за типами та класами енергоефективності, %

Клас	Житлові будівлі	Громадські будівлі	Дошкільні навчальні заклади	Заклади охорони здоров'я	Підприємств а торгівлі	Навчальні заклади	Готелі
A	0,51	3,73	0,58	0,17	11,83	0,00	7,14
B	3,81	22,84	8,93	6,10	66,41	4,56	21,43
C	27,82	16,32	15,56	12,89	17,94	9,77	32,14
D	9,54	7,81	9,51	10,10	1,15	8,60	10,71
E	7,40	9,44	12,39	12,20	0,76	7,22	10,71
F	4,64	8,28	13,54	12,37	0,38	10,08	0,00
G	46,28	31,59	39,48	46,17	1,53	59,77	17,86

З аналізу даних таблиці 2.1 бачимо, що основними закладами, які отримали найнижчий клас «G» серед усіх сертифікованих будівель є навчальні заклади (59,77%) та житловий сектор (46,28%). Це вказує на те, що технічні характеристики більшості таких будівель в Україні не відповідають сучасним вимогам та діючим нормам [7].

В ході подальшого дослідження більш детальний аналіз був проведений для житлових та громадських будівель з використанням функціоналу кабінету учасника ЄДССБ (рис. 2.5).

The screenshot displays the 'Сертифікати з енергоефективності' (Energy Efficiency Certificates) section of the participant's cabinet. The interface includes a search bar, a table of certificates, and a filter panel on the right.

Реєстрація...	Енергоауд...	Статус реєстрації...	Статус	Дата реєстрації...	Дата закінчення...	Дата початку...	Дата закінчення...	Замовники
E501:7877-7152-8370-6199	Антипов Євген Олександрович (3252815853)	Зареєстровано (внесено)	Чинний	12.03.2020	11.03.2030			
E501:3502-4362-3590-5019	Антипов Євген Олександрович (3252815853)	Зареєстровано (внесено)	Чинний	16.12.2020	16.12.2030			ТОВАРИСТВО ОБМЕЖЕНОЮ ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ "ІНТЕРПРОЕКТ ІМВНГ" 35402
E501:4321-4012-0136-2388	Антипов Євген Олександрович (3252815853)	Зареєстровано (внесено)	Чинний	15.12.2020	15.12.2030			ТОВАРИСТВО ОБМЕЖЕНОЮ ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ "ІНТЕРПРОЕКТ ІМВНГ" 35402
E501:5730-6053-0477-6031	Антипов Євген Олександрович (3252815853)	Зареєстровано (внесено)	Чинний	17.12.2020	17.12.2030			ТОВАРИСТВО ОБМЕЖЕНОЮ ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ "ІНТЕРПРОЕКТ ІМВНГ" 35402
E501:5746-0653-8349-1220	Антипов Євген Олександрович (3252815853)	Зареєстровано (внесено)	Чинний	17.12.2020	17.12.2030			ТОВАРИСТВО ОБМЕЖЕНОЮ ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ "ІНТЕРПРОЕКТ ІМВНГ" 35402
E501:4113-6433-9889-0757	Антипов Євген Олександрович	Зареєстровано (внесено)	Чинний	07.02.2021	07.02.2031			ТОВАРИСТВО ОБМЕЖЕНОЮ ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ "ІНТЕРПРОЕКТ ІМВНГ" 35402

The filter panel on the right includes sections for 'Реєстр' (Registered), 'Енергетичні інженери' (Energy Engineers), and 'Статус' (Status). The 'Статус' section shows a list of filters with checkboxes, including 'Зареєстровано (автоматизована дія Сис...', 'Зареєстровано (внесено за відомостями...', 'Зареєстровано (внесено реєстратором)', and 'Зареєстровано (за результатами імпорт...'. The 'Обрано' (Selected) count is 2.

Рис. 2.5. Кабінет учасника ЄДССБ з відображенням застосовуваних фільтрів

Таким чином аналізувались наступні показники енергетичної ефективності сертифікованих будівель: опір теплопередачі зовнішніх стін та світлопрозорих конструкцій, питоме енергоспоживання енергії, питомі викиди CO₂. Із 317 об'єктів сертифікації було виявлено, що серед 89 будівель з класом енергоефективності «G» - всі існуючі будівлі, коефіцієнт опору теплопередачі для зовнішніх стін яких не відповідає нормативному для всіх будівель, а коефіцієнт опору теплопередачі для світлопрозорих конструкцій – для 39 будівель. З обраних 129 будівель з класом енергоефективності «C», 116 - будівлі типу «нове будівництво» або «проект реконструкції чи капітального ремонту», решта – існуючі будівлі, з них 43,1% мають опір теплопередачі стін нижче нормативного. Середнє значення питомого споживання енергії – 83,1 кВт·год/м², а середнє значення питомих викидів CO₂ – 33,5 кг/м² в рік.

Розглянемо будівлі, сертифікація для яких здійснювалась з 2019 року («нове будівництво» або «проект капітального ремонту або реконструкції») за

класами від «А» до «G», щоб визначити середнє значення. Житлові будівлі представлено на рис. 2.6, громадські – на рис. 2.7.

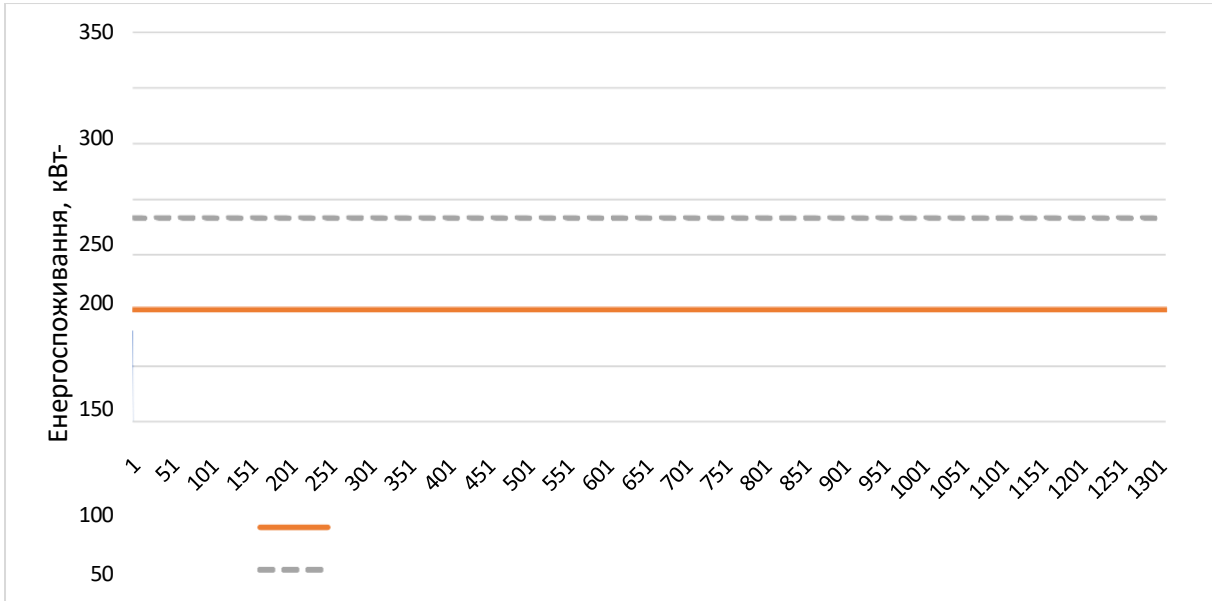


Рис. 2.6. Енергоспоживання житлових будівель класів «А»-«G» [3]

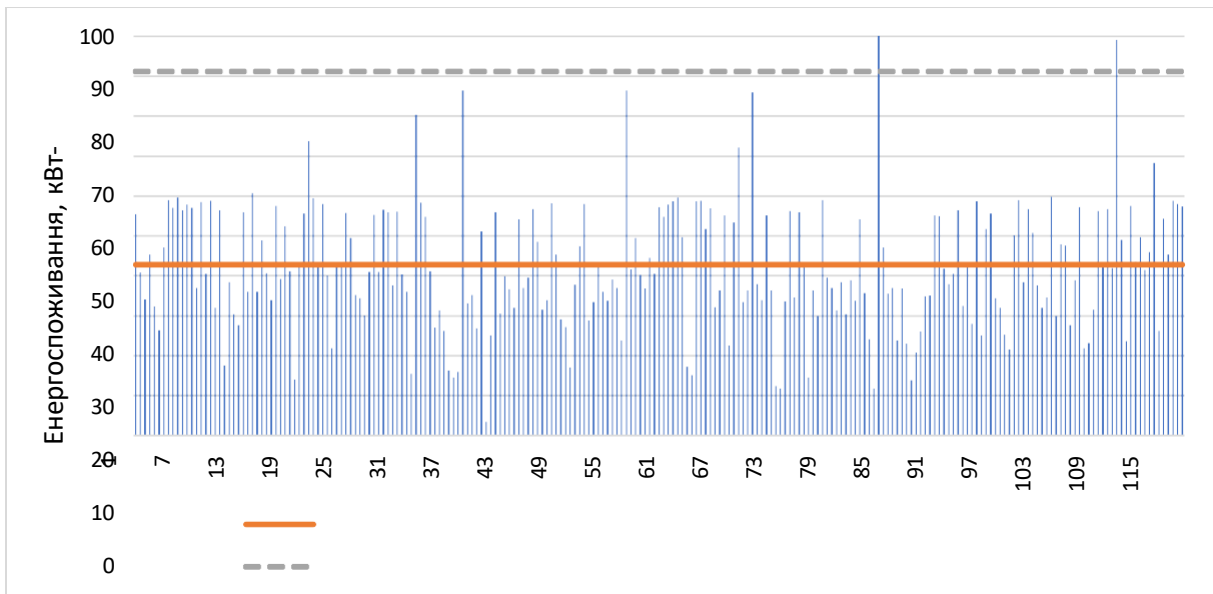


Рис. 2.7. Енергоспоживання громадських будівель класів «А»-«G» [3]

З аналізу рис. 2.6-2.7 встановлено, що середнє питоме споживання енергії для будівель житлового сектору, сертифікація для яких здійснювалося починаючи з 2019 року («нове будівництво» або «проект капітального ремонту або реконструкції»), знаходиться на рівні 100 кВт·год/м². Середнє

значення показника питомого енергоспоживання для всіх житлових будівель, які отримали сертифікат енергетичної ефективності, становить 171 кВт·год/м². Середнє питома споживання енергії для громадських будівель, сертифікація для яких здійснювалося починаючи з 2019 року («нове будівництво» або «проект капітального ремонту або реконструкції»), знаходиться на рівні 43 кВт·год/м³. Середнє значення показника питомого енергоспоживання для всіх громадських будівель, які отримали сертифікат енергетичної ефективності, становить 92 кВт·год/м³. Клас енергоефективності визначено за [11].

Також аналізувався вплив на екологію, а саме потенціал скорочення викидів вуглекислого газу (житлові будівлі класу «С», вид - «нове будівництво», з 2019 р.). При цьому враховувалось, що будівлі не змінюють джерело теплопостачання, тобто джерело первинної енергії залишається незмінним, а лише досягається економія енергоресурсів за рахунок покращення теплозахисних властивостей зовнішніх огорожувальних конструкцій, автоматизації інженерних систем будівлі і т.д. Результати підрахунку потенціалу зменшення викидів CO₂ представлено на рис. 2.8.

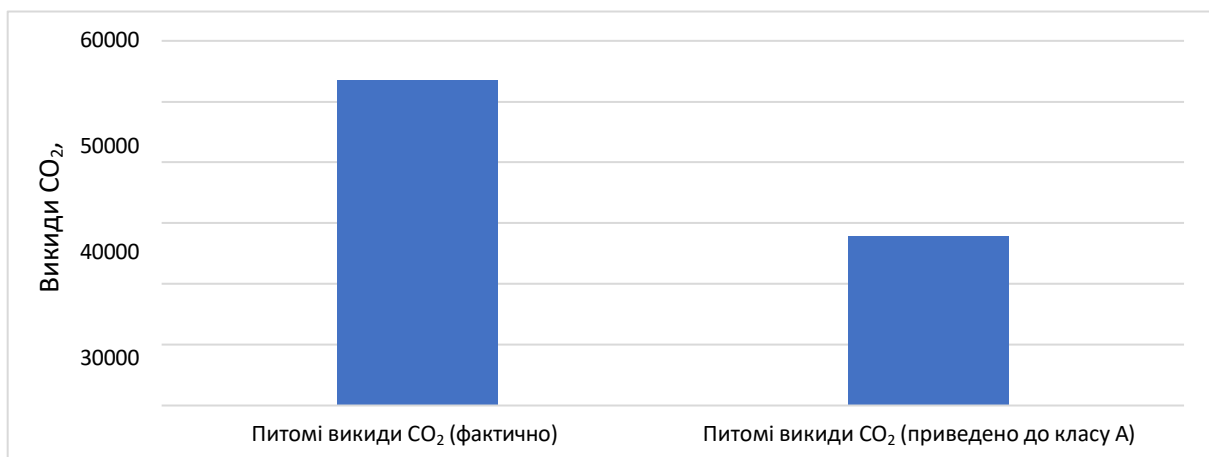


Рис. 2.8. Викиди вуглекислого газу для житлових будівель (фактичні та у разі приведення енергоспоживання до норм класу «А»)

Проведений аналіз ґрунтувався виключно на даних взятих із бази енергетичних сертифікатів без врахування рівня теплових втрат через стінові конструкції за рахунок повітропроникності. Врахування останнього особливо важливо для тих будівель, які вже експлуатуються або тільки вводяться в експлуатацію, оскільки використовуваний при сертифікації розрахунковий метод не дозволяє врахувати фактичний рівень повітропроникності огорожувальних конструкцій та кратності повітрообміну приміщень. Тому викликає зацікавленість провести розрахунок тепловтрат для окремих приміщень багатоповерхової будівлі з урахуванням швидкості вітрового потоку та «затінення» досліджуваної будівлі та оцінити їх вплив на рівень питомого енергоспоживання, величину викидів CO₂ та клас енергетичної ефективності будівлі, що і було зроблено далі.

2.3. Національна база даних будівель в Україні, які пройшли процедуру сертифікації енергетичної ефективності

Національна база даних будівель створюється з метою забезпечення функціонування систем енергоменеджменту будівель та реалізації Стратегії термомодернізації будівель, що визначена Законом України «Про енергетичну ефективність будівель». Зокрема стаття 15-1 цього Закону визначає положення про запровадження національної бази даних енергетичних та експлуатаційних характеристик будівель (рис. 2.9).

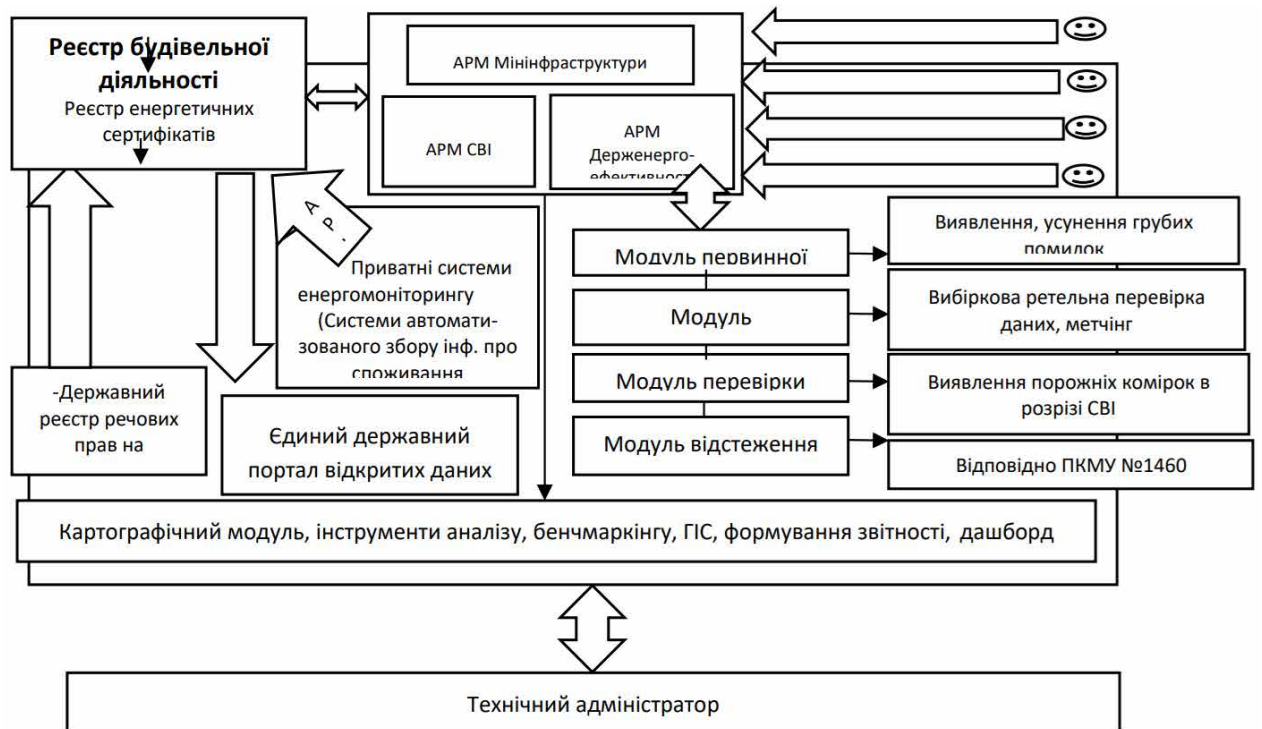


Рис. 2.9. Схема системи «Національна база даних будівель» в Україні, які пройшли процедуру сертифікації енергетичної ефективності [22]

Національна база даних будівель повинна в цілому забезпечувати реалізацію наступних функціональних задач [22]:

- обмін даними з стороннім ПЗ систем енергетичного менеджменту та енергетичного моніторингу, зокрема, шляхом імпорту даних за допомогою обмінного файлу (API);
- ідентифікація будівель у Базі даних будівель за допомогою ідентифікаторів об'єктів будівництва (закінчених будівництвом об'єктів) Реєстру будівельної діяльності;
- ідентифікацію джерела надходження або оновлення даних в системі та його зазначення у відповідних метаданих об'єкту;
- збір, накопичення та збереження даних щодо енергетичних та експлуатаційних характеристик будівель;
- автоматичне наповнення та оновлення даних про будівлю іншими відомостями щодо будівлі що містяться в інших реєстрах ЄДЕССБ;
- багаторівнева перевірка наявності та якості внесених даних;

- забезпечення доступу до розширених функцій бази даних будівель через електронні кабінети суб'єктів внесення даних, Міністерства розвитку громад, територій та інфраструктури України та Держенергоефективності;
- вивантаження даних накопичених у базі даних будівель у відповідності до рівня допуску та встановлених обмежень;
- відображення інформації про будівлі на картографічній основі;
- аналіз даних та представлення результатів у вигляді звітів, графіків, діаграм;
- автоматична конвертація показників та характеристик будівель, що містяться в системі, між різними одиницями вимірювання;
- механізм інформування суб'єктів внесення інформації про невнесення, внесення неповної інформації, недотримання періодичності внесення інформації шляхом отримання відповідного повідомлення;
- метчинг даних щодо будівель, що передбачає пошук однакових сутностей у різних джерелах інформації (Реєстр енергетичних сертифікатів, Єдиний державний реєстр будівель та споруд, Державний реєстр речових прав на нерухоме майно, Єдиний адресний реєстр та ін.) і подальше встановлення їх відповідності між собою, в тому числі на основі ступеню співпадіння (значень показників кореляції).

Всі дані що містяться в базі даних будівель, зокрема і ті що були внесені до ЄДЕССБ або оновлені з використанням інших реєстрів ЄДЕССБ мають бути доступні для вивантаження через електронний кабінет користувача для цілей поглибленого їх вивчення та аналізу.

З цією метою в системі має бути реалізована функція експорту даних бази даних будівель з можливістю вибору переліку даних для вивантаження, періоду їх внесення, регіону, суб'єкту внесення даних та ін. Зокрема, має бути забезпечена можливість генерування та вивантаження інвентарного списку

будівель органів виконавчої влади, що містить перелік будівель, до яких встановлені вимоги щодо досягнення цільового показника економії енергії відповідно до Закону України «Про енергетичну ефективність будівель», та таку інформацію про кожен будівлю:

- реєстраційний номер енергетичного сертифікату;
- назва об'єкта будівництва (адреса будівлі);
- функціональне призначення та відомості про об'єкт будівництва;
- рік прийняття в експлуатацію та кількість поверхів будівлі;
- загальна (опалювальна) площа будівлі, м²;
- загальний (опалювальний) об'єм будівлі, м³;
- перелік впроваджених енергоефективних заходів та/або відсоток економії енергії за результатом впровадження енергоефективних заходів та/або сума інвестицій, яка необхідна для доведення до мінімального класу енергоефективності об'єкту сертифікації;
- дані енергетичного сертифіката, а саме: клас енергетичної ефективності будівлі, питома енергопотреба, кВт·год/м³, питома енергоспоживання кВт·год/м³, питома споживання первинної енергії, кВт·год/м², частка відновлювальних джерел енергії, %, питомі викиди парникових газів, кг/м², інша інформація, що визначена Методикою розрахунку цільового показника економії енергії у будівлях органів державної влади та Порядком моніторингу стану досягнення цільового показника економії енергії у будівлях органів державної влади.

База даних повинна містити розділ (дашборд) у якому дані, внесені до бази даних будівель відображаються у вигляді діаграм та графіків, з можливістю вибору параметрів та видів даних за якими здійснюється таке відображення. Загальний вигляд такого розділу наведено на рис. 2.10, детальний опис кожного з блоків описано далі.

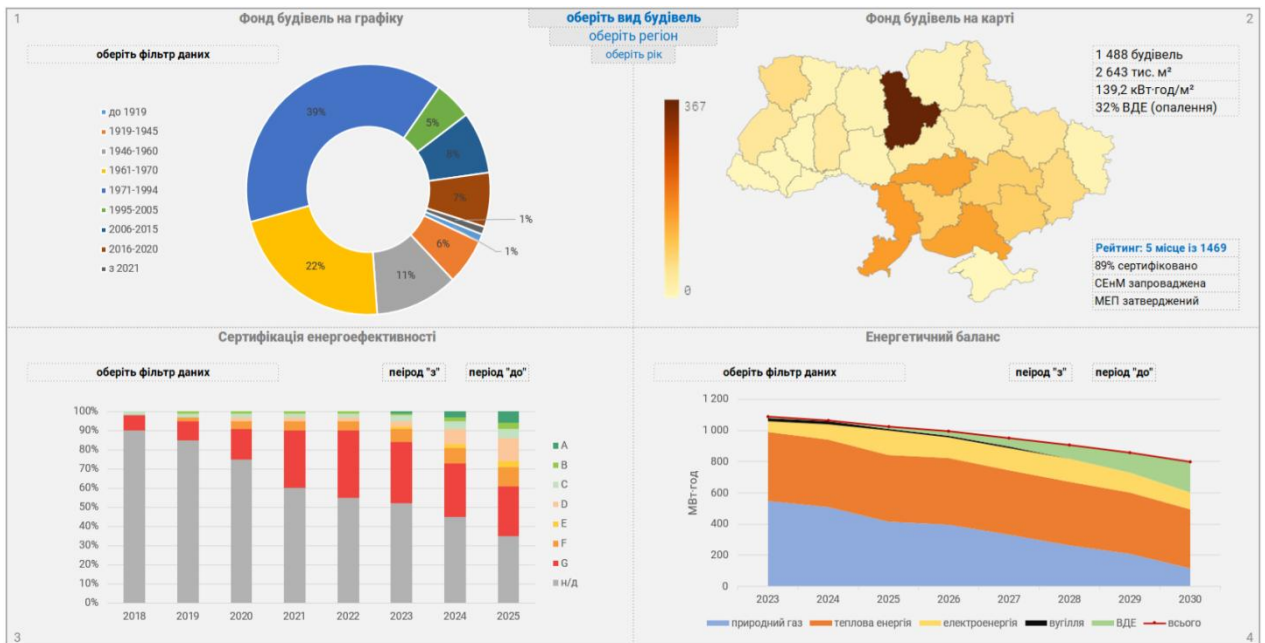


Рис. 2.10. Вигляд дашборду з варіантом візуалізації інформації із бази даних будівель для користувачів [22]

Дашборд складається з 4 функціональних квадрантів візуалізації інформації:

- «Фонд будівель на графіку» (верхній лівий квадрант);
- «Фонд будівель на карті» (верхній правий квадрант);
- «Сертифікація енергоефективності» (нижній лівий квадрант);
- «Енергетичний баланс» (нижній правий квадрант).

Квадрант «Сертифікація енергоефективності» містить стовпчасту, котра відображає інформацію про енергетичні сертифікати. Користувач може обрати один з двох варіантів відображення гістограми: «розподіл сертифікатів за класами», «кількість сертифікатів». В обох випадках кожен зі стовпчиків замальовується різними кольорами, кожен з яких відповідає одному з класів енергоефективності та займає площу, пропорційно кількості енергетичних сертифікатів з таким класом. У випадку вибору варіанту відображення «розподіл сертифікатів за класами», всі стовпчики діаграми мають однакову висоту. У випадку вибору варіанту відображення «кількість сертифікатів», кожен із стовпчиків діаграми має висоту, що відповідає кількості

енергетичних сертифікатів для цього року. Користувач може обирати діапазон років, для яких має бути відображено гістограму, а також може обирати класи енергетичної ефективності необхідні для відображення. Інформація на діаграмі відображається в залежності від обраного фільтру, зазначеного у «регіон».

На основі раніше отриманих, в ході сертифікації енергетичної ефективності будівель у період 2019-2024 рр., даних для житлових та громадських будівель з використанням різних, діючих на той момент, методик визначення енергетичної ефективності будівель та функціоналу кабінету учасника ЄДССБ (рис. 2.11), вбачається можливим доповнення квадранту «Сертифікація енергоефективності» новими даними по вже сертифікованим будівлям.

Реєстраційний ...	Енергоаудитор...	Статус реєстрації док...	Статус	Дата реєстрації	Дата закінчен...	Файл енергет...	Замовники	Статус моніторингу
E501-7415-1201-9132-7319	Антипов Євген Олександрович (3252815853)	Зареєстровано (внесено реєст...	Чинний	12.10.2024	12.10.2034		КОМУНАЛЬНЕ НЕКОМЕРЦІЙНЕ ПІДПРИЄМСТВО ВИКОНАВЧОГО ОРГАНУ КИЇВСЬКОЇ МІСЬКОЇ РАДИ (КИЇВСЬКОЇ МІСЬКОЇ ДЕРЖАВНОЇ АДМІНІСТРАЦІЇ) "ЦЕНТР КОМУНІКАЦІЙ" 25275442	Моніторинг пройдено
E501-7291-7543-0129-3613	Антипов Євген Олександрович (3252815853)	Зареєстровано (внесено реєст...	Чинний	30.07.2024	30.07.2034			Учасник у Відборі
E501-4839-8266-9879-9879	Антипов Євген Олександрович (3252815853)	Зареєстровано (внесено реєст...	Чинний	30.08.2024	30.08.2034		ФЕЛІКС СОЛІГА ПЕТРІВНА 323293227	Учасник у Відборі
E501-5312-1701-2680-4473	Антипов Євген Олександрович (3252815853)	Зареєстровано (внесено реєст...	Чинний	10.10.2024	10.10.2034		ТОВАРИСТВО З ОБМЕЖЕНОЮ ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ "СТОЛИЦЯ-БУД" 32829753	Учасник у Відборі
E501-5562-4483-6529-0952	Антипов Євген Олександрович (3252815853)	Зареєстровано (внесено реєст...	Чинний	10.10.2024	10.10.2034		ТОВАРИСТВО З ОБМЕЖЕНОЮ ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ "СТОЛИЦЯ-БУД" 32829753	Учасник у Відборі
E501-5805-2635-1928-8654	Антипов Євген Олександрович	Зареєстровано (внесено реєст...	Чинний	10.10.2024	10.10.2034		ТОВАРИСТВО З ОБМЕЖЕНОЮ	Учасник у Відборі

Рис. 2.11. Кабінет учасника ЄДССБ з відображенням розроблених сертифікатів

Останні спочатку були сертифіковані згідно вимог ДСТУ 9190:2022 «Енергетична ефективність будівель. Метод розрахунку енергоспоживання під час опалення, охолодження, вентиляції, освітлення та гарячому водопостачанні», а потім перераховані з урахуванням рівня теплових втрат через стінові конструкції за рахунок повітропроникності, впливу зміни

швидкості вітрового потоку та «затінення» зовнішніх огорожувальних конструкцій досліджуваної будівлі. Відповідні зміни, в результаті отриманих під час виконання проекту нових даних, були внесені до 30 раніше розроблених сертифікатів енергетичної ефективності, що становить 10% від загальної їх кількості в кабінеті учасника ЄДССБ.

2.4. Висновки по розділу 2

В ході дослідження аналізувалися показники енергетичної ефективності житлових та громадських будівель, внесені у енергетичні сертифікати. Виконано оцінку відповідності діючим на момент розробки сертифікату нормативним вимогам щодо теплотехнічних характеристик огорожувальних конструкцій, аналіз питомого енергоспоживання та питомих викидів CO₂.

Основними закладами, які отримали найнижчий клас G серед усіх сертифікованих будівель, є навчальні заклади (59,77%) та житловий сектор (46,28%). Це вказує на те, що технічні характеристики більшості таких будівель в Україні не відповідають сучасним вимогам та діючим нормам. Вибірка з бази енергетичних сертифікатів показала, що з 317 об'єктів сертифікації було виявлено, що серед 89 будівель з класом енергоефективності «G» - всі існуючі будівлі, коефіцієнт опору теплопередачі для зовнішніх стін яких не відповідає нормативному для всіх будівель, а коефіцієнт опору теплопередачі для світлопрозорих конструкцій – для 39 будівель. З обраних 129 будівель з класом енергоефективності «C», 116 - будівлі типу «нове будівництво» або «проект реконструкції чи капітального ремонту», решта – існуючі будівлі, з них 43,1% мають опір теплопередачі стін нижче нормативного. Середнє значення питомого споживання енергії – 83,1 кВт·год/м², а середнє значення питомих викидів CO₂ – 33,5 кг/м² в рік.

Встановлено, що середнє питоме споживання енергії для будівель житлового сектору, сертифікація для яких здійснювалося починаючи з 2019

року («нове будівництво» або «проект капітального ремонту або реконструкції»), знаходиться на рівні 100 кВт·год/м². Середнє значення показника питомого енергоспоживання для всіх житлових будівель, які отримали сертифікат енергетичної ефективності, становить 171 кВт·год/м². Середнє питома споживання енергії для громадських будівель, сертифікація для яких здійснювалося починаючи з 2019 року («нове будівництво» або «проект капітального ремонту або реконструкції»), знаходиться на рівні 45 кВт·год/м³. Середнє значення показника питомого енергоспоживання для всіх громадських будівель, які отримали сертифікат енергетичної ефективності, становить 92 кВт·год/м³.

РОЗДІЛ 3

МЕТОДИКА ОЦІНЮВАННЯ ВПЛИВУ ЗОВНІШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА ТА
 ГЕРМЕТИЧНОСТІ ОГОРОДЖУВАЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ НА
 ЕНЕРГЕТИЧНІ ПОКАЗНИКИ БУДІВЛІ

У даному розділі наведена методика розрахунку тепловтрат через зовнішні огороджувальні конструкції з урахуванням повітрообміну в приміщеннях та впливу роботи системи вентиляції будівлі, що дасть змогу оптимізувати вибір системи теплопостачання та реально оцінити фактичний рівень енергоспоживання і встановити дійсний клас енергетичної ефективності будівлі залежно від її функціонального призначення. Розрахунок тепловтрат буде проведено для кімнати багатоповерхової будівлі.

3.1. Розрахунок тепловтрат через стінові конструкції об'єкту

Теплові втрати в навколишнє середовище від стінових огороджувальних конструкцій будівлі знаходяться із виразу

$$Q_{ст} = KF_{ст}(T_{нов,вн} - T_{нов,зов}), \quad (3.1)$$

де K - коефіцієнт теплопередачі через поверхню стін будівлі, $Вт/м^2 \text{ } ^\circ C$; $F_{ст}$ - загальна площа поверхні стін будівлі, $м^2$; $T_{нов,вн}$, $T_{нов,зов}$ - відповідно температура внутрішнього і зовнішнього повітря, $^\circ C$.

Коефіцієнт теплопередачі через багат шарову зовнішню стіну будинку знаходиться із співвідношення

$$K = \frac{1}{1/\alpha_{вн} + \sum_{i=1}^m \delta_i / \lambda_i + 1/\alpha_{зов}}, \quad (3.2)$$

де $\alpha_{вн}, \alpha_{зов}$ - коефіцієнт теплообміну відповідно на внутрішній і зовнішній поверхні стіни, $Вт/м^2 \text{ } ^\circ C$; δ_i - товщина i -го шару стіни, $м$; λ_i - коефіцієнт теплопровідності матеріалу, з якого виготовлений i -й шар стіни.

Наведені коефіцієнти приймаються згідно діючого ДСТУ 9191:2022.

3.2. Розрахунок тепловтрат через вентиляційну систему

При наявності в приміщенні вентиляційних отворів, втрати теплоти за рахунок природної вентиляції повітря визначається різницею тисків в приміщенні та навколишньому середовищі, що обумовлено різними значеннями температур нагрітого і холодного повітря. Для знаходження витрат повітря через вентиляційний отвір в будівлі необхідно розрахувати різницю тисків, яка визначається за формулою

$$\Delta P_{пов} = gh(\rho_{пов,вн} - \rho_{пов,зн}), \quad (3.3)$$

де h - відстань від підлоги до верхнього вентиляційного отвору по вертикалі, $м$; $g = 9,8 \text{ м/с}^2$ - гравітаційна постійна; $\rho_{пов,вн}, \rho_{пов,зн}$ - густина внутрішнього і зовнішнього повітря, $кг/м^3$.

Зв'язок між тиском і швидкістю потоку повітря у вентиляційному отворі $W_{пов}$ має вигляд

$$\Delta P_{пов} = \rho_{пов,вн} W_{пов}^2 / 2. \quad (3.4)$$

Звідки можна визначити швидкість повітря у вентиляційному отворі

$$W_{пов} = (2\Delta P_{пов} / \rho_{пов,вн})^{1/2}. \quad (3.5)$$

Масова витрата повітря через вентиляційний отвір $G_{пов}$ буде рівною

$$G_{пов} = \rho_{пов,вн} W_{пов} F_{отв}, \quad (3.6)$$

де $F_{отв}$ - площа поперечного перерізу вентиляційного отвору, m^2 .

Таким чином, загальні втрати теплоти з приміщення будинку за рахунок вентиляції будуть визначатись виразом

$$Q_{вен} = G_{пов} c_{p,пов,вн} T_{пов,вн}, \quad (3.7)$$

де $c_{p,пов,вн}$ - питома теплоємність внутрішнього повітря, $Дж/кг \text{ } ^\circ C$; $T_{пов,вн}$ - його температура, $^\circ C$.

По висоті вентиляційної шахти знаходимо кількість кімнат з вентиляційними отворами

$$N_{кім} = h_{шах} / h_{км},$$

де $h_{км}$ – висота кімнати.

Усереднене значення втрат теплоти з вентиляційним повітрям для однієї кімнати знаходиться за формулою

$$Q_{1,вен} = Q_{вен} / N_{км}.$$

3.3. Розрахунок тепловтрат кімнатою багатоповерхової будівлі

Кімната №368 знаходиться на третьому поверсі багатоповерхової будівлі, має розміри 7,8x6,1x3,0 м і розташована в торцевій частині будинку, дві стіни якої, розмірами 7,8x6,1 м, є зовнішніми і межують з навколишнім середовищем (рис. 3.1). Згідно даних технічної документації на будівлю, загальна площа кімнати складає 44,59 м², однак, фактично виміряна - 7,8x6,1 = 47,58 м².

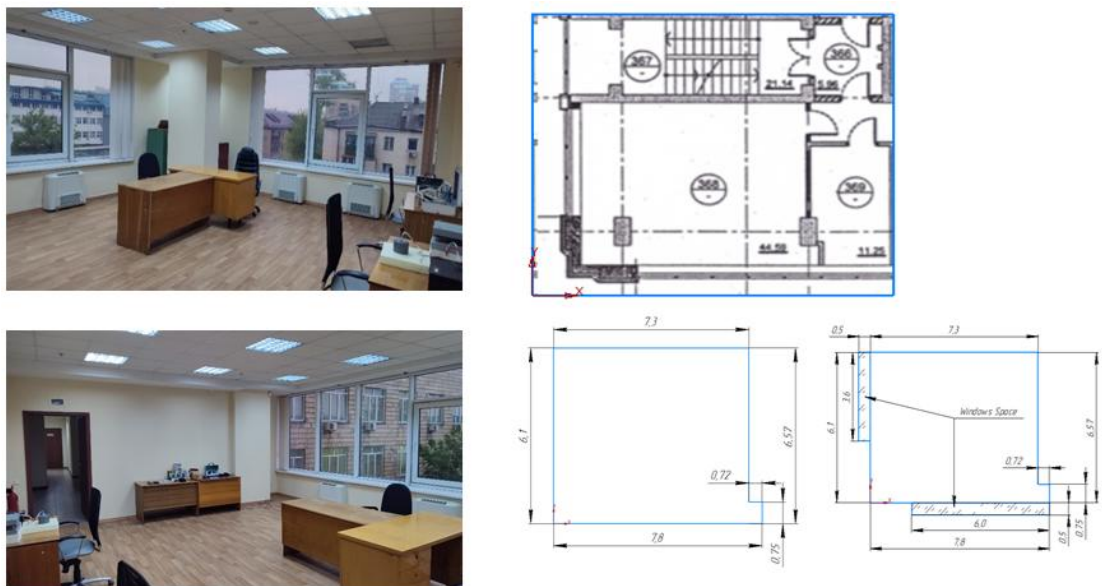


Рис. 3.1. Загальний вигляд, схема та розміри кімнати №368

Товщина зовнішніх стін будівлі складає 500 мм. Стінова конструкція має чотири шари: внутрішню штукатурку - 20 мм, шар пінобетону - 300 мм, клейовий шар – 5 мм, шар теплоізоляції з мінераловатного утеплювача «ROCKWOOL» – 50 мм (опір теплопередачі стін 2,2 м² °C/Вт) та шару зовнішнього опорядження – навісні алюмінієві листи вентилязованого фасаду (не приймають участі у розрахунку).

В кімнаті наявні два металопластикові однокамерні вікна з розмірами 2040x5965 мм і 2040x3870 мм, висота від рівня підлоги до підвіконня яких складає 700 мм (опір теплопередачі вікон $0,5 \text{ м}^2 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{Вт}$). Двері в кімнаті дерев'яні ламіновані розміром 2,5x1,0 м виходять, в коридор (на сходову клітку) внутрішнього приміщення будинку, яка є опалювальною.

В приміщеннях використовується система припливно-витяжної природної вентиляції повітря. Розміри та кількість вентиляційних отворів: 370x130 мм – 8 шт, $\phi 165$ мм – 1 шт, 250x150 мм – 1 шт. Висота вентиляційної шахти від рівня розміщення вентиляційних решіток у досліджуваних приміщеннях до верхньої точки вентиляційного каналу складає 58,4 м, а від підлоги – 61,4 м. Загальна довжина вентиляційного каналу від верхнього отвору в кімнаті першого поверху до верхнього рівня отвору на виході з вентиляційної шахти складає 68,7 м.

Розрахунок тепловтрат через стінову конструкцію. Проведено розрахунок тепловтрат за нині діючою методикою, яка наведена в ДСТУ 9191:2022 Теплоізоляція будівель. Метод вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будівель (далі ДСТУ 9191:2022). Згідно цієї методики для розрахунку тепловтрат через вертикальні стінові конструкції використовують наступні значення коефіцієнтів тепловіддачі на внутрішній поверхні стіни $\alpha_{ст,вн} = 8,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$ і для зовнішньої поверхні стіни $\alpha_{ст,зов} = 23 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$.

Коефіцієнт теплопередачі через багат шарову стіну розраховуємо по формулі (3.2) з врахуванням термічного опору стіни, яка складається з чотирьох шарів, $K = 0,29 \text{ Вт}/\text{м}^2\text{К}$.

По формулі (3.1) розраховуємо тепловтрати через стінові конструкції кімнати №368, $Q_{ст} = 171,92 \text{ Вт}$.

Розрахунок тепловтрат через вентиляційну систему. Щоб визначити витрати тепла через вентиляційну систему необхідно визначити різницю тисків в кімнаті і в зовнішньому середовищі, яка визначається за (3.3).

Для існуючої забудови $h_{\text{шах}} = 68,7$ м, $\rho_{\text{нов,вн}} = 1,205$ кг/м³ - густина повітря при температурі в кімнаті $T_{\text{вн}} = 20$ °С, $\rho_{\text{нов,зн}} = 1,395$ кг/м³ - густина повітря при мінімальній температурі зовнішнього середовища $T_{\text{зв}} = -4,7$ °С (згідно даних ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010. Будівельна кліматологія, у січні для м. Києва).

Згідно формули (3.3) знаходимо різницю тисків, $\Delta P_{\text{нов}} = 127,92$ Па.

Швидкість повітря у вентиляційному отворі знаходимо за формулою (3.5). Згідно (3.5) знаходимо $W_{\text{нов}} = 14,57$ м/с.

Масова витрата повітря через вентиляційний отвір $G_{\text{нов}}$ знаходимо із співвідношення (3.6).

При поперечних розмірах вентиляційного каналу $0,5 \times 0,3$ м площа поперечного перерізу каналу буде рівна $F_{\text{отв}} = 0,5 \times 0,3 = 0,15$ м² і згідно формули (3.6) знаходимо $G_{\text{нов}} = 2,63$ кг/с.

Загальні втрати теплоти з приміщення будинку за рахунок вентиляції визначаються виразом (3.7).

Розраховуємо витрати теплоти з вентиляційним повітрям враховуючи, що питома теплоємність повітря $c_{p,\text{нов,вн}} = 1,006$ кДж/кг К. Згідно (3.7) знаходимо $Q_{\text{вен}} = 52,99$ кВт.

По висоті вентиляційної шахти знаходимо кількість кімнат з вентиляційними отворами

$$N_{\text{кім}} = h_{\text{шах}}/h_{\text{км}} = 23 \text{ шт.},$$

де $h_{\text{км}} = 3$ м – висота кімнати.

Усереднене значення витрат теплоти з вентиляційним повітрям для однієї кімнати знаходимо за формулою

$$Q_{1,веш} = Q_{веш} / N_{км} = 2,3 \text{ кВт.}$$

Розрахунок тепловтрат за рахунок повітропроникності. Тепловтрати через віконні конструкції за рахунок повітропроникності визначаються класом вікон. Віконні конструкції встановлені у кімнаті №368, за європейським стандартом EN 14351, відносяться до 4-го класу (герметичні) - $\eta_{пов,вк} = 3 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$ при 100 Па.

Витрата повітря за рахунок повітропроникності через вікна при знайденій різниці тисків між кімнатою і зовнішнім середовищем визначається формулою

$$G_{вк,в} = n_{вк} F_{вк} \eta_{пов,вк} (\Delta P_{пов} / 100) / 3600, \quad (3.8)$$

де $G_{вк,в}$ - об'ємна витрата повітря через всі вікна будівлі, м^3 ; $n_{вк}$ - кількість вікон в будівлі, шт; $F_{вк}$ - площа одного вікна, м^2 ; $\eta_{пов,вк}$ - питома величина повітропроникності для вікон, яка вибирається в залежності від класу вікна, $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$; $\Delta P_{пов}$ - різниця тисків в кімнаті і зовнішньому середовищі.

Різниця тисків знаходимо за формулою

$$\Delta P_{пов} = g h_{вк} (\rho_{пов,вн} - \rho_{пов,зн}), \quad (3.9)$$

де $\Delta h_{вк}$ - висота вікна.

Згідно (3.9) знаходимо $\Delta P_{пов} = 3,26 \text{ Па}$ та згідно (12) - $G_{вк, в} = 0,000546 \text{ м}^3/\text{с}$.

Величину тепловтрат за рахунок повітропроникності вікон знаходимо за формулою

$$Q_{\text{інф,вк}} = G_{\text{вк,в}} c_{p,\text{пов,вн}} T_{\text{пов,вн}} \quad (3.10)$$

де $c_{p,\text{пов,вн}}$ - питома теплоємність внутрішнього повітря, Дж/кг $^{\circ}\text{C}$; $T_{\text{пов,вн}}$ - його температура, $^{\circ}\text{C}$.

Згідно (3.10) знаходимо $Q_{\text{інф, вк}} = 0,011$ кВт.

Величина тепловтрат за рахунок повітропроникності через стіни, які складаються із кількох шарів будівельних матеріалів, залежить від коефіцієнта повітропроникності кожного шару і розраховується згідно [8].

Сумарна величину коефіцієнта повітропроникності для стінки з n шарів G^k визначається по формулі

$$G^k = \left(\sum_{i=1}^n \frac{1}{G_i^{\Delta P}} \right)^{-1}, \quad (3.11)$$

де $G_i^{\Delta P}$ - коефіцієнт повітропроникності для i -го шару.

Масова повітропроникність одношарової конструкції G^k або окремого однорідного шару конструкції $G^{\Delta P}$ визначається в залежності від перепаду тиску за результатами випробувань, проведених згідно [8], або за формулою

$$G^k = G^{\Delta P} = G^{\Delta P_0} \cdot \left(\frac{\Delta p}{\Delta p_0} \right)^n, \quad (3.12)$$

де $G^{\Delta P_0}$ - масова повітропроникність огорожувальної конструкції при Δp_0 , що визначається для окремих видів стінових матеріалів за результатами випробувань згідно [8], наведена в таблиці 3.1;

Δp_0 - різниця тисків, за якою визначається масова повітропроникність конструкцій експериментальним шляхом ($\Delta p_0 = 10$ Па); Δp - розрахункова різниця тиску, Па, визначається згідно формули (3.9); n – показник фільтрації, який визначається за результатами випробувань згідно [8].

Таблиця 3.1. Значення повітропроникності використовуваних будівельних матеріалів [8]

Матеріали	Товщина шару d , мм	Різниця тисків Δp_0 , Па	Повітропроникність $G^{\Delta p_0}$, кг/м ³ год
Газо- і пінозолбетон суцільний	140	10	0,48
Плити мінераловатні, $\rho = 80$ кг/м ³	40	10	22,4
		50	244,1
		100	683,3
Штукатурка на ц.п. розчині	15	10	0,027
Штукатурка вапняна	15	10	0,07

Розрахункова різниця тисків визначається за формулою

$$\Delta p = (H - h_i) \cdot (\gamma_{зов} - \gamma_{вн}) + 0,03 \cdot \gamma_{зов} \cdot v^2 \cdot \beta_k, \quad (3.13)$$

де H - висота будинку (від рівня підлоги першого поверху до верху витяжної шахти), м; h_i - висота від рівня підлоги першого поверху до середини огорожувальної конструкції i -го поверху, для якого проводиться розрахунок; v - швидкість вітрового потоку, м/с; β_k - коефіцієнт врахування швидкості руху зовнішнього повітря залежно від висоти будівлі і зовнішніх умов, в яких розташована будівля (міська забудова з будинками вище 25 м, тощо); $\gamma_{зов}$, $\gamma_{вн}$ - питома вага відповідно зовнішнього і внутрішнього повітря, Н/м³, яка розраховується за формулами

$$\gamma_{зов} = 3463 / (273 + t_{зов}), \quad \gamma_{вн} = 3463 / (273 + t_{вн}). \quad (3.14)$$

Згідно (3.13) знаходимо $\Delta p = 121,18$ Па та згідно (3.12) - $G_k = 0,9$ кг/м³год.

Коефіцієнт врахування швидкості руху зовнішнього повітря залежно від висоти будівлі вибирається згідно [8]. Для будівлі висотою 60 і 80 м знаходимо, що $\beta_k = 1,0$ і $\beta_k = 1,15$.

Теплові втрати через огорожувальну стінову конструкцію можна визначити за формулою

$$Q_{inf,ct} = G^k F_{ct} c_{p,пов,вн} T_{пов,вн} (\Delta P_{пов} / 100) / 3600, \quad (3.15)$$

де F_{ct} - площа поверхні зовнішньої стінової огорожувальної конструкції всієї будівлі без врахування площі поверхонь вікон і дверей, м²; де $c_{p,пов,вн}$ - питома теплоємність внутрішнього повітря, Дж/кг °С; $T_{пов,вн}$ - його температура, °С; $\Delta P_{пов}$ - втрати тиску, які знаходяться за формулою (3.13), Па.

Згідно (3.15) знаходимо $Q_{inf, ct} = 1,44$ кВт. Результати решти розрахунків наведені у таблиці 3.3.

У нашому випадку, втрати теплової енергії за рахунок повітропроникності огорожувальних конструкцій мають дві складові – через віконні і стінові конструкції.

Сумарні втрати тепла через вікна і стінові конструкції знаходяться за формулою

$$Q_{inf} = Q_{inf,вк} + Q_{inf,ct}. \quad (3.16)$$

Результати розрахунку по впливу швидкості вітрового потоку на повітропроникність багат шарової стінової конструкції будівлі на прикладі приміщення №368, наведені в таблиці 3.2.

Порівняльний аналіз отриманих результатів показує, що при швидкості вітрового потоку від 5 до 20 м/с теплові втрати через зовнішні стінові конструкції за рахунок повітропроникності можуть зростати в 1,1 - 2,5 раз порівняно з погодними умовами при відсутності вітру.

Таблиця 3.2. Теплові втрати за рахунок повітропроникності від багатошарової стінової конструкції при різній швидкості повітряного потоку

Швидкість повітря, м/с	0	1	5	10	15	20
Різниця тисків внутрішнього і зовнішнього середовища, Па	121,18	121,62	132,25	165,48	220,86	298,38
Коефіцієнт повітропроникності для багатошарової стінки, кг/м ³ год	0,9	0,905	1,026	1,44	2,214	3,474
Теплові втрати через стінову конструкцію за рахунок повітропроникності $Q_{inf,ct}$, кВт	1,44	1,45	1,57	1,97	2,62	3,55

Додатково, за допомогою спеціального обладнання (рис. 3.2) для визначення герметичності огорожувальних конструкцій, яке носить назву Blower Door Test (аеродвері) [9], було проведено оцінку впливу повітропроникності та фактичного повітрообміну (на прикладі досліджуваного приміщення) на енергетичні показники будівлі.



Рис. 3.2. Схема та зовнішній вигляд аеродверей

Сутність методу полягає в тому, що через об'єкт, який випробовується, пропускають потік повітря і після його стабілізації вимірюють витрати повітря та перепад тиску між досліджуваним об'ємом приміщення та зовнішнім середовищем чи між протилежними поверхнями конструкції. За результатами вимірювань обчислено узагальнені характеристики повітропроникності огорожувальних конструкцій випробовуваного об'єкта. Таким чином, кратність повітрообміну повітря в кімнаті №368 (рис. 3.3) знаходиться в діапазоні від 8 до 12 год⁻¹.

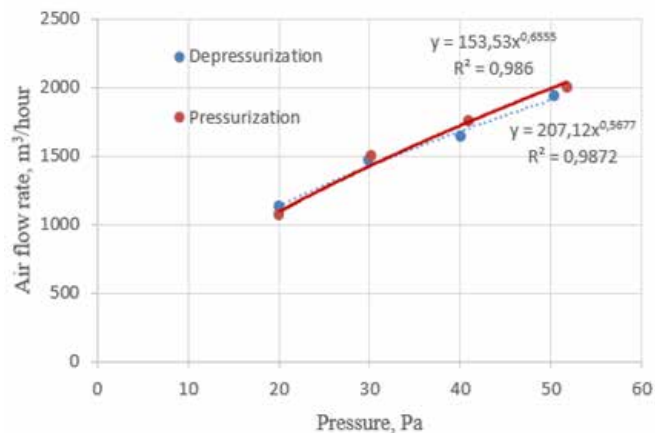


Рис. 3.3. Результати експериментальних досліджень по визначенню кратності повітрообміну досліджуваного приміщення

Порівняння розрахункових показників з результатами натурних досліджень, які наведені на рис. 3.2, показує, що експериментально ця величина була близькою до 12 год⁻¹. Це суттєво завищені показники порівняно з розрахунком, що може бути обумовлено наявністю скритих вентиляційних отворів в кімнаті, які не були враховані при розрахунках вентиляційних витрат. Однак, такі втрати можливі під час оцінки стану інших приміщень без проведення тесту на герметичність будівлі, чого не враховує діюча методика ДСТУ 9191:2022, що, у підсумку, може призвести до отримання недостовірних кінцевих результатів та хибного визначення фактичного класу енергетичної ефективності об'єкту сертифікації.

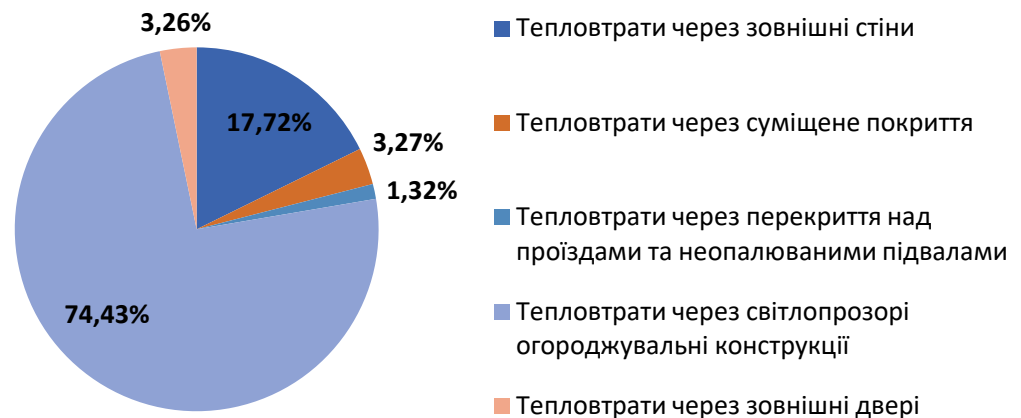
Тому, у подальшому, ми користуємось розрахунковою величиною та нормативним значенням кратності повітрообміну приміщення, залежно від його функціонального призначення, згідно [9-11].

Нижче, у таблиці 3.3 та на рис. 3.4-3.5, наведені результати порівняльного аналізу оцінки впливу повітропроникності огорожувальних конструкцій досліджуваної будівлі на її екологоенергетичні показники. Показано, що це призводить до зростання показника питомого енергоспоживання системою опалення та охолодження на 18 % і 45 % відповідно, та, як наслідок, до збільшення показника споживаної питомої первинної енергії та викидів парникових газів CO₂ на 19 %.

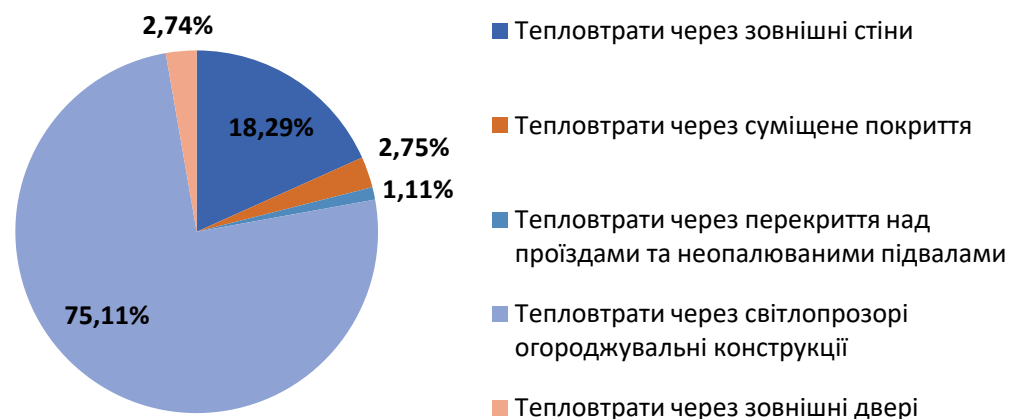
Таблиця 3.3. Екологоенергетичні характеристики досліджуваної будівлі «без» та «з» урахуванням повітропроникності її огорожувальних конструкцій

Назва показника	Позначення	Питомий бсяг енергоспоживання в рік		Одиниця виміру
		«з»	«без»	
Питоме енергоспоживання систем опалення	EP _{H,use}	28,4	24,1	кВт·год/м ³
Питоме енергоспоживання систем охолодження	EP _{C,use}	4,8	3,3	кВт·год/м ³
Питоме енергоспоживання ГВП	EP _{DHW,use}	4,4	4,4	кВт·год/м ³
Питоме енергоспоживання при вентиляції	EP _{V,use}	0,5	0,5	кВт·год/м ³
Питоме енергоспоживання при освітленні	EP _{W,use}	8,8	8,8	кВт·год/м ³
Питома первинна енергія	e _p	259,6	218,3	кВт·год/м ²
Питомі викиди парникових газів CO ₂	EP _{mco2}	50,8	42,7	кг/м ²

На рис. 3.4 представлено баланс втрат теплової енергії «без» (а) та «з» (б) урахуванням повітропроникності огорожувальних конструкцій досліджуваної будівлі, з аналізу якого видно, що розподіл втрат теплоти зміщується та зростає для віконних та дверних конструкцій на 9,1 % та 19 % відповідно, а також для зовнішніх стін на 3,2 %. Останнє пояснюється наявністю зон примикання вищезгаданих конструкцій між собою, які являються лінійними теплопровідними включеннями, та характеризуються високою повітропроникністю використовуваних тепло- та гідроізоляційних матеріалів (Таблиця 3 [8]), наприклад пінополіуретанова монтажна піна.



а)



б)

Рис. 3.4. Баланс втрат теплової енергії «без» (а) та «з» (б) урахуванням повітропроникності огорожувальних конструкцій досліджуваної будівлі

Розрахунок величини втрат теплової енергії через повітропроникність шару пінополіуретанової монтажної піни навколо віконних конструкцій проводимо за методикою аналогічною тій, яка була використана для зовнішньої стінової конструкції.

По формулі (3.12), з врахуванням значень $G^{\Delta P0}$ з таблиці 3.3, знаходимо величину повітропроникності для шару монтажної піни віконної конструкції, яка становитиме $G_n^k = G_n^{\Delta P} = 0,0048 \text{ кг/м}^3 \text{ год}$.

Теплові втрати через зовнішню огорожувальну стінову конструкцію визначаємо за формулою (3.15), де $F_{n,вк}$ - площа поверхні зовнішньої стінової огорожувальної конструкції всієї будівлі, яка визначається з виразу $F_{n,вк} = n_{вк} P_n \Delta l_n$, де $n_{вк}$ $P_n = 2(h_{вк} + l_{вк})$ - зовнішній периметр вікна, $h_{вк}, l_{вк}$ - висота і ширина вікна, $\Delta l_n = 0,02 \text{ м}$ - ширина шару монтажної навколо вікон.

Проводимо розрахунок теплових втрат за рахунок повітропроникності через пінополіуретановий шар монтажної піни, $Q_{inf, n} = 4,68 \cdot 10^{-6} \text{ кВт}$.

Втрати теплоти за рахунок повітропроникності зовнішніх огорожувальних конструкцій має три складові – за рахунок віконних і стінових конструкцій, а також через привіконний шар монтажної піни.

Сумарні втрати теплової енергії через віконні та стінові конструкції і пристінний шар монтажної піни знаходяться за формулою

$$Q_{inf} = Q_{inf, вк} + Q_{inf, ст} + Q_{inf, n} \quad (3.17)$$

В результаті розрахунків знаходимо сумарні теплові втрати за рахунок повітропроникності

$$Q_{inf} = 0,011 + 1,44 + 0,00000468 = 1,45 \text{ кВт}$$

Результати решти розрахунків наведені у таблиці 3.5.

При наявності вітрового потоку також необхідно враховувати і додаткові втрати тиску (див. формулу (3.13), які залежать від швидкості вітру v і коефіцієнта β_k , що враховує вплив зовнішнього середовища.

При швидкості вітру $v = 1$ м/с і в умовах міської забудови, різницю тисків внутрішнього і зовнішнього повітряного середовища знаходимо по формулі (3.13), згідно якої $\Delta p = 121,18$ Па.

Результати розрахунку по впливу швидкості вітрового потоку на повітропроникність багатошарової стінової конструкції наведені в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4. Теплові втрати за рахунок повітропроникності через багатошарову стінову конструкцію та шар монтажної піни при різній швидкості повітряного потоку

Швидкість повітря, м/с	0	1	5	10	15	20
Коефіцієнт повітропроникності для шару монтажної піни, кг/м ³ год	0,0048	0,00486	0,00686	0,0178	0,0455	0,099
Теплові втрати через шар монтажної піни за рахунок повітропроникності, кВт	4,68x 10 ⁻⁶	5,08x 10 ⁻⁶	14,68x 10 ⁻⁶	45,05x 10 ⁻⁶	94,60x 10 ⁻⁶	164,53x 10 ⁻⁶
Сумарні теплові втрати за рахунок повітропроникності Q_{inf} , Вт	1,45	1,46	1,58	1,98	2,63	3,56

Порівняльний аналіз отриманих результатів, які наведені в таблицях 3.3 та 3.5, показує, що урахування теплових втрат через шар монтажної піни не призводить до суттєвого збільшення їх загального показника, коливання якого змінюється в межах 1 %, що обумовлено впливом коефіцієнту повітропроникності та товщини шару пінополіуретанової монтажної піни.

Аналіз впливу відсутності і наявності вітрового потоку на сумарні втрати теплової енергії за рахунок повітропроникності стінових та віконних конструкцій, з урахуванням тепловтрат через шар монтажної піни, показав, що при швидкості вітрового потоку від 5 до 20 м/с теплові втрати через вищезгадані конструкції за рахунок повітропроникності можуть зростати в 1,1 - 2,5 раз порівняно з погодними умовами при відсутності вітру.

Рис. 3.5 ілюструє зміну енергетичних характеристик досліджуваної будівлі при врахуванні повітропроникності огорожувальних конструкцій.

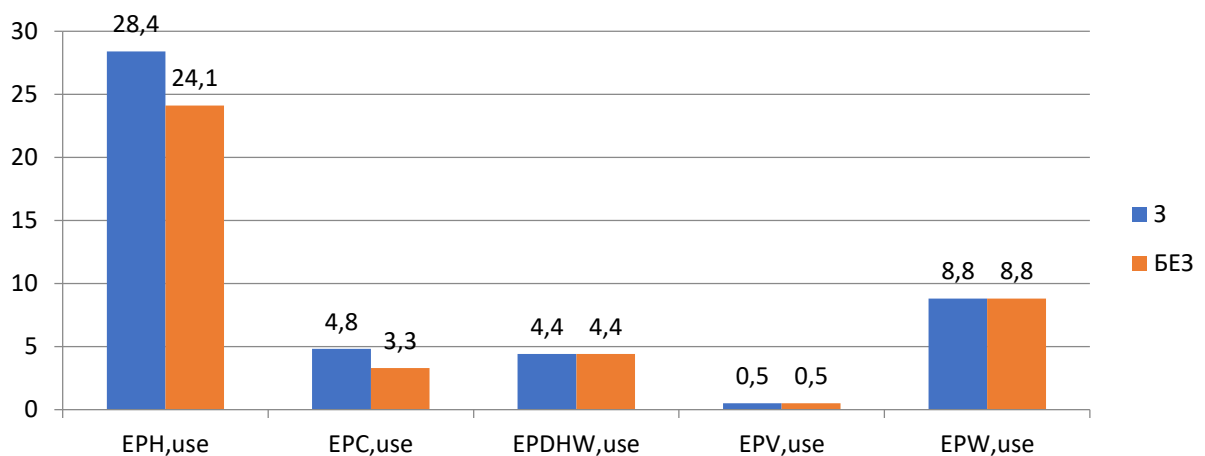


Рис. 3.5. Енергетичні характеристики досліджуваної будівлі «без» та «з» урахуванням повітропроникності огорожувальних конструкцій, кВт·год/м³

Аналіз оцінки впливу відсутності і наявності вітрового потоку на сумарні втрати теплової енергії за рахунок повітропроникності стінових та віконних конструкцій, з урахуванням тепловтрат через шар монтажної піни досліджуваної будівлі на її енергетичні показники показав, що при зміні вітрового потоку від $v = 5$ до $v = 20$ м/с, повітропроникності огорожувальних конструкцій $G_k = 0,9$ кг/м³год, спостерігається зростання показника питомого енергоспоживання системою опалення та охолодження будівлі у середньому на 46 % і 70 % відповідно.

На рис. 3.6 представлена зміна показника питомого енергоспоживання досліджуваної будівлі залежно від швидкості вітрового потоку «з» та «без» урахування фактичної повітропроникності огорожувальних конструкцій. У нашому випадку, граничне значення питомого енергоспоживання досліджуваної будівлі на опалення та охолодження, визначене згідно [13], становить 25 кВт·год/м³.

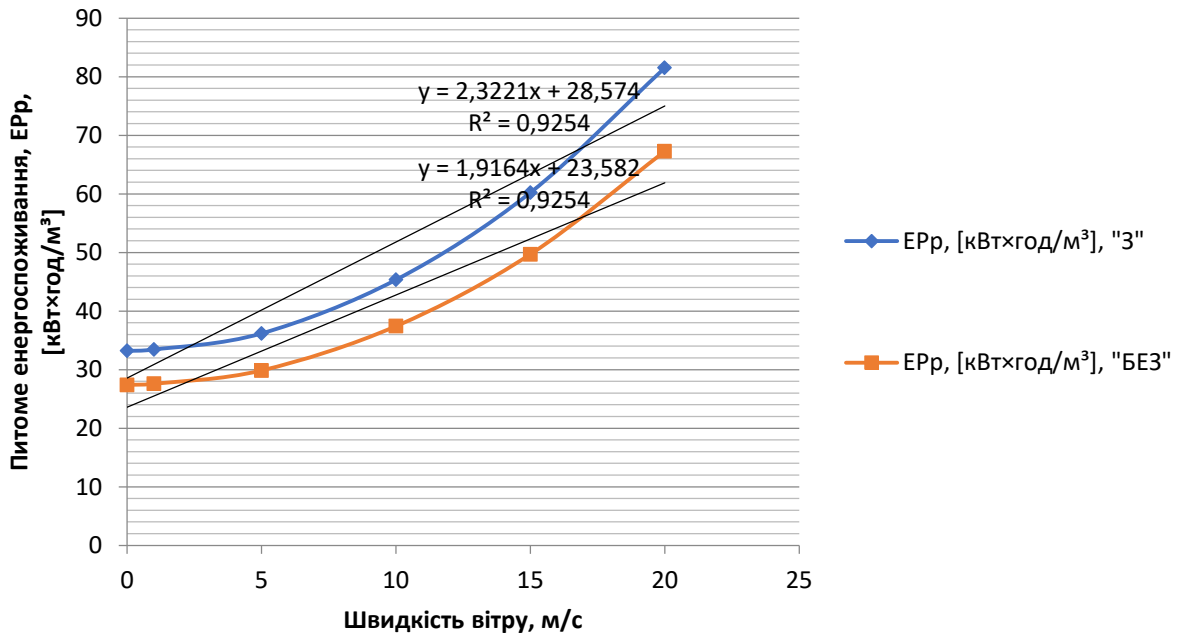


Рис. 3.6. Зміна показника питомого енергоспоживання досліджуваної будівлі залежно від швидкості вітрового потоку

Згідно даних ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010. Будівельна кліматологія, швидкість вітру у січні (для м. Києва), з повторюваністю 16 % і вище, становить 3,0 м/с. Методом інтерполяції визначимо, що, у нашому випадку, найбільше відхилення питомого енергоспоживання досліджуваної будівлі становитиме 6,2 %.

У таблиці 3.5 представлені результати зміни класу енергетичної ефективності досліджуваної будівлі залежно від швидкості вітрового потоку «з» та «без» урахування фактичної повітропроникності огорожувальних конструкцій.

Таблиця 3.5. Зміна класу енергетичної ефективності досліджуваної будівлі залежно від швидкості вітрового потоку

Швидкість повітря, м/с	0	1	5	10	15	20
Питоме енергоспоживання, $E_{p,}$ [кВт×год/м ³], "БЕЗ"	27,4	27,6	29,9	37,4	49,7	67,3
Клас енергетичної ефективності будівлі	D	D	D	F	G	G
Питоме енергоспоживання, $E_{p,}$ [кВт×год/м ³], "З"	33,2	33,4	36,2	45,3	60,2	81,5
Клас енергетичної ефективності будівлі	E	E	F	G	G	G

Аналіз таблиці 3.6 показує, що в діапазоні від $v = 1$ до $v = 5$ м/с відбувається зміна показника питомого енергоспоживання досліджуваної будівлі, і, як наслідок, класу її енергетичної ефективності з «E» на «F», яка обґрунтовується урахуванням фактичної повітропроникності огорожувальних конструкцій. Враховуючи дані наведені в таблиці 3.3 та у Додатку Е [14], вітрове навантаження для м. Києва становить 370 Па, тоді методом інтерполяції отримаємо, що найбільше відхилення питомого енергоспоживання досліджуваної будівлі може становити до 17,7 %, що у свою чергу вказує на реальний клас енергетичної ефективності досліджуваної будівлі «F», а не «D», визначений за нині діючою методикою, наведеною в ДСТУ 9190:2022.

У ході проведеного дослідження показано, що при оцінці рівня енергетичної ефективності будівлі, згідно положень нині діючої методики ДСТУ 9190:2022, яка наразі не містить чіткого визначення умов проведення випробування будівлі на герметичність, важливим являється врахування рівня повітропроникності та теплового опору зовнішніх світлопрозорих та непрозорих огорожувальних конструкцій будівлі, викликаного змішаним режимом теплообміну на їх поверхні, шляхом проведення натурних вимірювань, згідно [9], чого наразі не враховує ДСТУ 9190:2022.

Зазначене, як наслідок, може призвести до хибного визначення фактичного класу енергетичної ефективності об'єкту сертифікації, оскільки, згідно [13], відхилення більш ніж на 10-20 % граничного значення питомого енергоспоживання будівлі на опалення та охолодження, призводить до зміни класу енергетичної ефективності будівлі, залежно від її функціонального призначення та коефіцієнта компактності. У нашому випадку, відбудеться зміна класу енергетичної ефективності досліджуваної будівлі з «D» на «F», яка обґрунтовується урахуванням фактичної повітропроникності огорожувальних конструкцій, залежно від швидкості вітрового потоку та вітрового навантаження регіону розташування об'єкта дослідження.

3.4. Оцінювання зміни параметрів мікроклімату приміщень

З метою отримання більш точних результатів розрахунку, було вирішено не враховувати надходження CO₂ від людей. Температура в приміщеннях квартири приймалась рівною нормованим значенням. Фактичні кліматичні данні, такі як: зовнішня температура, напрямок та сила вітру, були зібрані за даними [34]. **Ошибка! Источник ссылки не найден.**

Для міста Києва характерними є південно-східний напрямки вітру в лютому місяці відповідно [34]. В період проведення розрахунків відповідно фактичним кліматичним даним характерним був південний та південно-західний напрямки вітру. Средньодобова температура зовнішнього повітря становила (+4,1°C)–(+6°C), добові коливання становили (+6°C), (–3°C). Також на початку та вкінці розрахунку фіксувались значення рівня CO₂ в коридорі будівлі, який тримався в межах 540–570 ppm. Рівень вуглекислого газу в зовнішньому повітрі під час експериментів був в межах 390–430 ppm.

З метою визначення механізму масопереносу повітря між приміщеннями квартири, штучне підвищення рівня CO₂ відбувалось в різних приміщеннях. На рисунку 3.7 наведено результати вимірювань за умов підвищення рівня CO₂ в приміщенні кухні.

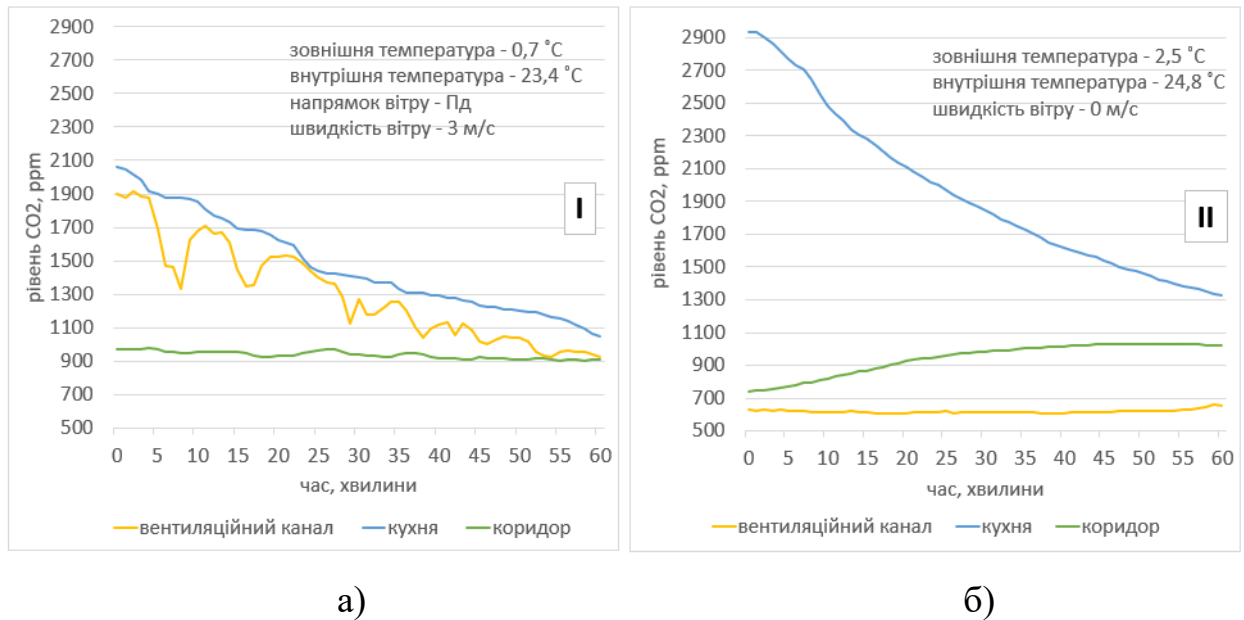


Рис. 3.7. Зміна концентрації вуглекислого газу в приміщеннях квартири при підвищенні рівня CO₂ в приміщенні кухні за різних кліматичних умовах

Аналізуючи типові графіки на рисунку 3.7, можна зробити висновок про залежність руху повітря у вентканалі від напрямку вітру. При південному і південно-західному напрямку вітру повітря з приміщення кухні надходило до вентканалу – механізм руху I (рисунок 3.7(а)), адже зміна концентрації вуглекислого газу в приміщенні кухні і вентканалі мають подібні тенденції. При західному напрямку вітру та при відсутності вітру (рисунок 3.7(б)) навпаки, припливне повітря надходило до квартири через вентканал – механізм руху II, тому що рівень вуглекислого газу у вентканалі під час всього експерименту залишався відносно незмінним і на рівні зовнішнього середовища.

В результаті проведених досліджень були визначені два напрями повітрообміну в квартирі, а саме інфільтрація та ексфільтрація. В першому випадку повітря надходило через вікна і вхідні двері квартири і викидалось через вентиляційний канал (рисунок 3.8(a)). В другому випадку припливне повітря надходило з вентиляції і через вхідні двері, а виходило через вікна на кухні і в кімнаті (рисунок 3.8 (б)).

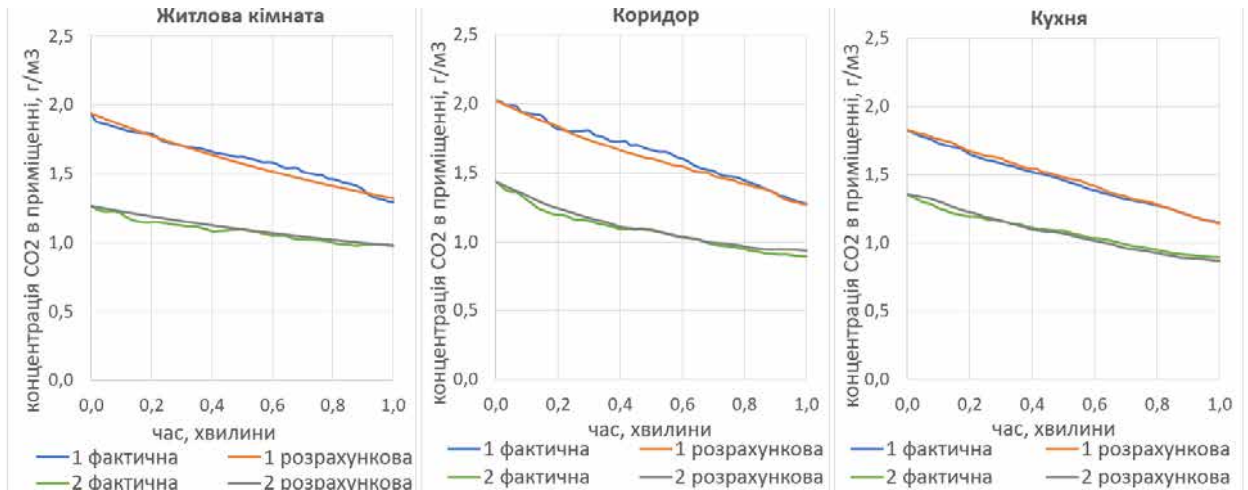


Рис. 3.8. Зміна концентрації вуглекислого газу в приміщеннях квартири при умовах, коли припливне повітря надходить через вікна і вхідні двері (індекси 1, 2 – відповідають номеру дослідження)

В класичних розрахунках припускається, що свіже повітря надходить до кімнат шляхом інфільтрації, а саме нещільності у вікнах і дверях і виходить через вентиляційний канал. Результати проведених досліджень вказують на наявність двох напрямків руху повітря. На рисунку 3.9 представлені результати обробки типового дослідження проведеного в умовах, коли припливне повітря надходить через вентиляційний канал та вхідні двері.

Для наведених умов кратність повітрообміну для житлової кімнати становила $0,37 \text{ год}^{-1}$, для коридору - $1,06 \text{ год}^{-1}$, а для кухні - $0,57 \text{ год}^{-1}$. Зміна величини кратності повітрообміну пояснюється іншим перепадом густин та температур повітря.

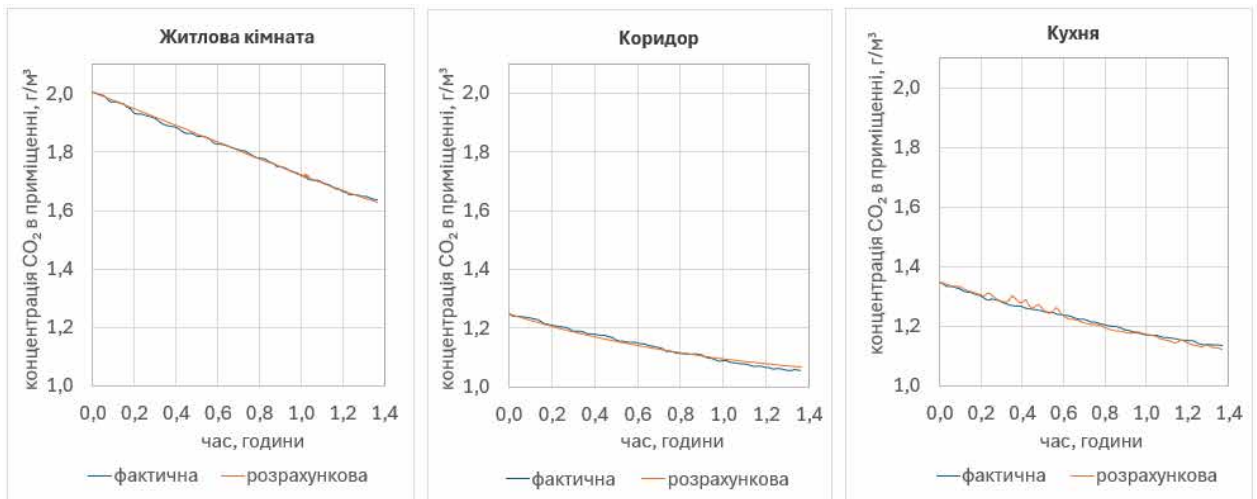


Рис. 3.9. Зміна концентрації вуглекислого газу в приміщеннях квартири при умовах, коли припливне повітря надходить через вентиляційний канал і вхідні двері

Також проводилась серія розрахунків зміни концентрації CO_2 в репрезентативних приміщеннях квартири в літній період. Дана серія вимірювань включала 18 періодів по 60–120 хвилин протягом місяця серпня. Для літнього періоду у місті Київ характерними є західний, північно-західний та північний напрямки вітру [34]. В період проведення досліджень переважаючим був північно-західний напрямок вітру. Заміри проводились в денний період, коли зовнішня температура була $(+21^\circ\text{C})$ – $(+30^\circ\text{C})$. Також на початку та вкінці експерименту фіксувались значення рівня CO_2 на коридорі гуртожитку, який тримався в межах 410–460 ppm. Рівень вуглекислого газу в зовнішньому повітрі під час експериментів був в межах 410–435 ppm.

За результатами вимірювань чітко прослідковується залежність явищ інфільтрації та ексфільтрації від напрямку вітру. При північно-західному напрямку вітру свіже повітря надходило через вентиляційний канал (рисунок 3.10(а)). При південному, південно-західному, південно-східному напрямках повітря надходило через вікна і двері, а виходить через вентиляційний канал (рисунок 3.10(б)), адже тенденції зміни концентрації вуглекислого газу в приміщенні кухні і вентканалу подібні.

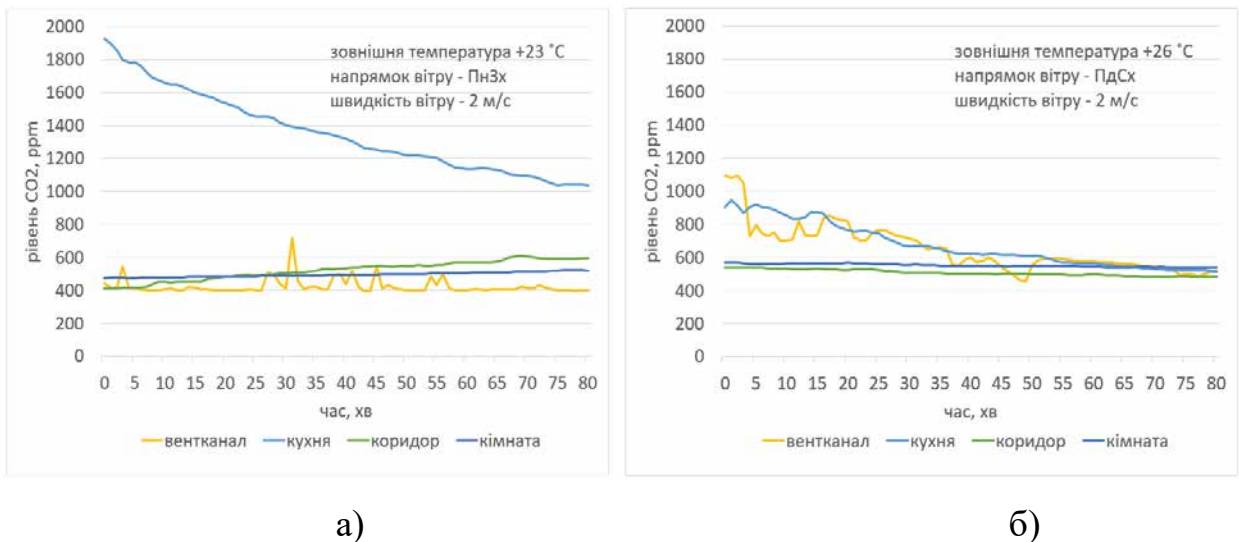


Рис. 3.10. Зміна концентрації вуглекислого газу в приміщеннях квартири для механізмів інфільтрації (а) та ексфільтрації (б)

Аналізуючи отримані дані можна зробити сказати, що для зимового періоду характерним було підсмоктування свіжого повітря до приміщень квартири через вікна, в літній період явища інфільтрації та ексфільтрації були зафіксовані в майже однаковій кількості. Також було визначено фактичну кратність повітрообміну для обох механізмів руху повітря в квартирі. Вікна та балконні двері квартири орієнтовані на південь, відповідно, при південному, південно-східному та південно-західному напрямках вітру вітрові, величина кратності повітрообміну більша.

У літній період кратність повітрообміну для механізму інфільтрації була на рівні $0,57 \text{ год}^{-1}$ для житлової кімнати, $2,34 \text{ год}^{-1}$ для коридору та $2,41 \text{ год}^{-1}$ для кухні. При ексфільтраційному русі повітря середня кратність повітрообміну була на рівні $0,24 \text{ год}^{-1}$ для житлової кімнати, $0,94 \text{ год}^{-1}$ для коридору та $0,52 \text{ год}^{-1}$ для кухні.

На основі проведених розрахунків було виявлено, що фактична кратність повітрообміну, коли свіже повітря надходить до приміщення через вікна та двері, перевищує мінімальні нормативні значення. Однак при оберненому русі повітря цей показник не відповідає нормативним вимогам щодо рівня повітрообміну. При врахуванні напрямку руху повітря, яке надходить в квартиру, фактично, енергія, яка затрачається на нагрів припливного повітря, буде пропорційна кратності повітрообміну повітря, яке надходить зовні.

3.5. Висновки по розділу 3

Проведені розрахунки тепловтрат через стінові конструкції і вентиляційні отвори для окремого приміщення громадської будівлі. Показано, що використання методики, яка наведена в нині діючому ДСТУ 9191:2022 «Теплоізоляція будівель. Метод вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будівель», завищує теплові втрати через стінові конструкції на 39 - 48 %. Зокрема встановлено наступне:

1. Показано, що врахування рівня теплових втрат через стінові конструкції за рахунок їх повітропроникності дозволяє більш якісно проводити порівняльну оцінку рівня енергоспоживання для визначення класу енергетичної ефективності будівлі на відміну від нині діючих методик, які не враховують ці показники. Порівняльний аналіз отриманих результатів показує, що при швидкості вітрового потоку від 5 до 20 м/с теплові втрати через стінові конструкції за рахунок їх повітропроникності можуть зростати в 1,1 – 2,5 раз порівняно з погодними умовами при відсутності вітру.

2. Встановлено, що при зміні вітрового потоку від $v = 5$ до $v = 20$ м/с, повітропроникності огорожувальних конструкцій $G_k = 0,9$ кг/м³год, спостерігається зростання показника питомого енергоспоживання системами опалення та охолодження будівлі у середньому на 46 % і 70 % відповідно.

3. Доведено, що запропоновані методики розрахунків, які враховують вплив швидкості вітрового потоку у поєднанні із проведенням тесту на герметичність огорожувальних конструкцій будівлі, дають змогу реально оцінити фактичний рівень енергоспоживання та встановити дійсний клас енергетичної ефективності будівлі, оскільки відхилення більш ніж на 10-20 % граничного значення питомого енергоспоживання будівлі на опалення та охолодження, призводить до зміни класу енергетичної ефективності об'єкту обстеження, залежно від його функціонального призначення та коефіцієнта компактності.

РОЗДІЛ 4

РОЗРОБКА СЕРТИФІКАТУ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ГРОМАДСЬКОЇ БУДІВЛІ З УРАХУВАННЯМ ПОВІТРОПРОНИКНОСТІ ЇЇ ЗОВНІШНЬОЇ ОБОЛОНКИ

4.1. Розробка сертифікату енергетичної ефективності громадської будівлі

Сертифікація об'єкту дослідження здійснювалась згідно вимог [5], клас енергоефективності визначено за [11] з урахуванням Мінімальних вимог до енергетичної ефективності будівель [10].

Методика проведення енергетичної оцінки передбачала наступне. Спочатку було оцінено наступні показники енергетичної ефективності сертифікованої будівлі: опір теплопередачі зовнішніх стін та світлопрозорих конструкцій, питоме енергоспоживання енергії, питомі викиди CO₂ без врахування рівня теплових втрат через стінові конструкції за рахунок повітропроникності, а потім було проведено розрахунок тепловтрат для окремих приміщень багатоповерхової будівлі з урахуванням швидкості вітрового потоку та «затінення» досліджуваної будівлі з оцінкою їх впливу на рівень питомого енергоспоживання, величину викидів CO₂ та клас енергетичної ефективності будівлі.

У результаті проведення сертифікації показано, що врахування вищезазначених чинників суттєво впливає на показник питомого енергоспоживання, а отже і на енергетичної ефективності будівлі. Так, клас енергоефективності існуючої будівлі об'єкту дослідження, без врахування рівня теплових втрат через стінові конструкції за рахунок повітропроникності, встановлений на рівні «D», опір теплопередачі зовнішніх огорожувальних конструкцій якої не відповідає діючим на сьогодні вимогам [7].


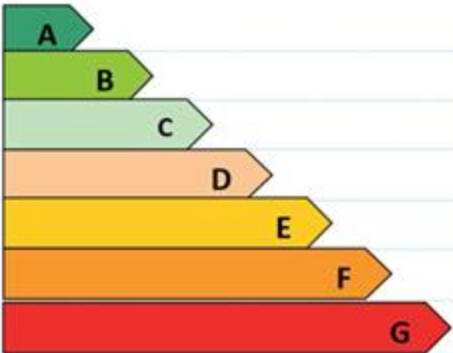

Значення показника питомого споживання енергії – 27,4 кВт·год/м³, значення показника питомих викидів CO₂ – 42,7 кг/м² в рік, а фактора питомого споживання первинної енергії – 218,3 кВт·год/м³.

Разом з тим, урахування впливу швидкості вітрового потоку та «затінення» досліджуваної будівлі на рівень її питомого енергоспоживання показав, що відбулась зміна класу енергетичної ефективності будівлі з «D» на «E», а значення показника питомого споживання енергії зросло до 32,3 кВт·год/м³, тобто на 17,9%, значення показника питомих викидів CO₂ збільшилось до 48,2 кг/м² в рік, тобто на 12,9%, а фактора питомого споживання первинної енергії – до 246,1 кВт·год/м³, тобто на 12,7%.

Вказані зміни відображено у витягу із енергетичного сертифікату, який наведено нижче.

Додатково було проведено розрахунок енергоефективних заходів для доведення класу енергетичної ефективності будівлі до мінімально встановленого рівня «C», з урахуванням умов Розділу II Наказ Міністерства розвитку громад та територій України від 27 жовтня 2020 року № 260 «Про затвердження мінімальних вимог до енергетичної ефективності будівель», зареєстровано в Міністерстві юстиції України від 18 грудня 2020 р. за № 1257/35540.

ЕНЕРГЕТИЧНИЙ СЕРТИФІКАТ БУДІВЛІ

Адреса (місцезнаходження) будівлі:	м. Київ, вул. Антоновича, буд.172	
Ідентифікатор об'єкта будівництва:		
Відомості про об'єкт сертифікації	існуюча будівля	
Функціональне призначення та назва будівлі:	Громадські будівлі адміністративного призначення, офіси. Будівля Інституту загальної енергетики НАН України	
Відомості про конструкцію будівлі		
Загальна площа, (м ²):	23214,4	
Загальний об'єм, (м ³):	100812,6	
Опалювана площа, (м ²):	19947,8	
Опалюваний об'єм, (м ³):	86626,8	
Кількість поверхів:	3-21	
Рік прийняття в експлуатацію:	2007	
Кількість під'їздів або входів:	10	
Шкала класів енергоефективності		Клас енергетичної ефективності та питоме енергоспоживання
		<div style="font-size: 48px; font-weight: bold; margin-bottom: 20px;">D</div> <div style="font-weight: bold; margin-bottom: 20px;">27,4</div> <div style="font-weight: bold; margin-bottom: 20px;">04.01.2021</div>
[кВт×год/м ³]*		
A <13		
B <20		
C ≤25		
D ≤30		
E ≤34		
F ≤38		
G >38		
Питоме споживання первинної енергії:		218,3
		
Питомі викиди парникових газів:		42,7
Дані енергоаудитора:		Номер та дата реєстрації:

I. Характеристики огорожувальних конструкцій будівлі

Вид огорожувальної конструкції	Значення опору теплопередачі огорожувальної конструкції, (м ² ×К/Вт)		Площа А, (м ²)
	Визначене за результатами сертифікації	Встановлені мінімальними вимогами до енергетичної ефективності	
Зовнішні стіни	2,2	4,00	6555,0
Суміщені покриття	2,5	7,00	1120,4
Покриття опалюваних горіщ (технічних поверхів) та покриття мансардного типу	-	6,00	-
Горіщні перекриття неопалюваних горіщ	-	6,00	-
Перекриття над проїздами та неопалюваними підвалами	1,8	5,00	1087,8
Світлопрозорі огорожувальні конструкції	0,5	0,90	6117,0
Зовнішні двері	0,5	0,70	223,0

Опис виявленого стану огорожувальних конструкцій

Зовнішні стіни:

Зовнішні стінові конструкції із кладки газобетонних блоків, товщиною 300 мм, між залізобетонними колонами, які ззовні утеплені шаром утеплювача з мінераловатних плит, щільністю 145 кг/куб.м, товщиною 50 мм, по шару клейового розчину та зовнішнього оздоблювального шару (вентильованій фасад). Внутрішнє оздоблення – штукатурка, товщиною 20 мм.



Приведений опір теплопередачі зовнішніх стін будівлі не задовольняє вимоги ДБН В 2.6-31:2021 «Теплова ізоляція та енергоефективність будівель».

Світлопрозорі конструкції (віконні, балконні блоки та ін.):

Світлопрозорі конструкції виконані з 3-х камерних алюмінієвих та металопластикових профілів з однокамерними склопакетами без енергозберігаючого покриття та повітряним заповненням камер – встановлений тип 4-16-4. Площа конструкцій відповідає нормам природного освітлення згідно ДБН В.2.5-28. Коефіцієнт скління фасаду становить 0,47.



Приведений опір теплопередачі віконних конструкцій не задовольняє вимоги ДБН В 2.6-31:2021 «Теплова ізоляція та енергоефективність будівель».

Зовнішні двері:

Вхідні двері в будівлю – з 3-х та 5-ти камерних алюмінієвих і металопластикових профілів з одно- та двокамерними склопакетами без та з енергозберігаючим покриттям та повітряним заповненням камер – встановлений тип 4-16-4.



Приведений опір теплопередачі дверних конструкцій не задовольняє вимоги ДБН В 2.6-31:2021 «Теплова ізоляція та енергоефективність будівель».

Покриття та перекриття:

Покриття будівлі (тип 1) – суміщене. Конструкція покриття – внутрішнє опорядження по монолітній залізобетонній плиті перекриття, товщиною 200 мм, шар вирівнюючої цементно-піщаної стяжки, товщиною (мінімальною) 20 мм, пароізоляція, шар керамзитобетону з ухилом 10-150 мм, шар мінераловатного утеплювача, товщиною 120 мм, шар вирівнюючої цементно-піщаної стяжки, товщиною (мінімальною) 40 мм, гідроізоляція – два шари евроруберойду на бітумній основі.

Приведений опір теплопередачі покриття не задовольняє вимоги ДБН В 2.6-31:2021 «Теплова ізоляція та енергоефективність будівель».

Покриття будівлі (тип 2) – внутрішнє опорядження по монолітній залізобетонній плиті перекриття, товщиною 100 мм, шар вирівнюючої цементно-піщаної стяжки, товщиною (мінімальною) 20 мм, пароізоляція, шар мінераловатного утеплювача, товщиною 150 мм, шар керамзитобетону з ухилом 50-150 мм, шар вирівнюючої цементно-піщаної стяжки, товщиною (мінімальною) 50 мм, гідроізоляція – два шари евроруберойду на бітумній основі.

Приведений опір теплопередачі покриття не задовольняє вимоги ДБН В 2.6-31:2021 «Теплова ізоляція та енергоефективність будівель».

Підлога першого поверху будинку – перекриття над паркінгом. Конструкція підлоги – залізобетонна плита, товщиною 200 мм, звукоізоляція, екструдований пінополістирол, товщиною 50 мм, щільністю 35 кг/куб.м, цементно-піщана стяжка, товщиною 40 мм, мастика, лінолеум та керамічна плитка.

Фундаменти:

Фундамент будівлі – виконані методом статичного вдавлювання із залізобетонних паль квадратного перерізу 35x35 см, довжиною 11-13 м.

II. Показники енергетичної ефективності та фактичного енергоспоживання будівлі

Показники енергетичної ефективності будівлі

Назва показника енергетичної ефективності будівлі	Значення показника енергетичної ефективності будівлі	
	Визначене за результатами сертифікації	Встановлені мінімальні вимоги
Питома енергопотреба (кВт×год/м ² або [кВт×год/м ³])	[27,0]	Не встановлюється
Питоме енергоспоживання (кВт×год/м ² або [кВт×год/м ³])	[27,4]	[25,0]
Питоме споживання первинної енергії (кВт×год/м ² або [кВт×год/м ³])	[218,3]	Не встановлюється
Питомі викиди парникових газів (кг/м ²)	42,7	Не встановлюється

Показники енергоспоживання будівлі

Вид енергоспоживання	Обсяг енергоспоживання за рік			
	Визначений за показами відповідних приладів обліку		Визначений за результатами сертифікації	
	тис. кВт×год	кВт×год/м ² [кВт×год/м ³]	тис. кВт×год	кВт×год/м ² [кВт×год/м ³]
Види енергоспоживання, за якими визначається клас енергетичної ефективності будівлі				
Енергоспоживання при опаленні	-	-	2 089,1	[24,1]
Енергоспоживання при охолодженні	-	-	283,5	[3,3]
Енергоспоживання при постачанні гарячої води	-	-	379,2	[4,4]
Енергоспоживання при вентиляції	-	-	40,2	[0,5]
Обсяг енергоспоживання при освітленні	-	-	174,5	[8,8]
УСЬОГО:	-	-	2 966,5	[41,0]

Діаграма річного енергоспоживання будівлі



Причини відхилення обсягів споживання визначених за результатами сертифікації від обсягів споживання визначених за показами відповідних приладів обліку

Облік здійснюється загальними лічильниками електричної та теплової енергії тому відсутня можливість порівняти фактичне енергоспоживання з розрахунковим та визначити причини їх відхилення

III. Характеристики інженерних систем будівлі

Системи опалення

1. Опис джерела теплової енергії

Найменування організації, яка є виконавцем послуг з постачання централізованого опалення	КП «Київтеплоенерго»
Рік прийняття в експлуатацію системи опалення	2007
Теплове навантаження будівлі, Гкал/год.	перша зона – 0,715; друга зона – 0,745
Температурний графік теплової мережі	150/70
Вид теплоносія	Гаряча вода
Тип приєднання до системи опалення	Незалежна, двозонна
Інформація про наявність вузла комерційного обліку споживання теплової енергії на опалення та вузлів розподільного обліку або приладів-розподільовачів	На базі теплотічильника
Обладнання теплового пункту	Запірно-регульовальна арматура Danfoss, пластинчасті розбірні теплообмінники "ДАН"
Інформація про регулювання теплового потоку	Централізоване тепlopостачання з центральним якісним регулюванням за температурним графіком до 110° С зі зрізкою та коригуванням в індивідуальному тепловому пункті за погодними умовами

2. Опис розподілу теплової енергії

Тип теплоносія системи опалення	Гаряча вода
Рік прийняття в експлуатацію	2007
Проектна (розрахункова) потужність системи опалення, Гкал/год.	перша зона – 0,463; друга зона – 0,475
Тип циркуляції теплоносія системи опалення	Механічна, на базі циркуляційних насосів
Схема водяної системи опалення	Двотрубна
Тип розведення трубопроводів	Вертикальні магістралі, з горизонтальним поповерховим розведенням
Наявність та тип приладів балансування	Наявна ручна запірна арматура. <i>Система гідравлічно розбалансована</i>
Матеріал та стан трубопроводів (повітропроводів) системи розподілу теплоносія,	Трубопроводи – сталі зварні, частково металопластикові
Наявність та стан теплової ізоляції трубопроводів	Трубопроводи, які прокладені в техпідпіллі, утеплені (полотном фольгованим та трубчастим утеплювачем з спіненого поліетилену). <i>Запірно-регульовальна арматура та пластинчасті теплообмінники СО не утеплені</i>

3. Опис тепловіддачі

Наявні опалювальні прилади (тип, кількість, стан)	Сталеві панельні радіатори (сходові ктїтки) та електричні фанкойли
Тип підключення радіаторів опалення	Бічне та діагональне підключення
Автоматичних регуляторів теплового потоку	Терморегулятори на радіаторах відсутні. <i>Для встановлення терморегуляторів необхідно налаштувати систему розподілення - відрегулювати балансвальні клапани</i>



Опалювальні прилади будівлі

Системи охолодження, кондиціонування, вентиляції

Вентиляція	Вентиляція – припливно-витяжна, природна та з механічним спонуканням з приміщення офісної частини будівлі та санвузлів, а також вбудованих приміщень. Приплив здійснюється через вікна та металеві короба системи вентиляції з примусовим спонуканням. Витяжна вентиляція здійснюється через вентиляційні канали.
Кондиціонування	Централізована система охолодження та кондиціонування відсутня. Для охолодження приміщень використовуються локальні автономні системи підлогового типу





Облаштування вентиляційних отворів системи припливно-витяжної вентиляції приміщень

Системи постачання гарячої води

Назва джерела теплової енергії	Централізована
Рік запуску в експлуатацію	2007
Проектна (розрахункова) потужність системи опалення, Гкал/год.	перша зона – 0,252; друга зона – 0,270
Схема приєднання вузла нагріву (аккумуляції) до системи теплопостачання	Не під'єднано
Тип і технічні характеристики теплообмінника	Пластинчасті розбірні теплообмінники "ДАН". Теплова ізоляція відсутня
Температура гарячої води на виході з вузла нагріву	55 °С
Система циркуляції	Наявна, з використанням циркуляційних насосів, з <i>електродвигуном без можливості частотного регулювання</i>
Стан трубопроводів та теплоізоляції системи ГВП	Трубопроводи прокладені в опалювальних та неопалювальних приміщеннях, утеплені. Стан задовільний. <i>Запірно-регульовальна арматура не утеплена. Система гідравлічно розбалансована</i>
Наявність альтернативних джерел теплопостачання для потреб ГВП, в т.ч. з відновлювальних	Відсутні

Системи освітлення	
Опис системи обліку споживання електроенергії: (однотарифний чи багатотарифний лічильник)	Облік електроенергії системи освітлення окремо не здійснюється. Однотарифний лічильник для обліку електроенергії всієї будівлі.
Опис режиму роботи системи освітлення та/або її елементів	Освітлення використовується в темний період доби та при потребі для приміщень з відсутнім природним освітленням
Опис типу освітлювальних пристроїв, що використовуються, їх кількість та потужність	Система освітлення будівлі складається зі світильників із світлодіодними та люмінесцентними лампами різної потужності.
Опис систем автоматизації роботи системи освітлення: (датчики руху, освітлення, звуку, автоматичне ввімкнення/вимкнення системи освітлення за часом чи інше)	Наразі використовується ручне керування роботою системи освітлення – кімнатні вимикачі.

Зовнішній вигляд освітлювальних приладів

IV. Рекомендації щодо забезпечення (підвищення рівня) енергетичної ефективності

Діючі тарифи на енергоресурси будівлі, які використовувалися для розрахунку економічних показників заходів з підвищення енергоефективності				
Електрична енергія	Теплова енергія	Природний газ	Дрова	Пелети
грн / кВт·год	грн / Гкал	грн / куб. м	грн / куб. м	грн / т
6,50	3618,82	-	-	-

Захід № 1. Модернізація системи розподілу та тепловіддачі опалення

1.1 Встановлення балансувальних клапанів на стояки системи опалення		
Опис технічного рішення		
Система опалення будівлі розбалансована. Нерівномірність розподілу теплоносія у внутрішній мережі призводить до коливань внутрішньої температури приміщень залежно від стояка будівлі. Для рівномірного розподілу теплоносія рекомендуємо встановити автоматичні балансувальні клапани на стояки системи опалення (п. 6.4.7.7, 6.7.30 ДБН В.2.5-67:2013)		
Кількість	Вартість одиниці	
72 шт	12 000 грн/шт	
Економія енергоресурсів	32	Гкал/рік
	115 808	грн/рік
Вартість впровадження	864 000	грн
Термін окупності	7,5	роки



1.2 Встановлення терморегуляторів на опалювальні прилади		
Опис технічного рішення		
Для регулювання температури повітря та споживання тепла в кожній кімнаті рекомендуємо встановити терморегулятори на радіатори опалення. Встановлення останніх також усуває проблему перегріву приміщень з південної (сонячної) сторони будівлі, що додатково дасть економію тепла. Встановлення терморегуляторів регламентоване ДБН В.2.5-67:2013 «Опалення, вентиляція та кондиціонування»		
Кількість	Вартість одиниці	
525 шт	1 300 грн/шт	
Економія енергоресурсів	17	Гкал/рік
	61 523	грн/рік
Вартість впровадження	682 500	грн
Термін окупності	11,1	роки




Захід № 2. Заміна існуючих вікон на нові з металопластиковою рамою та двокамерним склопакетом

Опис технічного рішення			
Опір теплопередачі віконних конструкцій не відповідає вимогам ДБН В.2.6-31:2021 «Теплова ізоляція та енергоефективність будівель». Заходом рекомендується замінити всі вікна на енергоефективні металопластикові з опором теплопередачі, яких відповідатиме діючим вимогам. З'єднувальні шви конструкції зі стіною виконати відповідно ДСТУ Б В.2.6-79:2009 «Конструкції будинків і споруд. Шви з'єднувальні місць примикань віконних блоків до конструкцій стін. Загальні технічні умови» з використанням плівок паро- та гідробар'єру.			
Прийняті елементи конструкції зовнішніх вікон			
склопакет	рама	дист. планка	R вікна
4і-14ар-4-14ар-4і	7-ми камерна	полікарбонат	0,94
Кількість	Вартість одиниці		
6117 кв.м	9 500 грн/кв.м		
Економія енергоресурсів	540	Гкал/рік	
	1 953 720	грн/рік	
Вартість впровадження	58 111 500	грн	
Термін окупності	29,7	роки	
Примітка: Може бути прийнята поєднання інших типів склопакетів та рам із загальним опором теплопередачі вікна $\geq 0,9$			



Захід № 3. Заміна старих дверей на нові з металопластиковою рамою, зі склопакетами та сендвіч-вставками


Опис технічного рішення			
Опір теплопередачі існуючих дверних конструкцій не відповідає вимогам ДБН В.2.6-31:2021 «Теплова ізоляція та енергоефективність будівель». Заходом рекомендується замінити існуючі двері на більш енергоефективні, з опором теплопередачі $\geq 0,7 \text{ м}^2 \times \text{К/Вт}$, що відповідатиме вимогам ДБН В.2.6-31:2021 «Теплова ізоляція та енергоефективність будівель». З'єднувальні шви конструкції зі стіною виконати відповідно ДСТУ Б В.2.6-79:2009 «Конструкції будинків і споруд. Шви з'єднувальні місць примикань дверних блоків до конструкції стін. Загальні технічні умови» з використанням плівки паро- та гідробар'єру.			
Кількість	Вартість одиниці		
223 кв.м	14 000 грн/кв.м		
Економія енергоресурсів		30	Гкал/рік
		108 564	грн/рік
Вартість впровадження		3 122 000	грн
Термін окупності		28,8	роки
Примітка: Можливе використання замість склопакета сендвіч-вставки в дверях які не потребують скління. Альтернативним варіантом заміни – є використання металевих утеплених дверей з 2-х або 3-х шарамі ущільнювачів. Двері виходу на покрівлю прийняти – протипожежні металеві утеплені, решта – металопластикові зі склопакетами/сендвіч-вставками			

ЗВЕДЕНИЙ ПЕРЕЛІК ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ ЗАХОДІВ

Перелік заходів	Інвестиції	Розрахункова економія	Простий термін окупності
	грн	грн/рік	років
1. Модернізація системи розподілу та тепловіддачі опалення у т.ч.:	1 546 500	177 331	8,7
1.1 Встановлення автоматичних балансувальних клапанів на стояки системи опалення	864 000	115 808	7,5
1.2 Встановлення терморегуляторів на опалювальні прилади	682 500	61 523	11,1
2. Заміна існуючих вікон на нові з металопластиковою рамою та двокамерним склопакетом	58 111 500	1 953 720	29,7
3. Заміна старих дверей на нові з металопластиковою рамою, зі склопакетами та сендвіч-вставками	3 122 000	108 564	28,8
РАЗОМ	62 780 000	2 239 615	28,0

Після впровадження пропонованих енергоефективних заходів, клас енергетичної ефективності будівлі становитиме «С».

Додатковий захід № 4. Встановлення системи припливно-втяжної вентиляції з рекуперацією тепла

Опис технічного рішення			
Наразі в будівлі вентиляція приміщень здійснюється лише через нещільності в віконних блоках або шляхом ударного провітрювання. Інфільтрація не забезпечує ефективну вентиляцію приміщень будівлі та призводить до нераціональних тепловтрат. Для забезпечення нормативної кратності повітрообміну та забезпечення вимог щодо мікроклімату приміщень пропонується встановити систему припливно-втяжної системи вентиляції з рекуперацією тепла. Підігрів припливного повітря - від існуючого централізованого теплопостачання. Робота механічної системи вентиляції призведе до збільшення споживання електричної енергії та теплоенергії будівлею відносно до фактичного енергоспоживання, проте даний захід є необхідним для покращення мікроклімату в приміщеннях			
Економія енергоресурсів		100	Гкал/рік
		361 882	грн/рік
Вартість впровадження		19 500 000	грн
Термін окупності		53,9	роки

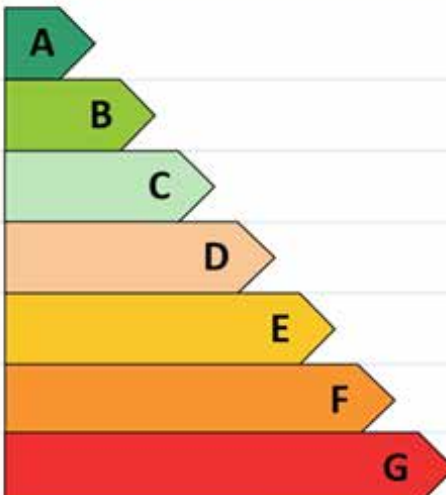
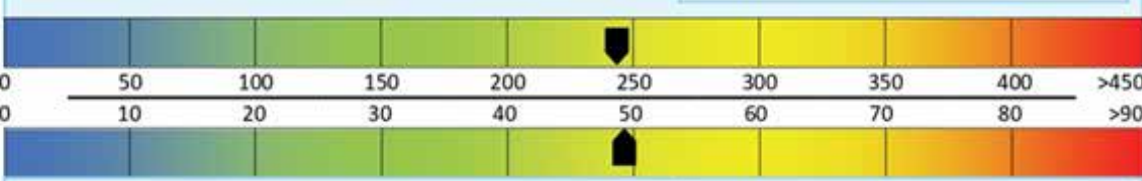
ЕНЕРГЕТИЧНИЙ СЕРТИФІКАТ БУДІВЛІ

Адреса (місцезнаходження) будівлі:	м. Київ, вул. Антоновича, буд.172		
Ідентифікатор об'єкта будівництва:			
Відомості про об'єкт сертифікації	існуюча будівля		
Функціональне призначення та назва будівлі:	Громадські будівлі адміністративного призначення, офіси. Будівля Інституту загальної енергетики НАН України		
Відомості про конструкцію будівлі			
Опалювана площа, (м ²):	19947,8	Опалюваний об'єм, (м ³):	86626,8
Кількість поверхів:	3-21	Рік прийняття в експлуатацію:	2007
Шкала класів енергоефективності		Клас енергетичної ефективності та питоме енергоспоживання	
		[кВт×год/м ³]	
A	<13		<div style="font-size: 4em; font-weight: bold; margin: 0;">D</div> <div style="font-weight: bold; margin-top: 10px;">04.01.2021</div>
B	<20		
C	≤25		
D	≤30	← 27,4	
E	≤34		
F	≤38		
G	>38		
Питоме споживання первинної енергії:		218,3	
<p style="font-size: small; margin: 0;">0 50 100 150 200 250 300 350 400 >450</p> <p style="font-size: small; margin: 0;">0 10 20 30 40 50 60 70 80 >90</p>			
Питомі викиди парникових газів:		42,7	
Дані енергоаудитора:		Номер та дата реєстрації:	

Порівнюючи дані витягів із енергетичних сертифікатів, видно, що використання методики розрахунку тепловтрат для окремих приміщень багатоповерхової будівлі, яка враховує швидкості вітрового потоку та

«затінення» досліджуваної будівлі, у поєднанні із проведенням тесту на герметичність огорожувальних конструкцій будівлі – дасть змогу реально оцінити фактичний рівень енергоспоживання та встановити дійсний клас енергетичної ефективності будівлі.

ЕНЕРГЕТИЧНИЙ СЕРТИФІКАТ БУДІВЛІ

Адреса (місцезнаходження) будівлі:	м. Київ, вул. Антоновича, буд.172		
Ідентифікатор об'єкта будівництва:			
Відомості про об'єкт сертифікації	існуюча будівля		
Функціональне призначення та назва будівлі:	Громадські будівлі адміністративного призначення, офіси. Будівля Інституту загальної енергетики НАН України		
Відомості про конструкцію будівлі			
Опалювана площа, (м ²):	19947,8	Опалюваний об'єм, (м ³):	86626,8
Кількість поверхів:	3-21	Рік прийняття в експлуатацію:	2007
Шкала класів енергоефективності		Клас енергетичної ефективності та питоме енергоспоживання	
		[кВт·год/м ³]	
A		<13	
B		<20	
C		≤25	
D		≤30	
E		≤34	← 32,3
F		≤38	
G		>38	
			E
			04.01.2021
Питоме споживання первинної енергії:		246,1	
			
Питомі викиди парникових газів:		48,2	
Дані енергоаудитора:		Номер та дата реєстрації:	

Враховуючи вищенаведене, в рамках реалізації Стратегії термомодернізації будівель, що визначена Законом України «Про енергетичну ефективність будівель», зокрема статтею 15-1 щодо запровадження національної бази даних енергетичних та експлуатаційних характеристик будівель, за доцільне вбачається доповнення квадранту «Сертифікація енергоефективності» новими даними по будівлям, які спочатку були сертифіковані згідно вимог ДСТУ 9190:2022 «Енергетична ефективність будівель. Метод розрахунку енергоспоживання під час опалення, охолодження, вентиляції, освітлення та гарячому водопостачанні», а потім перераховані з урахуванням рівня теплових втрат через стінові конструкції за рахунок повітропроникності, впливу зміни швидкості вітрового потоку та «затінення» зовнішніх огорожувальних конструкцій досліджуваної будівлі.

4.2. Висновки по розділу 4

1. Розроблений сертифікат енергетичної ефективності громадської будівлі як без врахування рівня теплових втрат через стінові конструкції за рахунок повітропроникності, так і з урахуванням швидкості вітрового потоку та «затінення» досліджуваної будівлі з оцінкою їх впливу на фактичний рівень енергоспоживання, величину викидів CO₂ та клас енергетичної ефективності будівлі.

2. Показано, що врахування вищезазначених чинників суттєво впливає на показник питомого енергоспоживання, а отже і на енергетичної ефективності будівлі. Так, клас енергоефективності існуючої будівлі об'єкту дослідження встановлений на рівні «D», опір теплопередачі зовнішніх огорожувальних конструкцій якої не відповідає діючим на сьогодні вимогам ДБН В 2.6-31-2021 «Теплова ізоляція та енергоефективність будівель». Значення показника питомого споживання енергії – 27,4 кВт·год/м³, значення

показника питомих викидів CO_2 – $42,7 \text{ кг/м}^2$ в рік, а фактора питомого споживання первинної енергії – $218,3 \text{ кВт}\cdot\text{год/м}^3$.

3. Встановлено, що урахування впливу швидкості вітрового потоку та «затінення» досліджуваної будівлі на рівень її питомого енергоспоживання показав, що відбулась зміна класу енергетичної ефективності будівлі з «D» на «E», а значення показника питомого споживання енергії зросло до $32,3 \text{ кВт}\cdot\text{год/м}^3$, тобто на 17,9%, значення показника питомих викидів CO_2 збільшилось до $48,2 \text{ кг/м}^2$ в рік, тобто на 12,9%, а фактора питомого споживання первинної енергії – до $246,1 \text{ кВт}\cdot\text{год/м}^3$, тобто на 12,7%.

ВИСНОВКИ

У даній магістерській роботі проведено оцінювання впливу повітропроникності огорожувальних конструкцій громадської будівлі на параметри мікроклімату приміщень. Зокрема встановлено наступне:

В ході дослідження аналізувалися показники енергетичної ефективності житлових та громадських будівель, внесені у енергетичні сертифікати. Виконано оцінку відповідності діючим на момент розробки сертифікату нормативним вимогам щодо теплотехнічних характеристик огорожувальних конструкцій, аналіз питомого енергоспоживання та питомих викидів CO₂.

Проведені розрахунки тепловтрат через стінові конструкції і вентиляційні отвори для окремого приміщення громадської будівлі. Показано, що використання методики, яка наведена в нині діючому ДСТУ 9191:2022 «Теплоізоляція будівель. Метод вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будівель», завищує теплові втрати через стінові конструкції на 39 - 48 %.

Показано, що врахування рівня теплових втрат через стінові конструкції за рахунок їх повітропроникності дозволяє більш якісно проводити порівняльну оцінку рівня енергоспоживання для визначення класу енергетичної ефективності будівлі на відміну від нині діючих методик, які не враховують ці показники. Порівняльний аналіз отриманих результатів показує, що при швидкості вітрового потоку від 5 до 20 м/с теплові втрати через стінові конструкції за рахунок їх повітропроникності можуть зростати в 1,1 – 2,5 раз порівняно з погодними умовами при відсутності вітру.

Встановлено, що при зміні вітрового потоку від $v = 5$ до $v = 20$ м/с, повітропроникності огорожувальних конструкцій $G_k = 0,9$ кг/м³год, спостерігається зростання показника питомого енергоспоживання системами опалення та охолодження будівлі у середньому на 46 % і 70 % відповідно.

Доведено, що запропоновані методики розрахунків, які враховують вплив швидкості вітрового потоку у поєднанні із проведенням тесту на герметичність огорожувальних конструкцій будівлі, дають змогу реально оцінити фактичний рівень енергоспоживання та встановити дійсний клас енергетичної ефективності будівлі, оскільки відхилення більш ніж на 10-20 % граничного значення питомого енергоспоживання будівлі на опалення та охолодження, призводить до зміни класу енергетичної ефективності об'єкту, залежно від його функціонального призначення та коефіцієнта компактності.

Розроблений сертифікат енергетичної ефективності громадської будівлі як без врахування рівня теплових втрат через стінові конструкції за рахунок повітропроникності, так і з урахуванням швидкості вітрового потоку та «затінення» досліджуваної будівлі з оцінкою їх впливу на фактичний рівень енергоспоживання, величину викидів CO₂ та клас енергетичної ефективності будівлі. Так, клас енергоефективності існуючої будівлі об'єкту дослідження встановлений на рівні «D», опір теплопередачі зовнішніх огорожувальних конструкцій якої не відповідає діючим на сьогодні вимогам ДБН В 2.6-31-2021 «Теплова ізоляція та енергоефективність будівель». Значення показника питомого споживання енергії – 27,4 кВт·год/м³, значення показника питомих викидів CO₂ – 42,7 кг/м² в рік, а фактора питомого споживання первинної енергії – 218,3 кВт·год/м³.

Встановлено, що урахування впливу швидкості вітрового потоку та «затінення» досліджуваної будівлі на рівень її питомого енергоспоживання показав, що відбулась зміна класу енергетичної ефективності будівлі з «D» на «E», а значення показника питомого споживання енергії зросло до 32,3 кВт·год/м³, тобто на 17,9%, значення показника питомих викидів CO₂ збільшилось до 48,2 кг/м² в рік, тобто на 12,9%, а фактора питомого споживання первинної енергії – до 246,1 кВт·год/м³, тобто на 12,7%.

Для підвищення рівня енергетичної ефективності будівлі запропоновано ряд енергоефективних заходів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Закон України «Про енергетичну ефективність будівель» №2118-VIII від 22.06.2017. Голос України. 22.07.2017. № 134.
2. EN 15459:2014. Енергетична ефективність будівель. Порядок енергетичної оцінки систем будівлі (2014).
3. UNI/TS 11300-1: 2014 – Енергетична ефективність будівель – Частина 1: Визначення попиту на теплову енергію будівель для кліматизації в зимовий і літній сезон (2014).
4. Dekusha O.L., Kovtun S.I., Romanenko V.V., Sozonov S.V. Information-measuring Tech-nology for Buildings Enclosing Structures Thermal Resistance Control CEUR Workshop Proceedings, 3309 (2022), pp. 301 – 313.
5. Хотра О., Ковтун С., Декуша О., Гродз Ж., Бабак В., Стичень Я. Аналіз даних теплового потоку низької щільності методом вейвлетів, Енергія, 16, ст. 430, DOI: 10.3390/en16010430 (2023).
6. Shahzad, Sally S.; Brennan, John; Theodossopoulos, Dimitris; Hughes, Ben; Calautit, John Kaiser "Building-Related Symptoms, Energy, and Thermal Control in the Workplace: Personal and Open Plan Offices". Sustainability. 8 (4): 331. doi:10.3390/su8040331 (2016).
7. Vitalii Babak, Oleg Dekusha, Svitlana Kovtun, Leonid Shcherbak and Sergiy Kobzar Computer Model of the Building Envelope the Thermophysical Characteristics Determining Process, CEUR Workshop Proceedings 3628, pp. 236–251 (2023).
8. Держстандарт України. ДСТУ-Н Б В.2.6-191:2013 «Настанова з розрахунку оцінки повітропроникності оболонок». (2013).
9. Сертифікація енергетичної ефективності будівель. Режим доступу: <https://sae.gov.ua/uk/content/buildings-certification>.
10. Дешко, В. І. База даних сертифікатів енергетичної ефективності будівель в Україні: аналіз для нового будівництва / В. І. Дешко, М. М. Шовкалюк, Ю. С. Кузьміна // Енергетика: економіка, технології, екологія :

науковий журнал. – 2021. – № 1. – С. 20-26.

11. ДСТУ Б А.2.2-12:2015. Енергетична ефективність будівель. Метод розрахунку енергоспоживання при опаленні, охолодженні, вентиляції, освітленні та гарячому водопостачанні. К. Мінрегіонбуд України, 2016. 205 с.

12. ДСТУ 9190:2022 Енергетична ефективність будівель. Метод розрахунку енергоспоживання під час опалення, охолодження, вентиляції, освітлення та гарячому водопостачанні. К. ДП «УкрНДНЦ» України, 2022. 156 с.

13. ДБН В.2.6-31:2016. Теплова ізоляція будівель. К.: Мінбуд України, 2017. 37 с.

14. ДБН В 2.6-31-2021 «Теплова ізоляція та енергоефективність будівель». К.: Мінрегіон України, 2022. 27 с.

15. Про затвердження Методики визначення енергетичної ефективності будівель: Наказ Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України від 11.07.2018 р. № 169. Офіційний вісник України. 2018, № 55. С. 301.

16. Про затвердження Порядку проведення сертифікації енергетичної ефективності та форми енергетичного сертифіката: Наказ Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово- комунального господарства України від 11.07.2018 р. № 172. Офіційний вісник України. 2018, № 55. С. 334.

17. Про затвердження Мінімальних вимог до енергетичної ефективності будівель: Наказ Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України від 27.10.2020. № 260. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1257-20>.

18. Про затвердження Змін до Методики визначення енергетичної ефективності будівель: Наказ Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України від 27.10.2020 № 261. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1254-20>.

19. Про внесення змін до Порядку проведення сертифікації

енергетичної ефективності та форми енергетичного сертифіката. Наказ Міністерство розвитку громад та територій України від 01.12.2021 № 309. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1654-21#Text>

20. Порядок проведення професійної атестації осіб, які мають намір провадити діяльність із сертифікації енергетичної ефективності та обстеження інженерних систем // Затв. Постановою КМУ від 26.07.2018 № 605 – 16 с.

21. Портал державної електронної системи у сфері будівництва. Режим доступу: <https://e-construction.gov.ua/>.

22. Реєстр сертифікатів енергетичної ефективності. Режим доступу: <https://e-construction.gov.ua/document/optype=13>.

23. База даних енергетичних сертифікатів. Режим доступу: <https://saee.gov.ua/>.

24. База даних енергетичних сертифікатів. Режим доступу: https://data.gov.ua/dataset/344871e5-2f3d-413b-8d2b-54ed4a0c3ea5/resource/bcd75d88-ac1f-407e-9a75-610b236f1040/download/bds_public_12_08_2020.xlsx

25. Про затвердження Порядку ведення баз даних звітів про результати обстеження інженерних систем, атестованих енергоаудиторів та фахівців з обстеження інженерних систем, енергетичних сертифікатів. Наказ Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України від 21 березня 2018 року № 62. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0251-21>.

26. Про затвердження плану заходів щодо створення та запровадження Єдиної державної електронної системи у сфері будівництва. Розпорядження Кабінету Міністрів України від 20.05.2020 № 565-р. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/565-2020-%D1%80>.

27. Відомості про кваліфікаційні центри. Режим доступу: <https://data.nqa.gov.ua/qualification-centers/>

28. Урядовий портал. Держенергоефективності: Більше 6 тис.

енергетичних сертифікатів будівель видано в Україні. Режим доступу: <https://www.kmu.gov.ua/news/derzhenergoefektivnosti-bilshe-6-tis-energetichnih-sertifikativ-budivel-vidano-v-ukrayini>.

29. Технічні вимоги до створення Національної бази даних енергетичних та експлуатаційних характеристик будівель у складі Реєстру будівельної діяльності Єдиної державної електронної системи у сфері будівництва. Режим доступу: https://eef.org.ua/wp-content/uploads/2023/09/TV_NBDAEE_BBU.pdf.

30. ДСТУ EN ISO 9972:2022 (EN ISO 9972:2015, IDT; ISO 9972:2015, IDT) «Теплотехнічні характеристики будівель. Визначення повітропроникності будівель. Метод випробувального тиску», прийнятий методом перекладу, — ідентичний щодо EN ISO 9972:2015 (версія en) «Thermal performance of buildings — Determination of air permeability of buildings — Fan pressurization method (ISO 9972:2015)».

31. ДСТУ Б EN 15251:2011 Розрахункові параметри мікроклімату приміщень для проектування та оцінки енергетичних характеристик будівель по відношенню до якості повітря, теплового комфорту, освітлення та акустики (EN 15251:2007, IDT).

32. ДБН В.2.5-67:2013 Опалення, вентиляція та кондиціонування.

33. ДБН В.1.2-2:2006 Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Навантаження і впливи. Норми проектування. Зміна № 1.

34. ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 «Будівельна кліматологія». Київ: Ministry of the Region of Ukraine. 2011. 130 p.

35. Аналіз впливу внутрішньої теплоємності будівлі ЗВО та погодозалежного регулювання ІТП на ефективність роботи системи опалення в черговому режимі / Є. О. Антипов, А. В. Міщенко, О. В. Шеліманова, С. Є. Тарасенко // Енергетика і автоматика, №5, 2021. <http://dx.doi.org/10.31548/energiya2021.05.045>.

36. Nalyvaiko V., Radko I., Zhyltsov A., Okushko O., Mishchenko A., Antypov I. Investigation of Thermal Modernized Building's Microclimate with Renewable Energy. ICoRES 2019. E3S Web of Conferences. 154, 07011, 2020.