

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

\_\_\_\_\_  
(підпис) **Віктор КАПЛУН**  
(ПІБ)

“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2025 р.

\_\_\_\_\_  
(підпис) **Євген АНТИПОВ**  
(ПІБ)

“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2025 р.

**МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

на тему

Оцінювання впливу рівня теплового захисту огорожувальних конструкцій  
житлової будівлі на показники її питомого енергоспоживання

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)

Лісовський І.А.  
(ПІБ)

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**

Лісовському Ігорю Анатолійовичу  
(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 рівня теплового захисту огорожувальних конструкцій житлової  
будівлі на показники її питомого енергоспоживання»

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 рівня теплового захисту огорожувальних конструкцій будівлі.
2. Загальна характеристика об'єкту проектування.
3. Інженерний розрахунок та побудова теплового балансу будівлі.
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)

Лісовський І.А.  
(прізвище та ініціали студента)

## РЕФЕРАТ

Магістерська робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків та списку використаних джерел. Обсяг роботи становить 81 сторінка, включаючи 18 рисунків та 13 таблиць.

Метою магістерської роботи є оцінювання впливу рівня теплового захисту огорожувальних конструкцій житлової будівлі на показники її питомого енергоспоживання.

Проведені дослідження та розрахунки по оцінці вологісного режиму зовнішніх огорожувальних конструкцій будівлі з шаром утеплювача на зовнішній та внутрішній стороні, а також без утеплювача, які були спрямовані на вибір оптимального місця розташування утеплювача, з точки зору будівельної фізики.

Отримані результати досліджень дозволяють чітко визначитися з конструктивним рішенням зовнішніх огорожень вже на стадії розробки проектної документації. Для кожного конкретного конструктивного рішення, встановлено оптимальне місце розміщення утеплювача, виходячи з умови ненакопичення вологи в товщі досліджуваної конструкції.

Оцінюючи вплив опору огорожувальних конструкцій на параметри теплового комфорту приміщень числовим методом встановлено, що використана модель враховує динамічну зміну теплових потоків через досліджувані стінові конструкції, які виконані з різних матеріалів, в т.ч. в черговому режимі. Так, у випадку зовнішніх стін, які виконані з багат шарових стінових конструкцій з утеплювачем, зниження температури досягає  $\pm 5$  °С, що відповідає вимогам ДБН В.2.6-31:2021, на відміну від огорожувальних конструкцій будівлі виконаних з цегельної кладки без утеплювача.

**Ключові слова:** тепловий захист, огорожувальні конструкції, втрати теплової енергії, питомі показники, енергоспоживання.

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	6
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ НОРМАТИВНИХ ВИМОГ ЩОДО РІВНЯ ТЕПЛООВОГО ЗАХИСТУ ЗОВНІШНІХ ОГОРОДЖУВАЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ БУДІВЕЛЬ .....	8
1.1. Сучасний стан енергоефективності будівель в Україні та світі .....	8
1.2. Взаємодія елементів будівлі як складових енергетичної системи .....	12
1.3. Висновки до розділу 1 .....	16
РОЗДІЛ 2 .....	17
ТЕПЛОВИЙ РЕЖИМ БУДІВЕЛЬ З УРАХУВАННЯМ ТЕПЛОВОЇ ІНЕРЦІЇ ОБОЛОНКИ БУДІВЛІ .....	17
2.1. Модель теплового режиму будівлі .....	17
2.2. Висновки до розділу 2 .....	21
РОЗДІЛ 3 .....	22
ТЕПЛО-ВОЛОГІСНИЙ РЕЖИМ ЗОВНІШНІХ ОГОРОДЖУВАЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ БУДІВЛІ .....	22
3.1. Вихідні дані для проведення розрахунків .....	23
3.2. Оцінка тепловологісного стану конструкції: стіна №1 .....	28
3.3. Оцінка теплостійкості в літній період: стіна №1 .....	34
3.4. Розрахунок термічного опору: світлопрозора огороджувальна конструкція .....	41
3.5. Оцінка тепловологісного стану конструкції: вікно №1 .....	47
3.6. Оцінка теплостійкості в літній період: вікно №1 .....	59
3.7. Висновки по розділу 3 .....	65
РОЗДІЛ 4 .....	66
ОЦІНКА ВПЛИВУ ОПОРУ ТЕПЛОПЕРЕДАЧІ НЕПРОЗОРИХ ОГОРОДЖУВАЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ БУДІВЛІ НА ЕНЕРГОПОТРЕБУ БУДІВЛІ .....	66

4.1. Оцінка впливу опору непрозорих стінових огорожувальних конструкцій на енергопотребу будівлі числовим методом .....	66
4.2. Висновки по розділу 4.....	73
ВИСНОВКИ.....	75
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....	78

## ВСТУП

На теперішній час проблема енергозбереження та енергетичної безпеки набуває особливої актуальності, як в локальному вимірі, так і в глобальному. Наразі у світі гостро постала проблема економії та раціонального використання енергоресурсів з метою не тільки зменшити об'єми їх споживання, але і скоротити викиди забруднюючих речовин. Для України питання енергетичної безпеки особливо загострилося з початком російської гібридної агресії. Руйнування енергетичної інфраструктури, загроза зриву постачання енергетичних ресурсів, агресивні дії в економічній сфері стимулюють Україну до підвищення енергоефективності за ланцюгом від виробництва до споживання енергії та до розвитку сучасних енергоощадних технологій.

За даними Європейської парламентської дослідницької служби, найбільшими споживачами енергії в Європі є домогосподарства, кінцеве енергоспоживання яких становить 28% від загального енергоспоживання всіх секторів. Тому зусилля науковців спрямовані на реалізацію ресурсозберігаючої діяльності шляхом використання сучасних енергоефективних технологій у домогосподарствах та будівлях, зокрема для зменшення трансмісійних та інфільтраційних тепловтрат.

Для того, щоб визначити ступінь трансмісійних тепловтрат, зазвичай проводять вимірювання термічного опору будівель на місці. У більшості випадків ці вимірювання виконуються шляхом аналізу теплового потоку низької щільності.

Для оперативного контролю теплоізоляційних характеристик огорожувальних конструкцій та матеріалів, що використовують при ремонтних роботах, і встановлення їх дійсних значень вкрай важливим є розроблення сучасних засобів моніторингу та відповідних методик вимірювання теплового опору як основного показника при оцінюванні енергоефективності будівель.

Провідні світові організації у сфері стандартизації і сертифікації та науково-дослідні інститути та університети такі як Munich University of Applied Sciences, DIN Deutsches Institut für Normung e.V., International Organization for Standardization ведуть постійну роботу по створенню нових методів та стандартів, які б дали змогу підвищити точність таких вимірювань. Остання редакція стандарту ДСТУ ISO 9869 «Теплоізоляція. Будівельні елементи. Натурні вимірювання теплового опору та коефіцієнта теплопередавання» гармонізована в Україні.

Виходячи з цього, *метою магістерської роботи є оцінювання впливу рівня теплового захисту огорожувальних конструкцій житлової будівлі на показники її питомого енергоспоживання.*

Для досягнення поставленої мети необхідно:

1. Провести аналіз нормативних вимог щодо рівня теплового захисту зовнішніх огорожувальних конструкцій будівель.
2. Здійснити оцінку теплового режиму будівель з урахуванням теплової інерції оболонки будівлі.
3. Оцінити вологісний режим зовнішніх огорожувальних конструкцій будівлі.
4. Провести оцінку впливу опору непрозорих стінових огорожувальних конструкцій на енергопотребу будівлі числовим методом.

*Об'єктом дослідження є огорожувальні конструкції житлової будівлі.*

*Предметом дослідження є процеси теплопереносу через огорожувальні конструкції будівлі.*

## РОЗДІЛ 1

### АНАЛІЗ НОРМАТИВНИХ ВИМОГ ЩОДО РІВНЯ ТЕПЛООВОГО ЗАХИСТУ ЗОВНІШНІХ ОГОРОДЖУВАЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ БУДІВЕЛЬ

#### 1.1. Сучасний стан енергоефективності будівель в Україні та світі

Питання енергоефективності в Україні постало особливо гостро з моменту повномасштабного вторгнення і руйнування енергогенеруючих потужностей. Тому зараз енергозбереження як у короткостроковій, так і в довгостроковій перспективі виходить на перший план. Зокрема, підвищення енергоефективності будівельного сектору як значного споживача енергії. За розрахунками аналітичного ресурсу GMK Center, в українській структурі викидів CO<sub>2</sub> (діоксиду вуглецю) за галузями, електроенергія, газ та кондиціонування повітря в сукупності складають 52%. При цьому будівельний сектор є одним з найбільших споживачів цих ресурсів.

Відповідно до загальної характеристики житлового фонду на 1 січня 2020 року в Україні наявно понад 8 млн. житлових будинків із загальною площею житлових приміщень – 892, 15 млн м<sup>2</sup> [1].

Ефективність використання палива та енергії в житловому фонді України є незадовільною. За даними Енергетичного балансу України у 2020 році житловий сектор був другим за споживанням енергії, як показано на рисунку 1.1. Згідно з статистичними даними частка житлового сектора в розмірі 13,601 млн. тон нафтового еквіваленту, становить 28,5% від загального кінцевого енергоспоживання в країні за зазначений період.

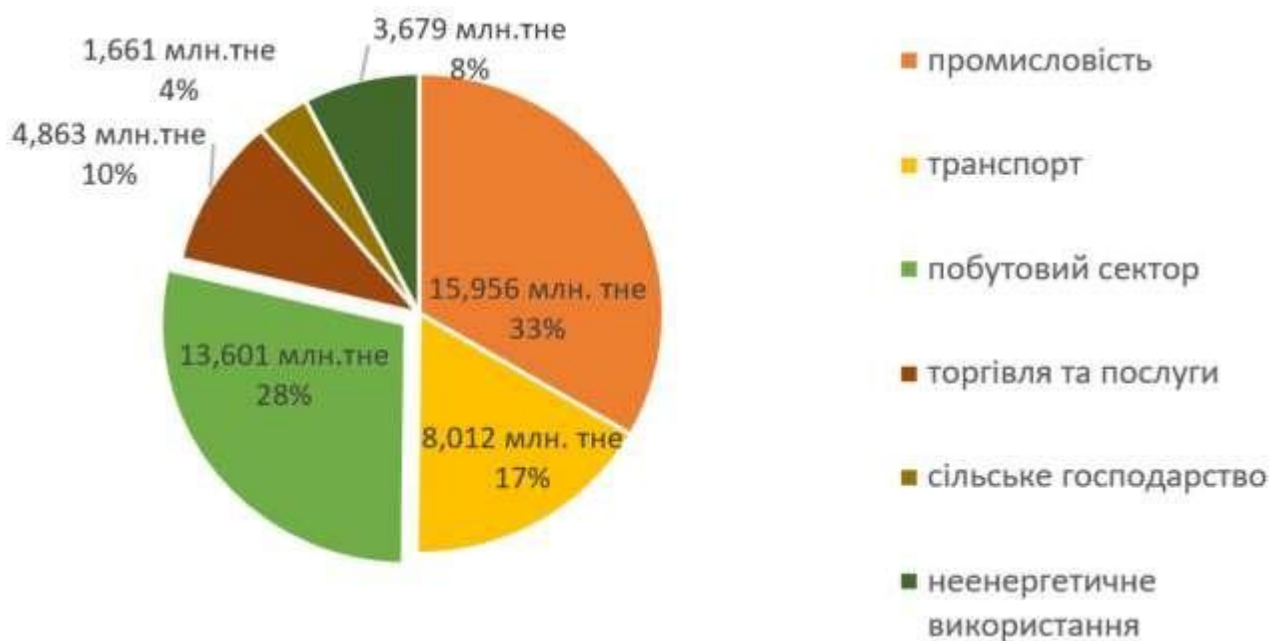


Рис. 1.1. Енергетичний баланс України за 2020 рік

За статистичними даними Держстандарту у структурі споживання енергії домогосподарствами за цілями призначення у 2020 році на потреби опалення житлових приміщень припадає 53% від усіх джерел енергії. На домашні господарства припадає 28,5%, а на сектор послуг ще 10,2% від загального кінцевого енергоспоживання за 2020 рік. За даними Мінрегіону житловий сектор житлової нерухомості володіє значним економічним потенціалом, який може досягати 9 мільйонів тон нафтового еквіваленту щорічно при зменшенні енергоспоживання житловими будівлями.

Згідно із даними Державної служби статистики України, які містяться у Статистичному збірнику "Соціально-демографічні характеристики домогосподарств України у 2019 році", станом на 2019 рік майже половина домогосподарств (44,5%) не проводила капітального ремонту житла (у міських поселеннях цей показник складає 53,3%). До того ж, у 3,1% домогосподарств останній капітальний ремонт відбувся до 1990 року. Важливо зауважити, що згідно зі статистичними даними за 2017 рік в цілому по Україні 87,2% домогосподарств проживають у житлі, побудованому до 1991 року (у міських поселеннях – 86,6%).

Це свідчить про те, що відсутність капітального ремонту житла у майже половини домогосподарств України може вказувати на недостатність та неповноту заходів, необхідних для покращення його характеристик, включаючи енергетичні. Недостатня теплотехнічна ефективність житлових будинків, яка виникає через відсутність їхнього капітального ремонту, призводить до значних втрат теплової енергії (до 50%). За результатами енергетичних обстежень, тепловтрати в житлових будинках масового зведення минулих років через стіни становлять 42%, через вікна – 16%, через дах – 7%, через підвал – 5%, а в процесі повітрообміну – 30% [2]. Фактична ефективність використання теплової енергії в будівлях України виявляється у 3–5 разів нижчою, ніж у західних країнах [3].

Експерти встановили, що в Україні споживання енергії на опалення та гаряче водопостачання на одиницю площі значно вище, ніж у країнах Європи з аналогічним кліматом. Наприклад, середнє споживання енергії на опалення в країнах ЄС становить  $130 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^2$ , тоді як в Україні цей показник досягає  $264 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^2$  [3].

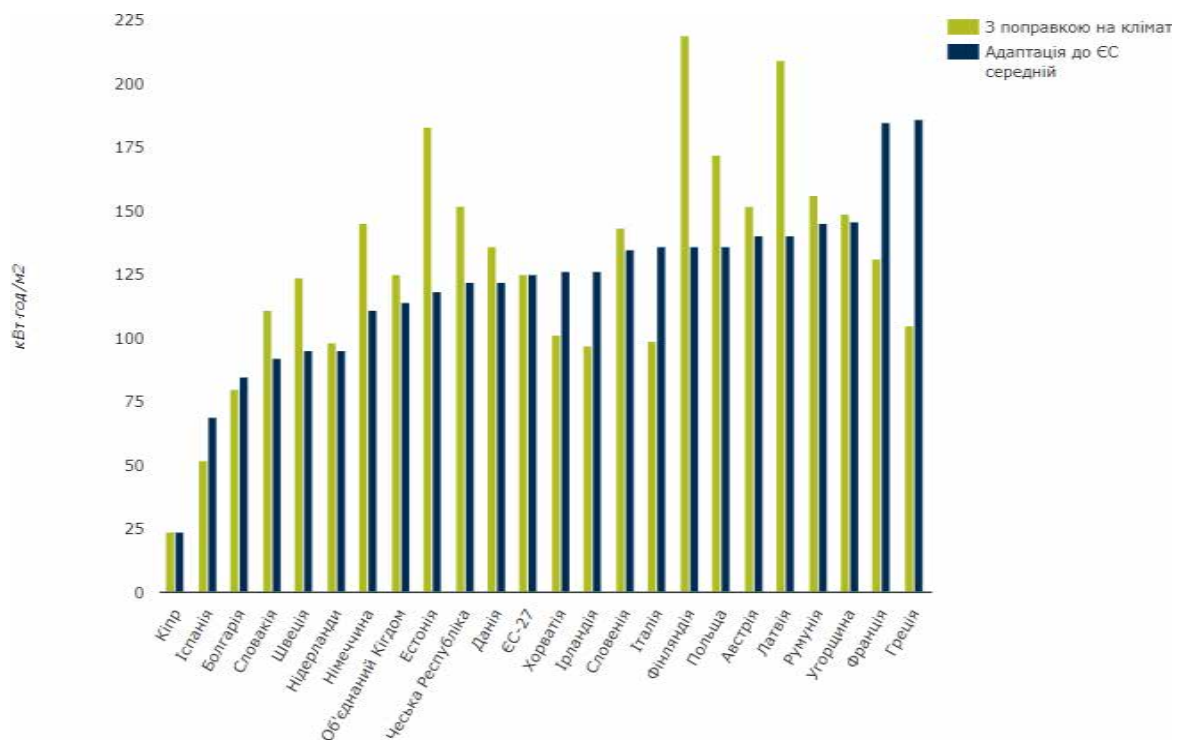


Рис. 1.2. Енергоспоживання домогосподарств на опалення країнами ЄС

[4]

У Європейському Союзі визнано, що підвищення енергоефективності є однією з ключових умов для досягнення сталого розвитку. Для поліпшення енергетичної ефективності будівельних об'єктів в країнах ЄС постійно зростають вимоги до обсягів кінцевого енергоспоживання. Починаючи з 2019 року, заборонено будівництво житлових будинків, споживання яких перевищує  $60 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^2$  для аналогічних кліматичних умов, подібних до України [5].

З 2020 року в Європі відбувається широкомасштабний перехід до спорудження будівель за стандартами NZEB (Nearly zero-energy buildings) тобто будівель з майже нульовим рівнем енергоспоживання. Енергоспоживання таких будівель має сягати не більше  $15 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^2$ .

У 2020 році Кабінет Міністрів України розробив та затвердив Концепцію реалізації державної політики в сфері забезпечення енергетичної ефективності будівель.

За розрахунками Держенергоефективності встановлено, що проведення всебічної термомодернізації житлових будинків України сприятиме зменшенню обсягів енергоспоживання на половину в порівнянні з поточним рівнем [5].

Державний контроль за рівнем використання енергетичних ресурсів у будівельній галузі відбувається шляхом оцінки енергетичних характеристик будівель. Таким чином, оцінка рівня енергоспоживання під час проектування, будівництва та експлуатації стала основною визначальною ознакою їх енергоефективності. Розрахункові показники щорічного енергоспоживання використовуються для енергетичної сертифікації та складання паспортів будівель, відбору інвестиційних проектів з покращення енергоефективності, планування майбутніх витрат на енергоносії та демонстрації відповідності конкретним вимогам до енергетичних характеристик та для демонстрації відповідності певним вимогам до енергетичних показників [6].

Європейський Союз працює над значним зменшенням споживання енергії, сприяючи глобальній меті стати кліматично нейтральним до 2050 року.

Україна визначила стратегію сталого розвитку до 2030 року, яка передбачає зниження використання енергоресурсів у будівлях на 15% через впровадження термомодернізації. Фахівці у сфері сталого будівництва також підтримують модернізацію застарілих об'єктів, оскільки реконструкція виявляється більш вигідним процесом, ніж спорудження нових "зелених" будівель на їхньому місці. Цей процес включає теплоізоляцію стін та даху, заміну вікон, встановлення сонячних панелей, вентиляційних систем з рекуперацією тепла та інші заходи [7].

Відповідно до Закону України "Про енергетичну ефективність", у новозбудованих чи після капітального ремонту об'єктах клас енергоефективності повинен становити не менше "С" (загалом існує сім класів, де "А" – найвищий, а "G" – найнижчий). В основному найнижчий клас енергоефективності G серед усіх сертифікованих будівель мають житлові будівлі (47,2%), навчальні заклади (59,7%) та заклади охорони здоров'я (46,2%) [8].

З січня 2024 року в Україні розпочала свою діяльність Державний фонд декарбонізації та енергоефективної трансформації. Це нове затверджене законом джерело фінансування надасть додаткові засоби для впровадження програм енергоефективності та зменшення викидів вуглецю в країні.

## **1.2. Взаємодія елементів будівлі як складових енергетичної системи**

Однією з найважливіших вимог до сучасних будівель є рівень їх енергетичної ефективності [9], тобто мінімальних витрат енергії на підтримку теплового комфорту в приміщеннях, у нерозривному зв'язку з автоматичним регулюванням систем опалення [10].

Зазначене викликано, перш за все, розумінням та практичним підтвердженням суттєвої ролі автоматичного регулювання у зниженні теплоспоживання будівель та доведення його до нормованого значення [11]. Щоб виконати необхідні вимоги щодо забезпеченості внутрішніх параметрів мікроклімату приміщень [12] (таблиця Д.4), необхідно правильно спроектувати теплозахисні властивості зовнішніх огорожень, розрахувати теплову потужність системи опалення, відправним моментом в якому будуть розрахункові зовнішні умови [13]. Розрахункові параметри мікроклімату приміщень залежать від їх функціонального призначення і санітарного гігієнічних вимог. Для більшості житлових і громадських будівель ці умови приблизно однакові. При цьому, визначальним фактором підвищення рівня енергоефективності будівлі є дослідження взаємовпливу згаданих параметрів з урахуванням положень [14,15].

Результати дослідження впливу теплової інерції приміщення наведено в статті [16], де врахування показника внутрішньої теплоємності будівлі, на прикладі навчально-адміністративного корпусу Національного університету біоресурсів і природокористування України (НУБіП України), дозволяє уникнути перевитрат енергії на рівні близько 10-12 %. У цьому напрямі, досліджено зміну умов комфортності приміщень від інерційності зовнішніх огорожувальних конструкцій будівлі при роботі системи опалення в енергоощадних режимах [17], а також залежність умов комфортності громадських будівель з різним ступенем теплового захисту зовнішніх огорожувальних конструкцій в умовах роботи системи опалення споруди в черговому режимі [18], його вплив на динаміку енергопотреби.

Проведено дослідження теплового комфорту будівлі після її термомодернізації з використанням відновлюваної енергії [19,20] та з урахуванням положень відповідних стандартів, норм та методик [21,22,23].

Схема взаємодії елементів будівлі, як енергетичної системи, наведена на рис. 1.3. Основний вплив на формування теплового комфорту і, відповідно, рівня енергетичної ефективності будівлі, здійснює її теплоізоляційна оболонка, від властивостей якої залежить вибір параметрів підсистеми опалення.

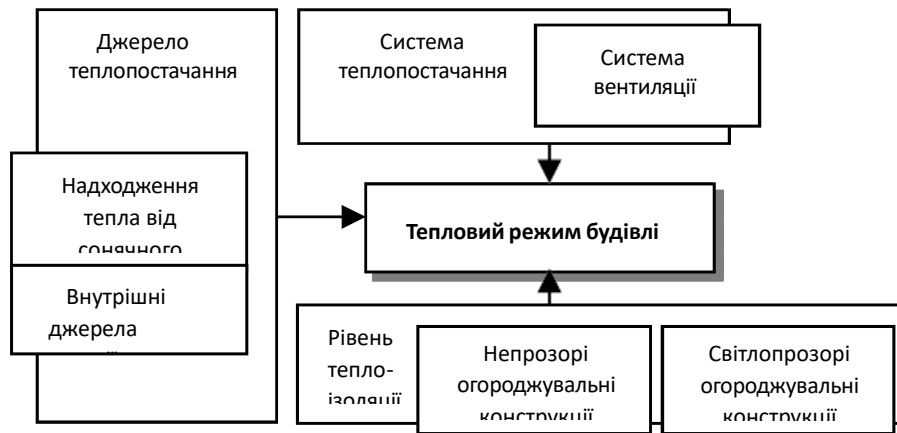


Рис. 1.3. Взаємодія основних підсистем будівлі з точки зору їх впливу на рівень енергоефективності [24]

Адекватність оцінки рівня енергоефективності будівель, деталізація показників енергетичного стану у значній мірі залежать від використання математичних моделей будівлі, складність яких визначається задачами, що вирішуються. Тенденції розвитку математичних моделей для визначення енергетичного стану будівлі спрямовані на зменшення часових інтервалів та в напрямку визначення локалізації характеристик системи і впливових факторів [25]. Сучасні комп'ютерні методи і засоби енергетичного моделювання будівлі на основі ВЕМ-моделей (Building Energy Modeling) – це універсальний, багатоцільовий інструмент, що дозволяє проводити керування енергоспоживання в умовах реального часу. ВЕМ використовується в ґрунтовному аналізі енергоефективності будівлі та розробці стратегій (політики енергоефективності). Основним аспектом ВЕМ-моделювання є визначення енергопотреб з урахуванням внутрішньоекологічних показників (термічний і візуальний комфорт, якість повітря в приміщенні і т.д.) [26].

Серед найбільш потужних програмних продуктів реалізованих на принципах BEM моделювання є BLAST, DOE-2, ESP-r, HVACSIM+, TRNSYS, EnergyPlus та інші [27]. BEM моделювання дозволяє розглядати будівлю як енергетичну систему, що алогічно стандартам Європи, які активно впроваджуються і в Україні. Тут будівля, як складна енергетична система, розглядається як сукупність зовнішнього клімату, інженерних систем, оболонки, людини, як індикатор умов комфортності та енергетичних процесів в приміщеннях будівлі.

Одним з найбільш популярних підходів до оцінки енергетичних показників будівель є використання програми EnergyPlus разом з користувацьким інтерфейсом DesignBuilder. В основу математичної постановки покладено систему рівнянь теплообміну між повітрям в приміщенні та зовнішнім середовищем за рахунок трансмісійної теплопередачі та радіаційного теплообміну огорожень з урахуванням нестационарних процесів акумуляції енергії в елементах конструкцій будівлі [28]. Але в моделі не розглядається вплив параметрів зовнішнього клімату, які для зими є визначальними, наприклад температура зовнішнього повітря  $t_{z.n}$ , і швидкість вітру  $v$ . У деяких розрахунках додатково до них слід враховувати відносну вологість  $\varphi$ , і ентальпію  $i$ , зовнішнього повітря, а також сонячну радіацію, напрямок вітру, з коригуванням на висоту будівлі але така можливість відсутня в існуючій моделі будівлі.

Для оцінки рівня теплового комфорту широко застосовується метод, представлений у стандарті ISO 7730, що ґрунтується на рівняннях теплового балансу для людського тіла [29]. Однак тут не прописаний механізм терморегуляції, що є суттєвим при розрахунку теплообміну людини.

Таким чином, з метою підвищення енергоефективності будівель шляхом впровадження інформаційної технології їх енергоаудиту для досягнення цілей зниження енергоспоживання з одночасним забезпеченням параметрів мікроклімату приміщень у другому розділі буде розроблено математичну модель теплового режиму і розрахунку втрат теплоти будівлею з урахуванням параметрів, які не входять до наявних на сьогодні методик.

Удосконалена модель враховуватиме погодні дані місцевості, геометрію та теплофізичні властивості будівлі, внутрішні тепловиділення від освітлення, людей, обладнання, технічні характеристики системи теплопостачання, вентиляції та охолодження, графіки експлуатації і нормовані параметри мікроклімату приміщень.

### **1.3. Висновки до розділу 1**

Сектор житлових та громадських будівель в Україні має значний потенціал для підвищення енергоефективності та являється одним з найбільших споживачів енергії в країні. В країнах ЄС та США важливу увагу приділяють не лише питанням термомодернізації оболонки будівлі, а й дослідженню питань повітрообміну в будівлях. В Україні питання, пов'язані з дослідженням кратності повітрообміну в будівлях потребують розвитку. Кратність повітрообміну відіграє важливу роль не лише з точки зору впливу на енергоефективність будівлі, а й з точки зору забезпечення якості повітря в приміщеннях, та умов мікроклімату.

Розглянуто основні інформативні показники та моделі енергоефективності будівель, встановлено, що в математичних моделях теплового режиму і розрахунку втрат теплоти доцільно враховувати погодні дані місцевості, геометрію та теплофізичні властивості будівлі, внутрішні тепловиділення, технічні характеристики системи теплопостачання, вентиляції та охолодження, графіки експлуатації і нормовані параметри мікроклімату приміщень.

## РОЗДІЛ 2

### ТЕПЛОВИЙ РЕЖИМ БУДІВЕЛЬ З УРАХУВАННЯМ ТЕПЛОВОЇ ІНЕРЦІЇ ОБОЛОНКИ БУДІВЛІ

#### 2.1. Модель теплового режиму будівлі

Відповідно до методології системного аналізу модель теплового режиму будівлі, як єдиної теплоенергетичної системи, доцільно представити у вигляді трьох взаємопов'язаних моделей, більш зручних для вивчення (рис. 2.1).

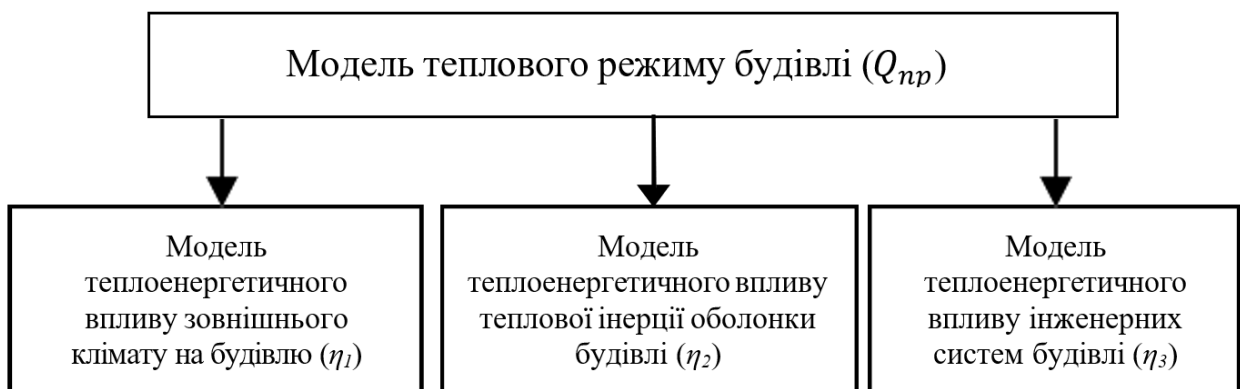


Рис. 2.1. Модель теплового режиму будівлі

З урахуванням прийнятого поділу моделі теплового режиму будинку, як єдиної теплоенергетичної системи, на три взаємозалежних підмоделі можна записати:

$$Q_{np} = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3, \quad (2.1)$$

де:  $\eta_1$  – показник теплоенергетичної ефективності впливу зовнішніх кліматичних параметрів (температура, швидкість та напрям вітру, рівень сонячної радіації) на будівлю;  $\eta_2$  – показник теплоенергетичної ефективності оптимального вибору тепло- і сонцезахисних характеристик зовнішніх огорожувальних конструкцій, а також їх масивності;  $\eta_3$  – показник

теплоенергетичної ефективності оптимального вибору систем забезпечення мікроклімату та рівня їх автоматизації.

*Модель теплоенергетичного впливу зовнішнього клімату на будівлю ( $\eta_1$ ).* Це сукупність кліматичних параметрів, внутрішніх виділень і поглинань тепла, теплозахисні властивості огорожень. При розрахунку передачі тепла через огороження дію цих факторів необхідно враховувати спільно: для зими визначальними параметрами клімату, наприклад, є температура зовнішнього повітря  $t_{z,n}$ , і швидкість вітру  $v$ . У деяких розрахунках додатково до них слід враховувати відносну вологість  $\varphi$ , і ентальпію  $i$ , зовнішнього повітря, а також сонячну радіацію, напрямок вітру, з коригуванням на висоту будівлі [30].

*Модель теплоенергетичного впливу теплової інерції оболонки будівлі ( $\eta_2$ ).* Тут особлива увага, безумовно, має бути спрямована на термомодернізацію будівель з метою доведення наявного рівня опорів теплопередачі зовнішніх огорожувальних конструкцій до нормованих значень  $R_{qmin}$ , які визначені положенням діючих норм [15] і повністю задовольняють вимоги таблиці А.1 Додатка А. Таким чином, з урахуванням зазначеного, показник теплоенергетичної ефективності в частині оптимального вибору тепло- і сонцезахисних характеристик зовнішніх огорожувальних конструкцій -  $\eta_2 = 1$ , при умові що:

$$R_{\Sigma np} \geq R_{qmin}, \quad (2.2)$$

де  $R_{\Sigma np}$  — приведений опір теплопередачі непрозорої чи світлопрозорої огорожувальної конструкції,  $m^2 \cdot K/Вт$ .

Показник теплоенергетичної ефективності в частині впливу масивності огорожувальних конструкцій буде розглянуто разом із наступною моделлю з урахуванням значень температур зовнішнього повітря, залежно від

теплоємності будівлі, визначеної за [31], які наведені у таблиці А.2 Додатка А.

*Модель теплоенергетичного впливу інженерних систем будівлі ( $\eta_3$ ).*  
Ефективність використання теплової енергії системою опалення представлена в міжнародному стандарті [32].

Аналогічний до методу використання ефективності, адаптованому із німецького стандарту DIN 18599, підхід є і у введеному в дію з 01.03.2023 року національному стандарті ДСТУ 9190:2022 «Енергетична ефективність будівель. Метод розрахунку енергоспоживання під час опалення, охолодження, вентиляції, освітлення та гарячого водопостачання» [31].

Нижче, на рис. 2.2-2.3, наведені графічні залежності, які враховують вплив внутрішньої теплоємності будівлі, визначеної за [31], і способів балансування системи опалення на тепловий режим та економію теплової енергії досліджуваною будівлею. За базовий варіант порівняння прийнято однотрубну неналагоджену систему.

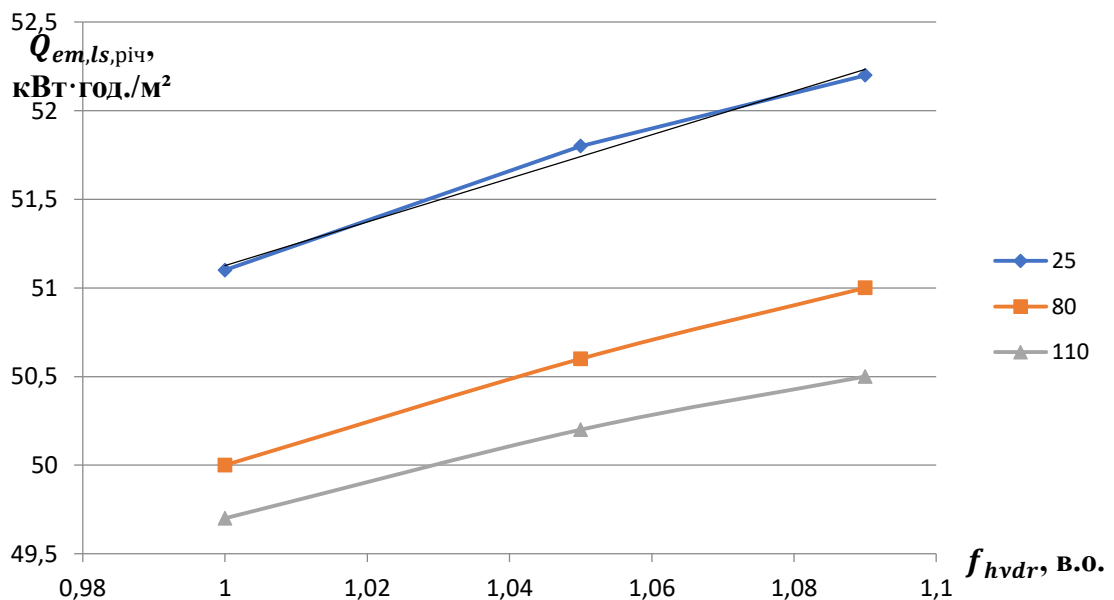


Рис. 2.2. Вплив внутрішньої теплоємності будівлі, визначеної за [31], і способів балансування системи опалення на тепловий режим будівлі (при умові, що  $K_{з(РD)} = 1,0$ ), Вт·год/(м<sup>2</sup>·К):  $\blacklozenge$  –  $C = 25$ ;  $\blacksquare$  –  $C = 80$ ;  $\blacktriangle$  –  $C = 110$

Виходячи з аналізу результатів наведених на рисунку 2.2, можна стверджувати, що зі збільшенням величини внутрішньої теплоємності будівлі, менш відчутним стає зменшення питомого споживання енергії будівлею, порівняно із менш масивними будівлями (легкої та дуже легкої конструкцій). Так, для будівель із показником внутрішньої теплоємності будівлі  $C = 110 \text{ Вт} \cdot \text{год}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ , питомий показник зниження енергоспоживання будівлею становить 0,8 тис. кВт·год./м<sup>2</sup>, тоді як для будівель із показником внутрішньої теплоємності будівлі  $C = 80 \text{ Вт} \cdot \text{год}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$  та  $C = 25 \text{ Вт} \cdot \text{год}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$  - питоме зниження енергоспоживання будівлею склало 1,0 тис. кВт·год./м<sup>2</sup> та 1,1 тис. кВт·год./м<sup>2</sup> в рік відповідно.

Зазначене ілюструють графіки оцінки впливу внутрішньої теплоємності будівлі і способів балансування системи опалення на економію теплової енергії будівлею, які зображені на рисунку 2.3.

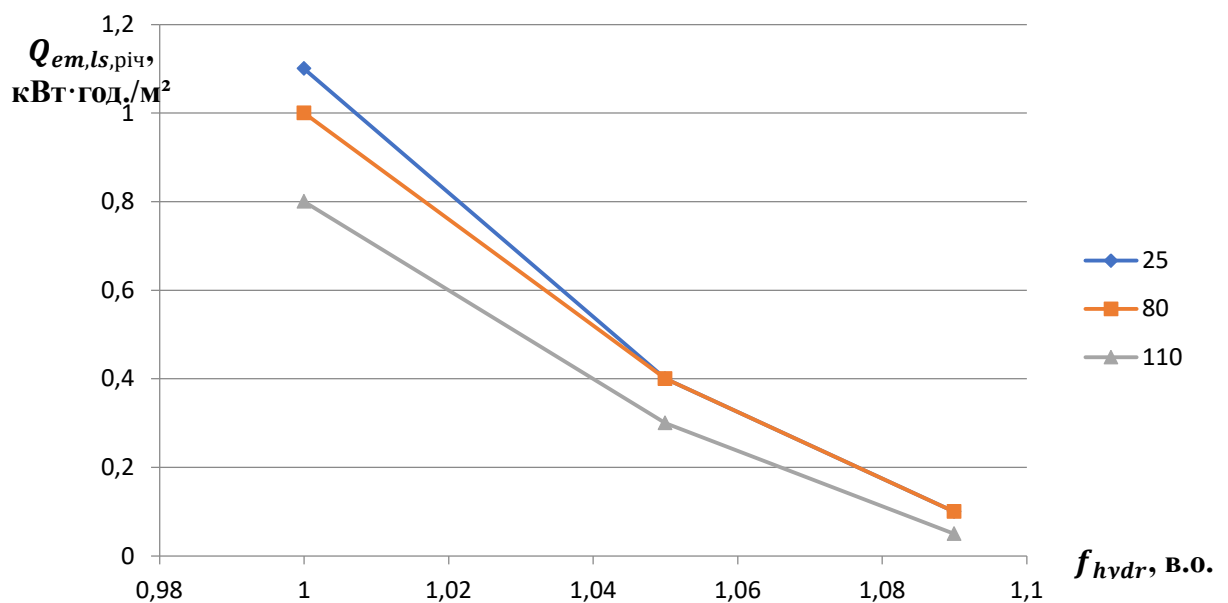


Рис. 2.3. Вплив внутрішньої теплоємності будівлі, визначеної за [31], і способів балансування системи опалення на економію теплової енергії будівлею (при умові, що  $K_{з(РD)} = 1,0$ ), Вт·год/(м<sup>2</sup>·К): ◆ –  $C = 25$ ; ■ –  $C = 80$ ; ▲ –  $C = 110$

У відсотковому вираженні рівень економії спожитої енергії після балансування системи опалення для будівлі дуже легкої конструкції

(показник внутрішньої теплоємності будівлі  $C = 25 \text{ Вт} \cdot \text{год}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ ) склав 2%, для будівель важкої та дуже важкої конструкцій (показник внутрішньої теплоємності будівлі  $C = 80 \text{ Вт} \cdot \text{год}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$  та  $C = 110 \text{ Вт} \cdot \text{год}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$  відповідно) – 2,2%.

## **2.2. Висновки до розділу 2**

Запропонована модель теплового режиму будівлі, як єдиної теплоенергетичної системи з урахуванням трьох її підсистем: моделі теплоенергетичного впливу зовнішнього клімату на будівлю ( $\eta_1$ ), моделі теплоенергетичного впливу теплової інерції оболонки будівлі ( $\eta_2$ ) та моделі теплоенергетичного впливу інженерних систем будівлі ( $\eta_3$ ).

Проведено оцінювання економії теплової енергії при застосуванні різних варіантів автоматичного балансування – для однотрубною системи опалення з постійним гідравлічним режимом та окремо для однотрубною систем опалення зі змінним гідравлічним режимом.

### РОЗДІЛ 3

## ТЕПЛО-ВОЛОГІСНИЙ РЕЖИМ ЗОВНІШНІХ ОГОРОДЖУВАЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ БУДІВЛІ

Вологісний стан матеріалів огороджувальної конструкції визначає її довговічність, придатність конструкції до експлуатації, рівень теплових потоків в опалювальний період року і, відповідно, характеристики енергоефективності та теплової надійності. Тому, вже на етапі проектування зовнішніх огорожень треба вживати заходів щодо запобігання можливості зволоження матеріалів огороджувальної конструкції, виключення можливості конденсації водяної пари як на внутрішній поверхні, так і в товщі огороження. Все це свідчить про виняткову важливість проектних розрахунків вологісного режиму огороджувальних конструкцій [33].

При проектуванні теплоізоляційної оболонки існуючих будинків на основі багатошарових конструкцій, під час їх термомодернізації чи капітального ремонту, існує потреба у виборі оптимальної товщини утеплювача та місця його розташування (з внутрішньої чи зовнішньої сторони зовнішньої стіни будівлі). Згідно з [ДБН В.2.6-33](#) та ДСТУ Б В.2.6-34, шари із теплоізоляційних матеріалів слід розташовувати з зовнішньої сторони несучої частини стіни, використовуючи при цьому конструкції зовнішніх стін з фасадною теплоізоляцією. Застосовувати конструктивні рішення з шарами із теплоізоляційних матеріалів з внутрішньої сторони конструкції не рекомендується через можливе надмірне накопичення вологи в теплоізоляційному шарі, що призводить до незадовільного тепловологісного стану конструкції й приміщення в цілому, а також до зниження теплової надійності оболонки будинку.

Зважаючи на особливий статус питання, Науково-дослідним інститутом будівельних конструкцій (НДІБК) було розроблено автоматизовану програму розрахунків для оцінки вологісного режиму зовнішніх огорожень. Програма називається «Вологісний режим огороджувальних конструкцій» і призначена

для прикладних розрахунків інженерами-проектувальниками вологісного режиму згідно з алгоритмом ДБН В.2.6-31. При розробці програми враховувався позитивний досвід аналогічної розробки – комп'ютерної версії програми розрахунку Енергетичного паспорта будинку.

Результатом розрахунків є графічне представлення розподілу по товщині конструкції її температурно-вологісних показників з наведенням інформації щодо можливості конденсації вологи, шару матеріалу, де відбувається конденсація та відносне збільшення його вологості [33].

Однак, на сьогодні, для більшості типових конструкцій у відкритому доступі відсутні графічні представлення розподілу по товщині конструкції її температурно-вологісних показників, що вказує на необхідність щоразу виконувати розрахунки щодо оцінки вологісного режиму зовнішніх огорожень.

### **3.1. Вихідні дані для проведення розрахунків**

Для проведення досліджень, вихідними умовами будуть наступні характеристики зовнішніх стін будівлі житлової будівлі: із кладки керамічної повнотілої цегли, товщиною 510 мм, утеплюються мінераловатними плитами, товщиною 150 мм, по клеючому розчину Ceresit, товщиною 5 мм, зовнішнього оздоблення (клеючого розчину Ceresit, товщиною 2 мм, та декоративної штукатурки, товщиною 2,5 мм) і внутрішньої цементно-піщаної штукатурки ( $\delta = 20$  мм).

Будівля розташована у м. Київ. Кліматичні дані для подальших розрахунків прийняті згідно [13, 15, 31].

Для виконання розрахунків було використано онлайн-застосунок CadEE.pro ver. 2025.8.2 (<https://cadee.pro/>).

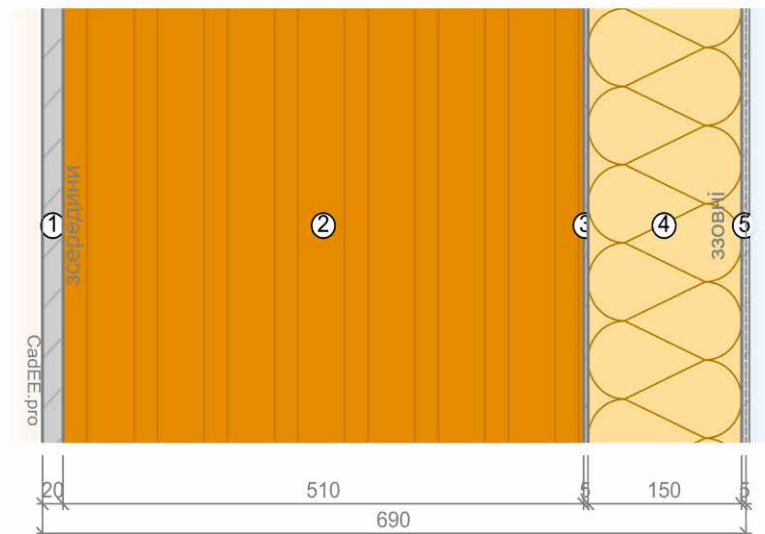


Рис. 3.1. Розріз огорожувальної конструкції

Вологісні умови експлуатації матеріалів огорожувальної конструкції визначено згідно з додатком Б ДБН В.2.6-31:2021. Призначення будівлі - багатоквартирний будинок, для якої згідно з т.Б.2 ДБН В.2.6-31:2021 розрахункові значення температури і вологості приміщень  $\theta_{int} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $\phi_{int} = 55 \%$  відповідно. Вологісний режим приміщень приймаємо згідно з т.Б.1 ДБН В.2.6-31:2021 - нормальний, а також враховуючи, що конструкція зовнішня, то умови експлуатації згідно з т.Б.3 ДБН В.2.6-31:2021 - Б.

Розрахункові характеристики матеріалів конструкції визначаємо згідно з додатком А ДСТУ 9191:2022.

Таблиця 3.1. Розрахункові характеристики матеріалів шарів конструкції

№	Назва шару	Товщина, (м)	Теплопровідність $\lambda$ , Вт/(м <sup>2</sup> К)
1	Розчин цементно-піщаний	0.02	0.93
2	Кладка з цегли керамічної повнотілої звичайної на ц/п розчині $\rho=1800 \text{ кг/м}^3$	0.51	0.81
3	Розчин складний (пісок, вапно, цемент)	0.005	0.87
4	Мінеральна вата (базальтове волокно) $\rho=125 \text{ кг/м}^3$	0.15	0.045
5	Розчин складний (пісок, вапно, цемент)	0.005	0.87

Коефіцієнти тепловіддачі визначаємо згідно з таблицею Б додатку Б ДСТУ 9191:2022. Для конструкції типу - стіна, розрахункові значення коефіцієнтів тепловіддачі внутрішньої та зовнішньої поверхонь огорожувальних конструкцій прийнято:

$$h_{si} = 8.7 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}} \quad h_{se} = 23 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}} \quad (3.1)$$

Визначаємо опір теплопередачі конструкції згідно з формулою 2 ДСТУ 9191:2022:

$$R_s = \frac{1}{h_{si}} + \frac{d_1}{\lambda_{p1}} + \frac{d_2}{\lambda_{p2}} + \frac{d_3}{\lambda_{p3}} + \frac{d_4}{\lambda_{p4}} + \frac{d_5}{\lambda_{p5}} + \frac{1}{h_{se}} = \frac{1}{8.7} + \frac{0.02}{0.93} + \frac{0.51}{0.81} + \frac{0.005}{0.87} + \frac{0.15}{0.045} + \frac{0.005}{0.87} + \frac{1}{23} = 4.154 \text{ м}^2 \cdot \frac{\text{К}}{\text{Вт}} \quad (3.2)$$

Загальна площа огорожувальної конструкції, обчислена за внутрішнім виміром із додаванням площ внутрішніх укосів прорізів та відніманням площ прорізів та площа термічно однорідної частини непрозорої конструкції, що не містить площі внутрішніх укосів прорізів дорівнюють відповідно:

$$A_{\Sigma} = 1 \text{ м}^2 \quad A_1 = 1 \text{ м}^2 \quad (3.3)$$

На фрагменті, що розглядається, відсутні теплопровідні включення, що відносяться до непрозорої огорожувальної конструкції.

Визначаємо приведений опір теплопередачі конструкції згідно з формулою 1 ДСТУ 9191:2022:

$$R_{\Sigma \text{пр}} = \frac{A_{\Sigma}}{\left(\frac{A_1}{R_s}\right)} = \frac{1}{\left(\frac{1}{4.154}\right)} = 4.154 \text{ м}^2 \cdot \frac{\text{К}}{\text{Вт}} \quad (3.4)$$

Визначимо мінімально допустиме значення приведенного опору теплопередачі згідно з ДБН В.2.6-31:2021. Температурна зона згідно з додатком А ДБН В.2.6-31:2021 - І (м. Київ). Допустиме значення опору теплопередачі визначаємо з таблиці 1 ДБН В.2.6-31:2021 (як для типу конструкції - стіна, та типу будівлі - багатоквартирний будинок):

$$R_{qmin} = 4.00 \left( \text{м}^2 * \frac{\text{К}}{\text{Вт}} \right) \quad (3.5)$$

Оскільки:

$$R_{\Sigma пр} = 4.15 \text{ м}^2 * \frac{\text{К}}{\text{Вт}} > R_{qmin} = 4.00 \text{ м}^2 * \frac{\text{К}}{\text{Вт}} \quad (3.6)$$

то умова (4) ДБН В.2.6-31:2021 виконується.

Визначення розподілу температури в товщині конструкції згідно з формулою (5) ДСТУ Б В.2.6-192:2013:

$$\begin{aligned} R_1 &= \frac{d_1}{\lambda_{p1}} = \frac{0.02}{0.93} = 0.02151 \text{ м}^2 * \frac{\text{К}}{\text{Вт}} \\ R_2 &= \frac{d_1}{\lambda_{p1}} + \frac{d_2}{\lambda_{p2}} = \frac{0.02}{0.93} + \frac{0.51}{0.81} = 0.651 \text{ м}^2 * \frac{\text{К}}{\text{Вт}} \\ R_3 &= \frac{d_1}{\lambda_{p1}} + \frac{d_2}{\lambda_{p2}} + \frac{d_3}{\lambda_{p3}} = \frac{0.02}{0.93} + \frac{0.51}{0.81} + \frac{0.005}{0.87} = 0.657 \text{ м}^2 * \frac{\text{К}}{\text{Вт}} \\ R_4 &= \frac{d_1}{\lambda_{p1}} + \frac{d_2}{\lambda_{p2}} + \frac{d_3}{\lambda_{p3}} + \frac{d_4}{\lambda_{p4}} = \frac{0.02}{0.93} + \frac{0.51}{0.81} + \frac{0.005}{0.87} + \frac{0.15}{0.045} = 3.99 \text{ м}^2 * \frac{\text{К}}{\text{Вт}} \\ R_5 &= \frac{d_1}{\lambda_{p1}} + \frac{d_2}{\lambda_{p2}} + \frac{d_3}{\lambda_{p3}} + \frac{d_4}{\lambda_{p4}} + \frac{d_5}{\lambda_{p5}} = \frac{0.02}{0.93} + \frac{0.51}{0.81} + \frac{0.005}{0.87} + \frac{0.15}{0.045} + \frac{0.005}{0.87} \\ &= 3.996 \text{ м}^2 * \frac{\text{К}}{\text{Вт}} \\ \theta_{ext} &= -22.00 \text{ } ^\circ\text{C}; \end{aligned} \quad (3.7)$$

Температура в площинах на межі шарів:

$$\begin{aligned}
 \theta_0 &= \theta_{int} - \left( \frac{\theta_{int} - \theta_{ext}}{R_s} \right) * \left( \frac{1}{h_{si}} \right) = 20 - \left( \frac{20 - -22}{4.154} \right) * \left( \frac{1}{8.7} \right) = 18.838 \text{ } ^\circ\text{C} \\
 \theta_1 &= \theta_{int} - \left( \frac{\theta_{int} - \theta_{ext}}{R_s} \right) * \left( \frac{1}{h_{si}} + R_1 \right) = 20 - \left( \frac{20 - -22}{4.154} \right) * \left( \frac{1}{8.7} + 0.02151 \right) \\
 &= 18.621 \text{ } ^\circ\text{C} \\
 \theta_2 &= \theta_{int} - \left( \frac{\theta_{int} - \theta_{ext}}{R_s} \right) * \left( \frac{1}{h_{si}} + R_2 \right) = 20 - \left( \frac{20 - -22}{4.154} \right) * \left( \frac{1}{8.7} + 0.651 \right) \\
 &= 12.255 \text{ } ^\circ\text{C} \\
 \theta_3 &= \theta_{int} - \left( \frac{\theta_{int} - \theta_{ext}}{R_s} \right) * \left( \frac{1}{h_{si}} + R_3 \right) = 20 - \left( \frac{20 - -22}{4.154} \right) * \left( \frac{1}{8.7} + 0.657 \right) \\
 &= 12.197 \text{ } ^\circ\text{C} \\
 \theta_4 &= \theta_{int} - \left( \frac{\theta_{int} - \theta_{ext}}{R_s} \right) * \left( \frac{1}{h_{si}} + R_4 \right) = 20 - \left( \frac{20 - -22}{4.154} \right) * \left( \frac{1}{8.7} + 3.99 \right) \\
 &= -21.502 \text{ } ^\circ\text{C} \\
 \theta_5 &= \theta_{int} - \left( \frac{\theta_{int} - \theta_{ext}}{R_s} \right) * \left( \frac{1}{h_{si}} + R_5 \right) = 20 - \left( \frac{20 - -22}{4.154} \right) * \left( \frac{1}{8.7} + 3.996 \right) = \\
 &= -21.56 \text{ } ^\circ\text{C} \tag{3.8}
 \end{aligned}$$

Температурний перепад між температурою внутрішнього повітря та приведеною температурою внутрішньої поверхні огорожувальної конструкції:

$$\Delta\theta_{int_{si}} = \theta_{int} - \theta_0 = 20 - 18.838 = 1.162 \text{ } ^\circ\text{C} \tag{3.9}$$

Температуру точки роси визначаємо за умов, коли температура повітря  $\theta_{int}$  дорівнює  $20 \text{ } ^\circ\text{C}$ , а відносна вологість становить 55%.

$$\theta_D = 237.7 * \frac{17.27 * \frac{\theta_{int}}{237.7 + \theta_{int}} + \ln\left(\frac{\varphi_{int}}{100}\right)}{17.27 - \left(\frac{\theta_{int}}{237.7 + \theta_{int}} + \ln\left(\frac{\varphi_{int}}{100}\right)\right)} = 9.92 \text{ } ^\circ\text{C} \tag{3.10}$$

Визначення допустимого значення різниці між температурою внутрішнього повітря та приведеною температурою внутрішньої поверхні огорожувальної конструкції визначаємо згідно з п. 5.4 ДБН В.2.6-31:2021:

$$\Delta\theta_{int_{si_{max}}} = 4.00 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (3.11)$$

Оскільки:

$$\Delta\theta_{int_{si}} = 1.16 \text{ } ^\circ\text{C} < \Delta\theta_{int_{si_{max}}} = 4.00 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (3.12)$$

то умова (5) ДБН В.2.6-31:2021 виконується.

Мінімально допустиме значення температури внутрішньої поверхні непрозорих огорожувальних конструкцій у зонах теплопровідних включень,  $\theta_{si,min}$ , у кутах і укосах віконних і дверних прорізів, прийнятому залежно від температурної зони експлуатації будівлі згідно з додатком А ДБН В.2.6-31:2021, повинно бути не менше ніж температура точки роси. Перевірка виконання вимог п. 5.5.1 ДБН В.2.6-31:2021.

Оскільки:

$$\theta_0 = 18.84 \text{ } ^\circ\text{C} > \theta_D = 9.92 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (3.13)$$

то умова п. 5.5.1 ДБН В.2.6-31:2021 виконується.

### **3.2. Оцінка тепловологісного стану конструкції: стіна №1**

Оцінку тепловологісного стану конструкції виконуємо згідно з вимогами ДСТУ Б В.2.6-192:2013.

Розподіл температур по товщині конструкції виконуємо згідно з ф. (5) ДСТУ Б В.2.6-192:2013. Розрахункові значення температури та відносної

вологості внутрішнього повітря визначаємо згідно з додатком Б ДБН В.2.6-31:2021

$$\theta_{int} = 20.00 \text{ } ^\circ\text{C}; \quad \varphi_{int} = 55.00 \text{ } \% \quad (3.14)$$

Розрахункові значення температури та відносної вологості зовнішнього повітря визначаємо згідно з табл. 2 та табл. 24 ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010, як для середньої місячної температури повітря в січні для міста Київ (п.4.2.4.4 та п.4.2.4.3 ДСТУ Б В.2.6-192:2013).

Таблиця 3.2. Середньомісячні значення температури та відносної вологості зовнішнього повітря для м. Київ

Місяць	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Температура, °C	-4.7	-3.6	1	9	15.2	18.3	19.8	19	13.9	8.1	1.9	-2.5
Відносна вологість, %	83	79	74	66	62	68	69	68	74	77	84	85

Опір теплопередачі  $R_s$  огорожуючої конструкції визначено згідно з формулою (2). Коефіцієнти тепловіддачі визначено згідно з формулою (1)

Визначимо опір теплопередачі в площинах на межі шарів:

$$x_1 = 0.02 \text{ м}; \quad \lambda_{p1} = 0.93 \frac{\text{Вт}}{\text{м} * \text{К}}$$

$$R_1 = \frac{d_1}{\lambda_{p1}} = \frac{0.02}{0.93} = 0.02151 \text{ м}^2 * \frac{\text{К}}{\text{Вт}}$$

$$x_2 = 0.53 \text{ м}; \quad \lambda_{p2} = 0.81 \frac{\text{Вт}}{\text{м} * \text{К}}$$

$$R_2 = \frac{d_1}{\lambda_{p1}} + \frac{d_2}{\lambda_{p2}} = \frac{0.02}{0.93} + \frac{0.51}{0.81} = 0.651 \text{ м}^2 * \frac{\text{К}}{\text{Вт}}$$

$$x_3 = 0.54 \text{ м}; \quad \lambda_{p3} = 0.87 \frac{\text{Вт}}{\text{м} * \text{К}}$$

$$R_3 = \frac{d_1}{\lambda_{p1}} + \frac{d_2}{\lambda_{p2}} + \frac{d_3}{\lambda_{p3}} = \frac{0.02}{0.93} + \frac{0.51}{0.81} + \frac{0.005}{0.87} = 0.657 \text{ м}^2 * \frac{\text{К}}{\text{Вт}}$$

$$\begin{aligned}
 x_4 &= 0.69 \text{ м}; \quad \lambda_{p4} = 0.04 \frac{\text{Вт}}{\text{м} * \text{К}} \\
 R_4 &= \frac{d_1}{\lambda_{p1}} + \frac{d_2}{\lambda_{p2}} + \frac{d_3}{\lambda_{p3}} + \frac{d_4}{\lambda_{p4}} = \frac{0.02}{0.93} + \frac{0.51}{0.81} + \frac{0.005}{0.87} + \frac{0.15}{0.045} = 3.99 \text{ м}^2 * \frac{\text{К}}{\text{Вт}} \\
 x_5 &= 0.69 \text{ м}; \quad \lambda_{p5} = 0.87 \frac{\text{Вт}}{\text{м} * \text{К}} \\
 R_5 &= \frac{d_1}{\lambda_{p1}} + \frac{d_2}{\lambda_{p2}} + \frac{d_3}{\lambda_{p3}} + \frac{d_4}{\lambda_{p4}} + \frac{d_5}{\lambda_{p5}} = \frac{0.02}{0.93} + \frac{0.51}{0.81} + \frac{0.005}{0.87} + \frac{0.15}{0.045} + \frac{0.005}{0.87} = 3.996 \text{ м}^2 * \\
 &\quad \frac{\text{К}}{\text{Вт}} \tag{3.15}
 \end{aligned}$$

Визначимо опори паропроникненню кожного шару і конструкції в цілому згідно з формулами (3), (4) ДСТУ Б В.2.6-192:2013. Коефіцієнт паропроникності беремо згідно з табл. А.1 ДСТУ 9191:2022

При  $x_1 = 0.02$  м:

$$R_{e1} = \frac{d_1}{\delta_1} = \frac{0.02}{0.09} = 0.2222 \frac{\text{м}^2 * \text{год} * \text{Па}}{\text{мг}}$$

При  $x_2 = 0.53$  м:

$$R_{e2} = \frac{d_1}{\delta_1} + \frac{d_2}{\delta_2} = \frac{0.02}{0.09} + \frac{0.51}{0.11} = 4.859 \frac{\text{м}^2 * \text{год} * \text{Па}}{\text{мг}}$$

При  $x_3 = 0.54$  м:

$$R_{e3} = \frac{d_1}{\delta_1} + \frac{d_2}{\delta_2} + \frac{d_3}{\delta_3} = \frac{0.02}{0.09} + \frac{0.51}{0.11} + \frac{0.005}{0.098} = 4.91 \frac{\text{м}^2 * \text{год} * \text{Па}}{\text{мг}}$$

При  $x_4 = 0.69$  м:

$$R_{e4} = \frac{d_1}{\delta_1} + \frac{d_2}{\delta_2} + \frac{d_3}{\delta_3} + \frac{d_4}{\delta_4} = \frac{0.02}{0.09} + \frac{0.51}{0.11} + \frac{0.005}{0.098} + \frac{0.15}{0.43} = 5.258 \frac{\text{м}^2 * \text{год} * \text{Па}}{\text{мг}}$$

При  $x_5 = 0.69$  м:

$$R_{e5} = \frac{d_1}{\delta_1} + \frac{d_2}{\delta_2} + \frac{d_3}{\delta_3} + \frac{d_4}{\delta_4} + \frac{d_5}{\delta_5} = \frac{0.02}{0.09} + \frac{0.51}{0.11} + \frac{0.005}{0.098} + \frac{0.15}{0.43} + \frac{0.005}{0.098} = 5.309 \frac{\text{м}^2 * \text{год} * \text{Па}}{\text{мг}} \tag{3.16}$$

Таблиця 3.3. Характеристики матеріалів шарів конструкції

№	Назва шару	Товщина, (м)	Теплопровідність $\lambda$ , Вт/(м*К)	Тепловий опір R (м <sup>2</sup> К)/Вт	Коеф. паропропускності $\delta$ мг/(м*год*Па)	Опір паропропускненню Re м <sup>2</sup> *год*Па/мг
1	Розчин цементно-піщаний	0.02	0.93	0.02151	0.09	0.2222
2	Кладка з цегли керамічної повнотілої звичайної на ц/п розчині $\rho=1800$ кг/м <sup>3</sup>	0.51	0.81	0.651	0.11	4.859
3	Розчин складний (пісок, вапно, цемент)	0.005	0.87	0.657	0.098	4.91
4	Мінеральна вата (базальтове волокно) $\rho=125$ кг/м <sup>3</sup>	0.15	0.045	3.99	0.43	5.258
5	Розчин складний (пісок, вапно, цемент)	0.005	0.87	3.996	0.098	5.309

Опір паропропускненню конструкції в цілому:

$$R_{es} = \frac{d_1}{\delta_1} + \frac{d_2}{\delta_2} + \frac{d_3}{\delta_3} + \frac{d_4}{\delta_4} + \frac{d_5}{\delta_5} = \frac{0.02}{0.09} + \frac{0.51}{0.11} + \frac{0.005}{0.098} + \frac{0.15}{0.43} + \frac{0.005}{0.098} = 5.309 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{год} \cdot \text{Па}}{\text{мг}} \quad (3.17)$$

Розрахунок вологонакопичення в місяці січень. Розрахункові значення температури та відносної вологості зовнішнього повітря визначаємо згідно з табл. 2 та табл. 24 ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010, як для середньої місячної температури повітря для міста Київ (п.4.2.4.4 та п.4.2.4.3 ДСТУ Б В.2.6-192:2013):

$$\varphi_{ext} = 83.00 \% \quad \tau = 744 \text{ год} \quad (3.18)$$

$$\theta_{ext} = -4.70 \text{ }^\circ\text{C}. \quad (3.19)$$

Температура в площинах на межі шарів:

$$\theta_0 = \theta_{int} - \left( \frac{\theta_{int} - \theta_{ext}}{R_s} \right) * \left( \frac{1}{h_{si}} \right) = 20 - \left( \frac{20 - -4.7}{4.154} \right) * \left( \frac{1}{8.7} \right) = 19.317 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\theta_1 = \theta_{int} - \left( \frac{\theta_{int} - \theta_{ext}}{R_s} \right) * \left( \frac{1}{h_{si}} + R_1 \right) = 20 - \left( \frac{20 - -4.7}{4.154} \right) * \left( \frac{1}{8.7} + 0.02151 \right) = 19.189 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\theta_2 = \theta_{int} - \left( \frac{\theta_{int} - \theta_{ext}}{R_s} \right) * \left( \frac{1}{h_{si}} + R_2 \right) = 20 - \left( \frac{20 - -4.7}{4.154} \right) * \left( \frac{1}{8.7} + 0.651 \right) = 15.445 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\theta_3 = \theta_{int} - \left( \frac{\theta_{int} - \theta_{ext}}{R_s} \right) * \left( \frac{1}{h_{si}} + R_3 \right) = 20 - \left( \frac{20 - -4.7}{4.154} \right) * \left( \frac{1}{8.7} + 0.657 \right) = 15.411 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\theta_4 = \theta_{int} - \left( \frac{\theta_{int} - \theta_{ext}}{R_s} \right) * \left( \frac{1}{h_{si}} + R_4 \right) = 20 - \left( \frac{20 - -4.7}{4.154} \right) * \left( \frac{1}{8.7} + 3.99 \right) = -4.407 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\theta_5 = \theta_{int} - \left( \frac{\theta_{int} - \theta_{ext}}{R_s} \right) * \left( \frac{1}{h_{si}} + R_5 \right) = 20 - \left( \frac{20 - -4.7}{4.154} \right) * \left( \frac{1}{8.7} + 3.996 \right) = -4.441 \text{ } ^\circ\text{C}. \quad (3.20)$$

Графік розподілу температур див. рис. 3.2.

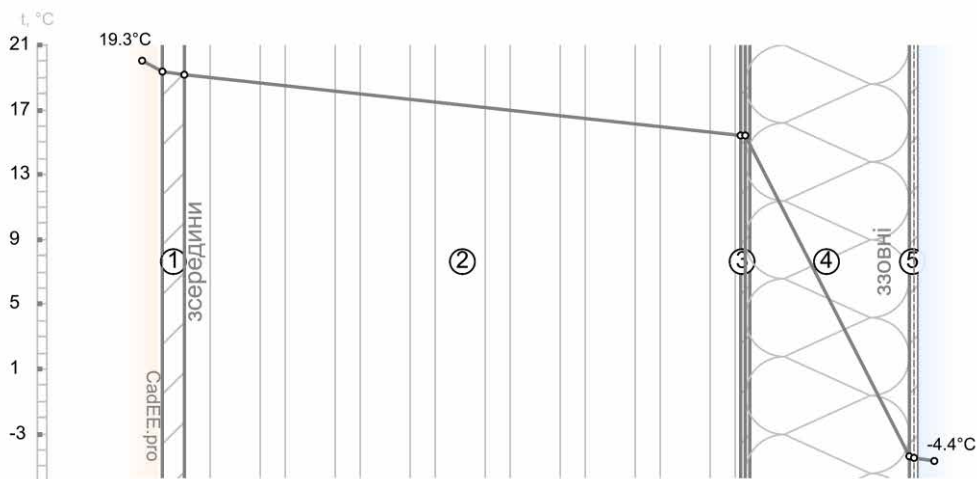


Рис. 3.2. Розподіл температур у товщині огорожуючої конструкції (січень)

Визначимо парціальний тиск насиченої водяної пари згідно з таблицею Б.1 ДСТУ Б В.2.6-192:2013. Для Внутрішньої та зовнішньої поверхні конструкції парціальний тиск насиченої водяної пари дорівнює:

$$E_B = 2240.49 \text{ Па} \quad (3.21)$$

$$E_3 = 421.43 \text{ Па} \quad (3.22)$$

Визначимо парціальний тиск водяної пари згідно з формулами (6) та (7) ДСТУ Б В.2.6-192:2013:

$$e_B = \varphi_{int} * E_B * 0.01 = 55 * 2240.488 * 0.01 = 1232.269 \text{ Па} \quad (3.23)$$

$$e_3 = \varphi_{ext} * E_3 * 0.01 = 83 * 421.427 * 0.01 = 349.785 \text{ Па} \quad (3.24)$$

Визначимо парціальний тиск насиченої водяної пари в товщині конструкції з розрахунку 11 точок на 1°C перепаду температур (п. 4.2.4.7 ДСТУ Б В.2.6-192:2013).

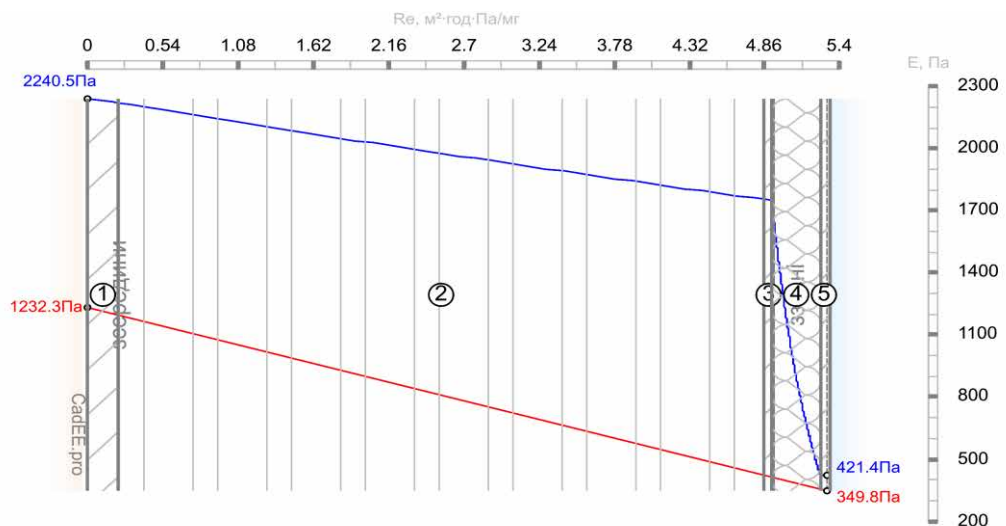


Рис. 3.3. Розподіл парціальних тисків у товщині огорожувачої конструкції (січень). На графіку лінія сіра - розподіл температури (t), синя - графік розподілу парціального тиску насиченої водою пари (E), червона - допоміжна лінія для оцінки наявності конденсації пари (e), зелена -

допоміжна лінія для оцінки кількості вологи що надходить/випаровується з конструкції.

Оскільки лінії Е та е не перетинаються то згідно з п.4.2.5 та п.4.3.3 ДСТУ Б В.2.6-192:2013, конденсація водяної пари в товщині конструкції не відбувається.

Оскільки конденсації у січні не відбувається то згідно з п.4.2.5 та п.4.3.3 ДСТУ Б В.2.6-192:2013, то умови (1) та (2) ДСТУ Б В.2.6-192:2013 вважаємо виконаними.

### 3.3. Оцінка теплостійкості в літній період: стіна №1

Оцінку теплостійкості в літній період виконуємо згідно з вимогами ДСТУ-Н Б В.2.6-190:2013.

Параметри клімату району будівництва наведені в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4. Розрахункові параметри клімату м. Київ

Назва параметра	Значення
Середня температура липня, °С (табл. 2 ДСТУ -Н Б В.1.1-27:2010)	19.80
Середня амплітуда добових коливань температури зовнішнього повітря в липні $A_{tz}$ , °С (табл. 2 ДСТУ -Н Б В.1.1-27:2010)	9.40
Максимальне значення сумарної сонячної радіації, що надходить на вертикальну поверхню західної орієнтації в липні $I_{max}$ , Вт/м <sup>2</sup> (табл. 17 ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010)	658
Середнє значення сумарної сонячної радіації, що надходить на вертикальну поверхню в липні $I_{сер}$ , Вт/м <sup>2</sup> (табл. 17 ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010)	162
Мінімальна з середніх швидкостей вітру по румбах за липень, повторюваність яких становить 16% і більше $v$ , м/с(табл. 6 ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010)	2.10

Параметри мікроклімату приміщення наведені в таблиці 3.5.

Таблиця 3.5. Розрахункові параметри мікроклімату в приміщенні (Київ)

Назва параметра	Значення
Температура внутрішнього повітря твн, °С (згідно з таблицею Б.2 ДБН В.2.6-31:2021)	20.00
Вологість внутрішнього повітря фвн, % (згідно з таблицею Б.2 ДБН В.2.6-31:2021)	55.00
Вологісний режим приміщення	нормальний

При розрахунках враховується основні шари конструкції, їхні теплофізичні характеристики приймаються згідно з Додатком А ДСТУ 9191:2022.

Теплофізичні характеристики матеріалів шарів конструкції наведені в таблиці 3.6.

Таблиця 3.6. Характеристики матеріалів шарів конструкції

№	Назва шару	Товщина, на, (м)	Густина $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	Теплопровідність $\lambda$ , Вт/(м*К). Умови експл. А	Коефіцієнт теплотривалості $s$ , Вт/(м <sup>2</sup> К). Умови експл. А
1	Розчин цементно-піщаний	0.02	1800	0.76	9.6
2	Кладка з цегли керамічної повнотілої звичайної на ц/п розчині $\rho=1800$ кг/м <sup>3</sup>	0.51	1800	0.7	9.2
3	Розчин складний (пісок, вапно, цемент)	0.005	1700	0.7	8.95
4	Мінеральна вата (базальтове волокно) $\rho=125$ кг/м <sup>3</sup>	0.15	125	0.04	0.59
5	Розчин складний (пісок, вапно, цемент)	0.005	1700	0.7	8.95

Визначення теплових характеристик шарів непрозорої огорожувальної конструкції.

Теплові опори теплопередачі шарів непрозорої огорожувальної конструкції розраховуємо з використанням значень  $\lambda$  для умов експлуатації А згідно з формулою (7) ДСТУ-Н Б.2.6-190:2013.

*Визначення теплових характеристик шарів непрозорої огорожувальної конструкції.* Теплові опори теплопередачі шарів непрозорої огорожувальної конструкції розраховуємо згідно з формулою (7) ДСТУ-Н Б.2.6-190:2013

$$\begin{aligned}
 R_1 &= \frac{d_1}{\lambda_1} = \frac{0.02}{0.76} = 0.02632 \text{ м}^2 * \frac{\text{К}}{\text{Вт}} \\
 R_2 &= \frac{d_2}{\lambda_2} = \frac{0.51}{0.7} = 0.729 \text{ м}^2 * \frac{\text{К}}{\text{Вт}} \\
 R_3 &= \frac{d_3}{\lambda_3} = \frac{0.005}{0.7} = 0.00714 \text{ м}^2 * \frac{\text{К}}{\text{Вт}} \\
 R_4 &= \frac{d_4}{\lambda_4} = \frac{0.15}{0.04} = 3.75 \text{ м}^2 * \frac{\text{К}}{\text{Вт}} \\
 R_5 &= \frac{d_5}{\lambda_5} = \frac{0.005}{0.7} = 0.00714 \text{ м}^2 * \frac{\text{К}}{\text{Вт}}
 \end{aligned} \tag{3.25}$$

*Визначення теплових інерцій кожного шару непрозорої огорожувальної конструкції.* Теплові інерції шарів непрозорої огорожувальної конструкції розраховуємо згідно з формулами (5) та (6) ДСТУ-Н Б.2.6-190:2013:

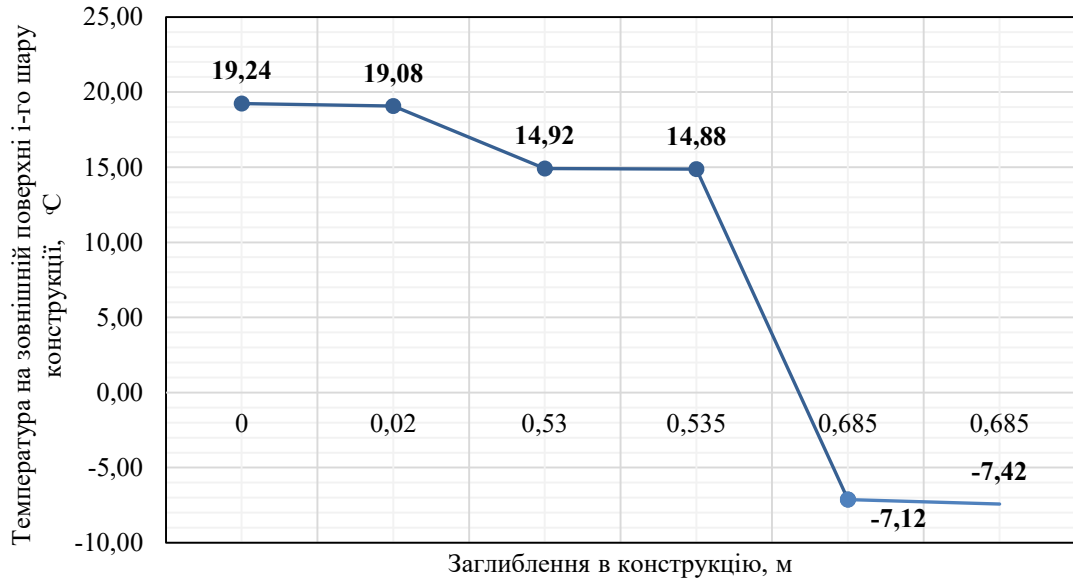
$$\begin{aligned}
 D_1 &= R_1 * s_1 = 0.02632 * 9.6 = 0.2526 \\
 D_2 &= R_2 * s_2 = 0.729 * 9.2 = 6.703 \\
 D_3 &= R_3 * s_3 = 0.00714 * 8.95 = 0.0639 \\
 D_4 &= R_4 * s_4 = 3.75 * 0.59 = 2.212 \\
 D_5 &= R_5 * s_5 = 0.00714 * 8.95 = 0.0639 \\
 D &= D_1 + D_2 + D_3 + D_4 + D_5 = 0.2526 + 6.703 + 0.0639 + 2.212 + 0.0639 = \\
 & \qquad \qquad \qquad 9.296
 \end{aligned} \tag{3.26}$$

Оскільки  $D > 4$ , то теплостійкість у літній період дозволяється не перевіряти згідно з приміткою 1 до п. 5.8 ДБН В.2.6-31:2021.

На зображеннях нижче наведено розрахунок тепловологісного стану цегляної кладки із керамічної повнотілої цегли та мінераловатним

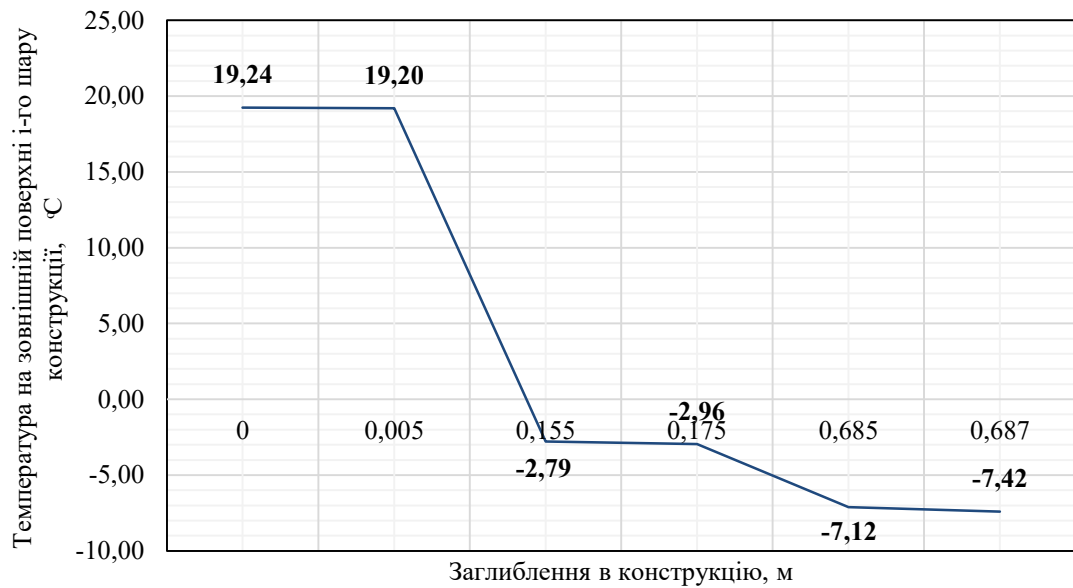
утеплювачем із зовнішньої сторони (а) без влаштування вентилязованого повітряного прошарку, далі – із внутрішньої сторони (б) та без утеплювача (в).

Розподіл температури в товщі конструкції стіни типу 1

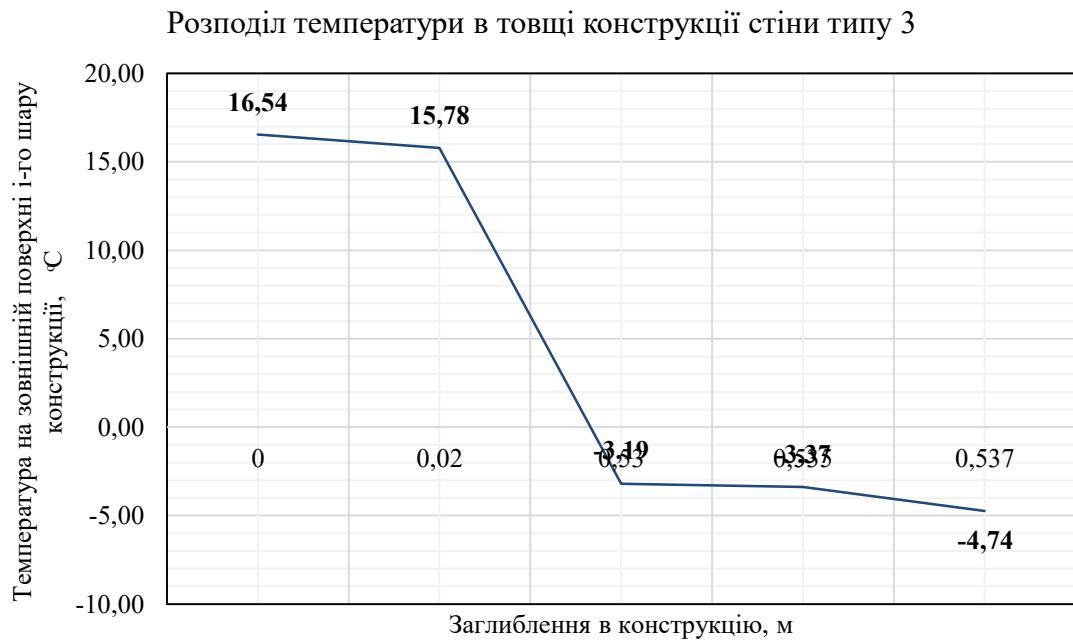


а)

Розподіл температури в товщі конструкції стіни типу 2



б)

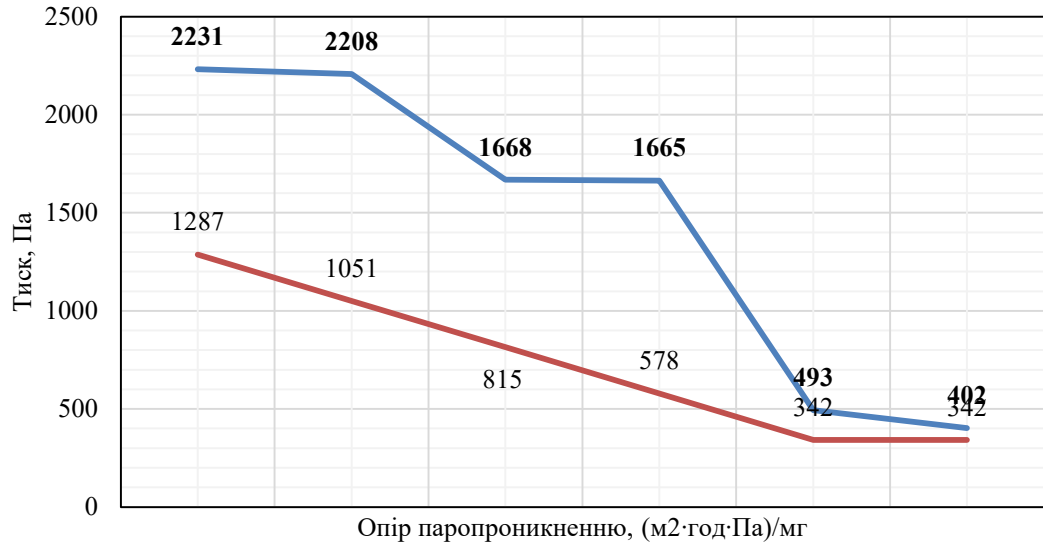


в)

Рис. 3.3. Розподіл температури у товщі товщі цегляної стіни з утеплювачем

У масштабі опорів паропроникненню будуюмо залежність парціального тиску насиченої водяної пари та парціального тиску водяної пари: цегляної кладки із керамічної повнотілої цегли та мінераловатним утеплювачем із зовнішньої сторони (а) без влаштування вентиляваного повітряного прошарку, далі – із внутрішньої сторони (б) та без утеплювача (в).

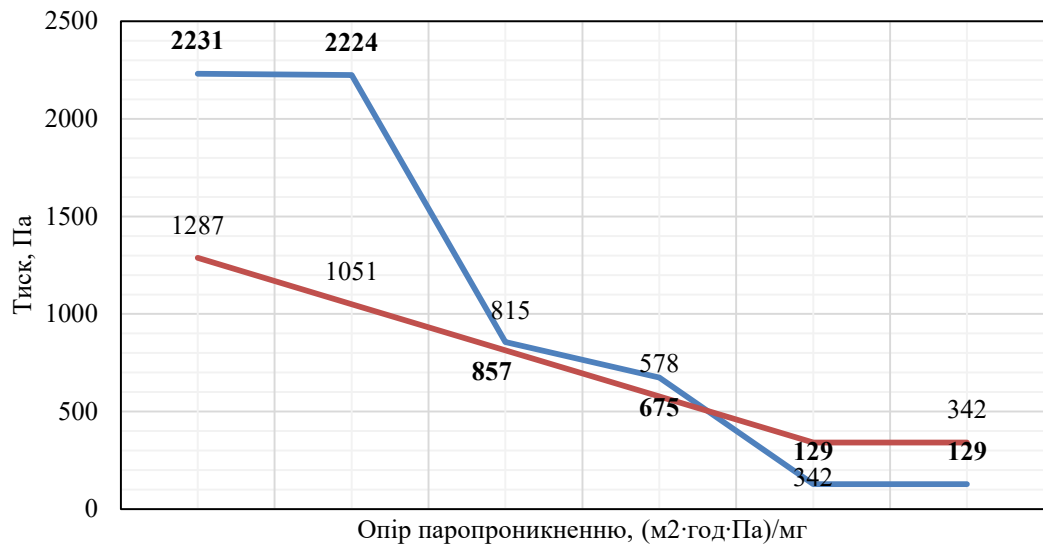
Розподіл парціальних тисків у товщі стіни типу 1



— Парціальний тиск насиченої водяної пари, E — Парціальний тиск водяної пари, e

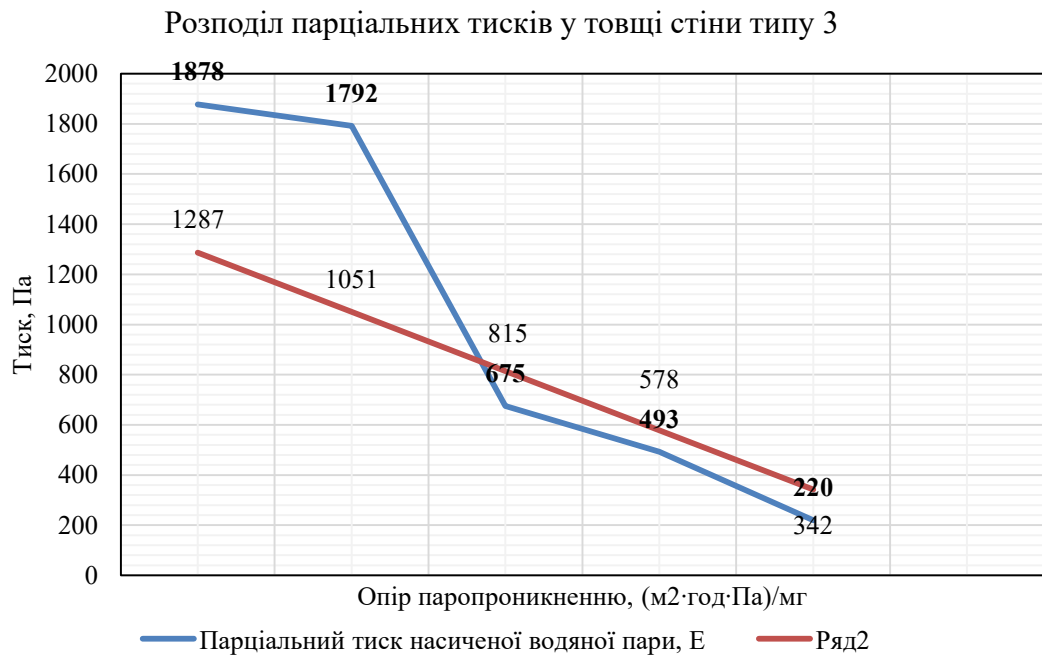
а)

Розподіл парціальних тисків у товщі стіни типу 2



— Парціальний тиск насиченої водяної пари, E — Парціальний тиск водяної пари, e

б)



в)

Рис. 3.4. Розподіл парціальних тисків у товщі цегляної стіни з утеплювачем

Оскільки лінії Е та е на рис. 3.4а не перетинаються, то це свідчить про те, що процес конденсації водяної пари в товщі огорожувальної конструкції не відбувається. Зовсім інша картина на рис. 3.4б та 3.4в, де лінії перетинаються, що негативно впливає на тепловологісний стан огорожувальних конструкцій та вказує на недоцільність утеплення цегляної кладки із керамічної повнотілої цегли мінераловатним утеплювачем із внутрішньої сторони. Крім того, цегляна кладка без утеплення, для збереження розрахункового терміну її оптимальної експлуатації, також потребує проведення заходів щодо доведення її термічного опору теплопередачі до нормованого значення або улаштування більш інтенсивного повітрообміну у приміщеннях будівлі. Однак, останнє може викликати додаткові енерговитрати. Доцільність того чи іншого підходу потрібно більш детально розглядати з точки зору порівняння експлуатаційних витрат та енергетичних втрат будівлею.

### 3.4. Розрахунок термічного опору: світлопрозора огорожувальна конструкція

Визначимо термічний опір фрагменту конструкції згідно з вимогами ДСТУ 9191:2022.

*Опис конструкції.* Загальна товщина конструкції складає 0.044 м. Кількість шарів конструкції - 5. Шар №1 Скло віконне та товщиною 0.004 м. Шар №2 Повітряний прошарок замкнутий та товщиною 0.016 м. Шар №3 Скло віконне та товщиною 0.004 м. Шар №4 Повітряний прошарок замкнутий та товщиною 0.016 м. Шар №5 Скло віконне та товщиною 0.004 м.

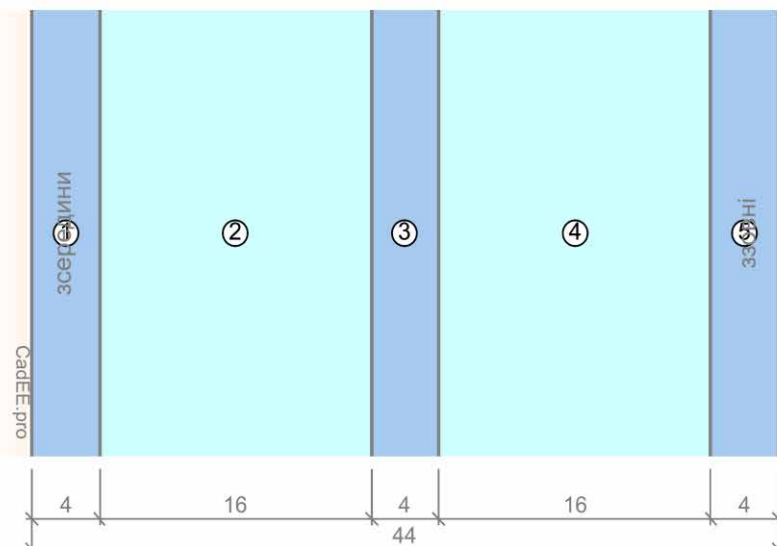


Рис. 3.5. Розріз огорожувальної конструкції

Вологісні умови експлуатації матеріалів огорожувальної конструкції визначено згідно з додатком Б ДБН В.2.6-31:2021. Призначення будівлі - багатоквартирний будинок, для якої згідно з т.Б.2 ДБН В.2.6-31:2021 розрахункові значення температури і вологості приміщень  $\theta_{int} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $\phi_{int} = 55 \%$  відповідно. Вологісний режим приміщень приймаємо згідно з т.Б.1 ДБН В.2.6-31:2021 - нормальний, а також враховуючи, що конструкція зовнішня, то умови експлуатації згідно з т.Б.3 ДБН В.2.6-31:2021 - Б.

Розрахункові характеристики матеріалів конструкції визначаємо згідно з додатком А ДСТУ 9191:2022.

Таблиця 3.7. Розрахункові характеристики матеріалів шарів конструкції

№	Назва шару	Товщина, (м)	Теплопровідність $\lambda$ , Вт/(м <sup>2</sup> К)
1	Скло віконне	0.004	0.76
2	Повітряний прошарок замкнутий	0.016	-
3	Скло віконне	0.004	0.76
4	Повітряний прошарок замкнутий	0.016	-
5	Скло віконне	0.004	0.76

Коефіцієнти тепловіддачі визначаємо згідно з таблицею Б додатку Б ДСТУ 9191:2022. Для конструкції типу - вікно, розрахункові значення коефіцієнтів тепловіддачі внутрішньої та зовнішньої поверхонь огорожувальних конструкцій прийнято:

$$h_{si} = 8 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 * \text{К}} \quad h_{se} = 23 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 * \text{К}}$$

Визначаємо опір теплопередачі замкнутого повітряного прошарку. Тепловий опір замкнутого повітряного прошарку визначаємо згідно з таблицею В.1 ДСТУ 9191:2022 Повітряний прошарок без відбивної ізоляції. Положення повітряного прошарку вертикальне.

$$R_{air_2} = 0.14 \text{ м}^2 * \frac{\text{К}}{\text{Вт}}$$

Визначаємо коефіцієнт теплопередачі повітряного прошарку для зручності подальших розрахунків

$$\lambda_{p2} = \frac{d_2}{R_{air_2}} = \frac{0.016}{0.14} = 0.1143 \frac{\text{Вт}}{\text{м} * \text{К}}$$

Визначаємо опір теплопередачі замкнутого повітряного прошарку. Тепловий опір замкнутого повітряного прошарку визначаємо згідно з таблицею В.1 ДСТУ 9191:2022 Повітряний прошарок без відбивної ізоляції. Положення повітряного прошарку вертикальне.

$$R_{air_4} = 0.14 \text{ м}^2 * \frac{K}{\text{Вт}}$$

Визначаємо коефіцієнт теплопередачі повітряного прошарку для зручності подальших розрахунків

$$\lambda_{p4} = \frac{d_4}{R_{air_4}} = \frac{0.016}{0.14} = 0.1143 \frac{\text{Вт}}{\text{м} * K}$$

Визначаємо опір теплопередачі конструкції згідно з формулою 2 ДСТУ 9191:2022:

$$\begin{aligned} R_s &= \frac{1}{h_{si}} + \frac{d_1}{\lambda_{p1}} + R_{air_2} + \frac{d_3}{\lambda_{p3}} + R_{air_4} + \frac{d_5}{\lambda_{p5}} + \frac{1}{h_{se}} \\ &= \frac{1}{8.7} + \frac{0.004}{0.76} + 0.14 + \frac{0.004}{0.76} + 0.14 + \frac{0.004}{0.76} + \frac{1}{23} \\ &= 0.4542 \text{ м}^2 * \frac{K}{\text{Вт}} \end{aligned}$$

На фрагменті, що розглядається, відсутні теплопровідні включення, що відносяться до непрозорої огорожувальної конструкції.

Визначаємо приведений опір теплопередачі конструкції згідно з формулою 1 ДСТУ 9191:2022:

$$R_{\Sigma \text{пр}} = \frac{A_{\Sigma}}{\left(\frac{A_1}{R_s}\right)} = \frac{1}{\left(\frac{1}{0.4542}\right)} = 0.4542 \text{ м}^2 * \frac{K}{\text{Вт}}$$

Визначимо мінімально допустиме значення приведенного опору теплопередачі згідно з ДБН В.2.6-31:2021. Температурна зона згідно з додатком А ДБН В.2.6-31:2021 - І (м. Київ). Допустиме значення опору теплопередачі визначаємо з таблиці 1 ДБН В.2.6-31:2021 (як для типу конструкції - стіна, та типу будівлі - багатоквартирний будинок):

$$R_{qmin} = 0,9 \left( \text{м}^2 * \frac{\text{К}}{\text{Вт}} \right)$$

Оскільки:

$$R_{\Sigma пр} = 0,45 \text{ м}^2 * \frac{\text{К}}{\text{Вт}} < R_{qmin} = 0,9 \text{ м}^2 * \frac{\text{К}}{\text{Вт}}$$

то умова (4) ДБН В.2.6-31:2021 не виконується.

Визначення розподілу температури в товщині конструкції згідно з формулою (5) ДСТУ Б В.2.6-192:2013:

$$R_1 = \frac{d_1}{\lambda_{p1}} = \frac{0,004}{0,76} = 0,00526 \text{ м}^2 * \frac{\text{К}}{\text{Вт}}$$

$$R_2 = \frac{d_1}{\lambda_{p1}} + \frac{d_2}{\lambda_{p2}} = \frac{0,004}{0,76} + \frac{0,016}{0,1143} = 0,1453 \text{ м}^2 * \frac{\text{К}}{\text{Вт}}$$

$$R_3 = \frac{d_1}{\lambda_{p1}} + \frac{d_2}{\lambda_{p2}} + \frac{d_3}{\lambda_{p3}} = \frac{0,004}{0,76} + \frac{0,016}{0,1143} + \frac{0,004}{0,76} = 0,1505 \text{ м}^2 * \frac{\text{К}}{\text{Вт}}$$

$$R_4 = \frac{d_1}{\lambda_{p1}} + \frac{d_2}{\lambda_{p2}} + \frac{d_3}{\lambda_{p3}} + \frac{d_4}{\lambda_{p4}} = \frac{0,004}{0,76} + \frac{0,016}{0,1143} + \frac{0,004}{0,76} + \frac{0,016}{0,1143} \\ = 0,2905 \text{ м}^2 * \frac{\text{К}}{\text{Вт}}$$

$$R_5 = \frac{d_1}{\lambda_{p1}} + \frac{d_2}{\lambda_{p2}} + \frac{d_3}{\lambda_{p3}} + \frac{d_4}{\lambda_{p4}} + \frac{d_5}{\lambda_{p5}} = \frac{0,004}{0,76} + \frac{0,016}{0,1143} + \frac{0,004}{0,76} + \frac{0,016}{0,1143} + \frac{0,004}{0,76} \\ = 0,2958 \text{ м}^2 * \frac{\text{К}}{\text{Вт}}$$

$$\theta_{ext} = -22.00 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Температура в площинах на межі шарів:

$$\theta_0 = \theta_{int} - \left( \frac{\theta_{int} - \theta_{ext}}{R_s} \right) * \left( \frac{1}{h_{si}} \right) = 20 - \left( \frac{20 - -22}{0.4542} \right) * \left( \frac{1}{8.7} \right) = 9.371 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\begin{aligned} \theta_1 &= \theta_{int} - \left( \frac{\theta_{int} - \theta_{ext}}{R_s} \right) * \left( \frac{1}{h_{si}} + R_1 \right) = 20 - \left( \frac{20 - -22}{0.4542} \right) * \left( \frac{1}{8.7} + 0.00526 \right) \\ &= 8.885 \text{ } ^\circ\text{C} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \theta_2 &= \theta_{int} - \left( \frac{\theta_{int} - \theta_{ext}}{R_s} \right) * \left( \frac{1}{h_{si}} + R_2 \right) = 20 - \left( \frac{20 - -22}{0.4542} \right) * \left( \frac{1}{8.7} + 0.1453 \right) \\ &= -4.061 \text{ } ^\circ\text{C} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \theta_3 &= \theta_{int} - \left( \frac{\theta_{int} - \theta_{ext}}{R_s} \right) * \left( \frac{1}{h_{si}} + R_3 \right) = 20 - \left( \frac{20 - -22}{0.4542} \right) * \left( \frac{1}{8.7} + 0.1505 \right) \\ &= -4.547 \text{ } ^\circ\text{C} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \theta_4 &= \theta_{int} - \left( \frac{\theta_{int} - \theta_{ext}}{R_s} \right) * \left( \frac{1}{h_{si}} + R_4 \right) = 20 - \left( \frac{20 - -22}{0.4542} \right) * \left( \frac{1}{8.7} + 0.2905 \right) \\ &= -17.493 \text{ } ^\circ\text{C} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \theta_5 &= \theta_{int} - \left( \frac{\theta_{int} - \theta_{ext}}{R_s} \right) * \left( \frac{1}{h_{si}} + R_5 \right) = 20 - \left( \frac{20 - -22}{0.4542} \right) * \left( \frac{1}{8.7} + 0.2958 \right) \\ &= -17.98 \text{ } ^\circ\text{C} \end{aligned}$$

Температурний перепад між температурою внутрішнього повітря та приведеною температурою внутрішньої поверхні огорожувальної конструкції:

$$\Delta\theta_{int_{si}} = \theta_{int} - \theta_0 = 20 - 9.371 = 10.629 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Температуру точки роси визначаємо за умов, коли температура повітря  $\theta_{int}$  дорівнює  $20 \text{ } ^\circ\text{C}$ , а відносна вологість становить  $55\%$ .

$$\theta_D = 237.7 * \frac{17.27 * \frac{\theta_{int}}{237.7 + \theta_{int}} + \ln\left(\frac{\varphi_{int}}{100}\right)}{17.27 - \left(\frac{\theta_{int}}{237.7 + \theta_{int}} + \ln\left(\frac{\varphi_{int}}{100}\right)\right)} = 9.92 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Визначення допустимого значення різниці між температурою внутрішнього повітря та приведеною температурою внутрішньої поверхні огорожувальної конструкції визначаємо згідно з п. 5.4 ДБН В.2.6-31:2021:

$$\Delta\theta_{int_{si_{max}}} = 4.00 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Оскільки:

$$\Delta\theta_{int_{si}} = 10.63 \text{ } ^\circ\text{C} > \Delta\theta_{int_{si_{max}}} = 4.00 \text{ } ^\circ\text{C}$$

то умова (5) ДБН В.2.6-31:2021 не виконується.

Мінімально допустиме значення температури внутрішньої поверхні непрозорих огорожувальних конструкцій у зонах теплопровідних включень,  $\theta_{si, min}$ , у кутах і укосах віконних і дверних прорізів, прийнятому залежно від температурної зони експлуатації будівлі згідно з додатком А ДБН В.2.6-31:2021, повинно бути не менше ніж температура точки роси. Перевірка виконання вимог п. 5.5.1 ДБН В.2.6-31:2021.

Оскільки:

$$\theta_0 = 9.37 \text{ } ^\circ\text{C} < \theta_D = 9.92 \text{ } ^\circ\text{C}$$

то умова п. 5.5.1 ДБН В.2.6-31:2021 не виконується.

### 3.5. Оцінка тепловологісного стану конструкції: вікно №1

Оцінку тепловологісного стану конструкції виконуємо згідно з вимогами ДСТУ Б В.2.6-192:2013.

Розподіл температур по товщині конструкції виконуємо згідно з ф. (5) ДСТУ Б В.2.6-192:2013. Розрахункові значення температури та відносної вологості внутрішнього повітря визначаємо згідно з додатком Б ДБН В.2.6-31:2021

$$\theta_{int} = 20.00 \text{ } ^\circ\text{C}; \quad \varphi_{int} = 55.00 \text{ } \%$$

Розрахункові значення температури та відносної вологості зовнішнього повітря визначаємо згідно з табл. 2 та табл. 24 ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010, як для середньої місячної температури повітря в січні для міста Київ (п.4.2.4.4 та п.4.2.4.3 ДСТУ Б В.2.6-192:2013):

Таблиця 3.8. Середньомісячні значення температури та відносної вологості зовнішнього повітря для м. Київ

Місяць	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Температура, °C	-4.7	-3.6	1	9	15.2	18.3	19.8	19	13.9	8.1	1.9	-2.5
Відносна вологість, %	83	79	74	66	62	68	69	68	74	77	84	85

Опір теплопередачі  $R_s$  огорожуючої конструкції визначено згідно з формулою (6). Коефіцієнти тепловіддачі визначено згідно з формулою (1).

Визначимо опір теплопередачі в площинах на межі шарів:

$$x_1 = 0.00 \text{ м}; \quad \lambda_{p1} = 0.76 \frac{\text{Вт}}{\text{м} * \text{К}}$$

$$R_1 = \frac{d_1}{\lambda_{p1}} = \frac{0.004}{0.76} = 0.00526 \text{ м}^2 * \frac{\text{К}}{\text{Вт}}$$

$$x_2 = 0.02 \text{ м}; \quad \lambda_{p2} = 0.11 \frac{\text{Вт}}{\text{м} * \text{К}}$$

$$R_2 = \frac{d_1}{\lambda_{p1}} + \frac{d_2}{\lambda_{p2}} = \frac{0.004}{0.76} + \frac{0.016}{0.1143} = 0.1453 \text{ м}^2 * \frac{\text{К}}{\text{Вт}}$$

$$x_3 = 0.02 \text{ м}; \quad \lambda_{p3} = 0.76 \frac{\text{Вт}}{\text{м} * \text{К}}$$

$$R_3 = \frac{d_1}{\lambda_{p1}} + \frac{d_2}{\lambda_{p2}} + \frac{d_3}{\lambda_{p3}} = \frac{0.004}{0.76} + \frac{0.016}{0.1143} + \frac{0.004}{0.76} = 0.1505 \text{ м}^2 * \frac{\text{К}}{\text{Вт}}$$

$$x_4 = 0.04 \text{ м}; \quad \lambda_{p4} = 0.11 \frac{\text{Вт}}{\text{м} * \text{К}}$$

$$R_4 = \frac{d_1}{\lambda_{p1}} + \frac{d_2}{\lambda_{p2}} + \frac{d_3}{\lambda_{p3}} + \frac{d_4}{\lambda_{p4}} = \frac{0.004}{0.76} + \frac{0.016}{0.1143} + \frac{0.004}{0.76} + \frac{0.016}{0.1143} \\ = 0.2905 \text{ м}^2 * \frac{\text{К}}{\text{Вт}}$$

$$x_5 = 0.04 \text{ м}; \quad \lambda_{p5} = 0.76 \frac{\text{Вт}}{\text{м} * \text{К}}$$

$$R_5 = \frac{d_1}{\lambda_{p1}} + \frac{d_2}{\lambda_{p2}} + \frac{d_3}{\lambda_{p3}} + \frac{d_4}{\lambda_{p4}} + \frac{d_5}{\lambda_{p5}} = \frac{0.004}{0.76} + \frac{0.016}{0.1143} + \frac{0.004}{0.76} + \frac{0.016}{0.1143} + \frac{0.004}{0.76} \\ = 0.2958 \text{ м}^2 * \frac{\text{К}}{\text{Вт}}$$

Визначимо опори паропроникненню кожного шару і конструкції в цілому згідно з формулами (3), (4) ДСТУ Б В.2.6-192:2013. Коефіцієнт паропроникності беремо згідно з табл. А.1 ДСТУ 9191:2022

При  $x_1 = 0.00 \text{ м}$ :

$$R_{e1} = \frac{d_1}{\delta_1} = \frac{0.004}{0.000022} = 181.818 \frac{\text{м}^2 * \text{год} * \text{Па}}{\text{мг}}$$

При  $x_2 = 0.02 \text{ м}$ :

$$R_{e2} = \frac{d_1}{\delta_1} + \frac{d_2}{\delta_2} = \frac{0.004}{0.000022} + \frac{0.016}{10000} = 181.818 \frac{\text{м}^2 * \text{год} * \text{Па}}{\text{мг}}$$

При  $x_3 = 0.02 \text{ м}$ :

$$R_{e3} = \frac{d_1}{\delta_1} + \frac{d_2}{\delta_2} + \frac{d_3}{\delta_3} = \frac{0.004}{0.000022} + \frac{0.016}{10000} + \frac{0.004}{0.000022}$$

$$= 363.636 \frac{\text{м}^2 * \text{год} * \text{Па}}{\text{мг}}$$

При  $x_4 = 0.04$  м:

$$R_{e4} = \frac{d_1}{\delta_1} + \frac{d_2}{\delta_2} + \frac{d_3}{\delta_3} + \frac{d_4}{\delta_4} = \frac{0.004}{0.000022} + \frac{0.016}{10000} + \frac{0.004}{0.000022} + \frac{0.016}{10000}$$

$$= 363.636 \frac{\text{м}^2 * \text{год} * \text{Па}}{\text{мг}}$$

При  $x_5 = 0.04$  м:

$$R_{e5} = \frac{d_1}{\delta_1} + \frac{d_2}{\delta_2} + \frac{d_3}{\delta_3} + \frac{d_4}{\delta_4} + \frac{d_5}{\delta_5}$$

$$= \frac{0.004}{0.000022} + \frac{0.016}{10000} + \frac{0.004}{0.000022} + \frac{0.016}{10000} + \frac{0.004}{0.000022}$$

$$= 545.455 \frac{\text{м}^2 * \text{год} * \text{Па}}{\text{мг}}$$

Таблиця 3.9. Характеристики матеріалів шарів конструкції

№	Назва шару	Товщина, на, (м)	Теплопровідність $\lambda$ , Вт/(м*К)	Тепловий опір R (м²К)/Вт	Коеф. паропро проникності $\delta$ мг/(м³*год*Па)	Опір паропро проникненню Re м²*год*Па/ мг
1	Скло віконне	0.004	0.76	0.00526	0.000022	181.818
2	Повітряний прошарок замкнутий	0.016	0.1143	0.1453	10000	181.818
3	Скло віконне	0.004	0.76	0.1505	0.000022	363.636
4	Повітряний прошарок замкнутий	0.016	0.1143	0.2905	10000	363.636
5	Скло віконне	0.004	0.76	0.2958	0.000022	545.455

Опір паропро проникненню конструкції в цілому:

$$\begin{aligned}
 R_{es} &= \frac{d_1}{\delta_1} + \frac{d_2}{\delta_2} + \frac{d_3}{\delta_3} + \frac{d_4}{\delta_4} + \frac{d_5}{\delta_5} \\
 &= \frac{0.004}{0.000022} + \frac{0.016}{10000} + \frac{0.004}{0.000022} + \frac{0.016}{10000} + \frac{0.004}{0.000022} \\
 &= 545.455 \frac{\text{м}^2 * \text{год} * \text{Па}}{\text{мг}}
 \end{aligned}$$

*Розрахунок вологонакопичення в місяці січень.* Розрахункові значення температури та відносної вологості зовнішнього повітря визначаємо згідно з табл. 2 та табл. 24 ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010, як для середньої місячної температури повітря для міста Київ (п.4.2.4.4 та п.4.2.4.3 ДСТУ Б В.2.6-192:2013):

$$\begin{aligned}
 \varphi_{ext} &= 83.00 \% \quad \tau = 744 \text{ год} \\
 \theta_{ext} &= -4.70 \text{ }^\circ\text{C}.
 \end{aligned}$$

Температура в площинах на межі шарів:

$$\begin{aligned}
 \theta_0 &= \theta_{int} - \left( \frac{\theta_{int} - \theta_{ext}}{R_s} \right) * \left( \frac{1}{h_{si}} \right) = 20 - \left( \frac{20 - -4.7}{0.4542} \right) * \left( \frac{1}{8.7} \right) = 13.749 \text{ }^\circ\text{C} \\
 \theta_1 &= \theta_{int} - \left( \frac{\theta_{int} - \theta_{ext}}{R_s} \right) * \left( \frac{1}{h_{si}} + R_1 \right) = 20 - \left( \frac{20 - -4.7}{0.4542} \right) * \left( \frac{1}{8.7} + 0.00526 \right) \\
 &= 13.463 \text{ }^\circ\text{C} \\
 \theta_2 &= \theta_{int} - \left( \frac{\theta_{int} - \theta_{ext}}{R_s} \right) * \left( \frac{1}{h_{si}} + R_2 \right) = 20 - \left( \frac{20 - -4.7}{0.4542} \right) * \left( \frac{1}{8.7} + 0.1453 \right) \\
 &= 5.85 \text{ }^\circ\text{C} \\
 \theta_3 &= \theta_{int} - \left( \frac{\theta_{int} - \theta_{ext}}{R_s} \right) * \left( \frac{1}{h_{si}} + R_3 \right) = 20 - \left( \frac{20 - -4.7}{0.4542} \right) * \left( \frac{1}{8.7} + 0.1505 \right) \\
 &= 5.564 \text{ }^\circ\text{C} \\
 \theta_4 &= \theta_{int} - \left( \frac{\theta_{int} - \theta_{ext}}{R_s} \right) * \left( \frac{1}{h_{si}} + R_4 \right) = 20 - \left( \frac{20 - -4.7}{0.4542} \right) * \left( \frac{1}{8.7} + 0.2905 \right) \\
 &= -2.049 \text{ }^\circ\text{C}
 \end{aligned}$$

$$\theta_5 = \theta_{int} - \left( \frac{\theta_{int} - \theta_{ext}}{R_s} \right) * \left( \frac{1}{h_{si}} + R_5 \right) = 20 - \left( \frac{20 - -4.7}{0.4542} \right) * \left( \frac{1}{8.7} + 0.2958 \right) = -2.336 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Графік розподілу температур див. рис. 3.6.

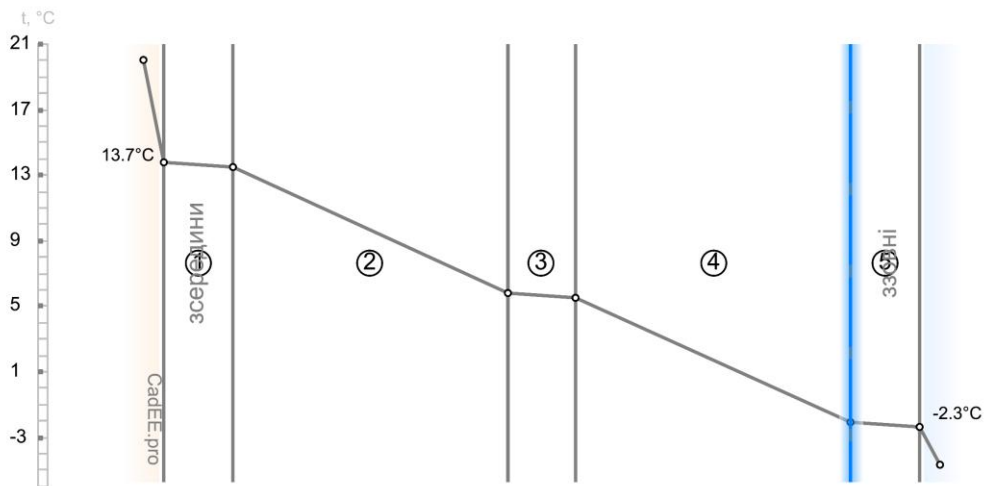


Рис. 3.6. Розподіл температур у товщині огорожувачої конструкції (січень)

Визначимо парціальний тиск насиченої водяної пари згідно з таблицею Б.1 ДСТУ Б В.2.6-192:2013.

Для внутрішньої та зовнішньої поверхні конструкції парціальний тиск насиченої водяної пари дорівнює:

$$E_B = 1573.36 \text{ Па}$$

$$E_3 = 503.72 \text{ Па}$$

Визначимо парціальний тиск водяної пари згідно з формулами (6) та (7) ДСТУ Б В.2.6-192:2013:

$$e_B = \varphi_{int} * E_B * 0.01 = 55 * 1573.362 * 0.01 = 865.349 \text{ Па}$$

$$e_3 = \varphi_{ext} * E_3 * 0.01 = 83 * 503.722 * 0.01 = 418.089 \text{ Па}$$

Визначимо парціальний тиск насиченої водяної пари в товщині конструкції з розрахунку 11 точок на 1°C перепаду температур (п. 4.2.4.7 ДСТУ Б В.2.6-192:2013).

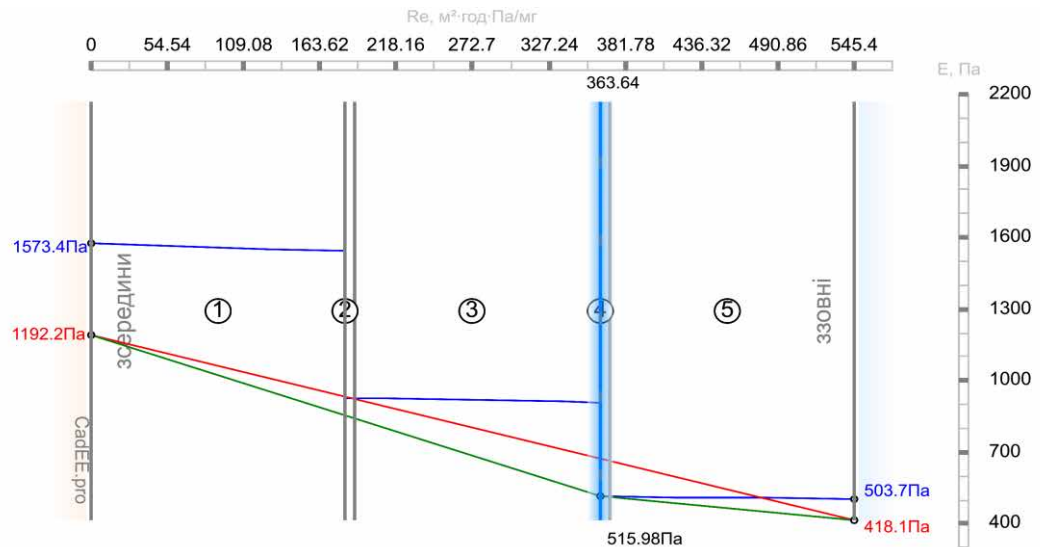


Рис. 3.7. Розподіл парціальних тисків у товщині огорожуючої конструкції (січень). На графіку лінія сіра - розподіл температури (t), синя - графік розподілу парціального тиску насиченої водою пари (E), червона - допоміжна лінія для оцінки наявності конденсації пари (e), зелена - допоміжна лінія для оцінки кількості вологи що надходить/випаровується з конструкції.

Оскільки лінії E та e перетинаються то це свідчить про конденсацію вологи в товщі огорожуючої конструкції (п.4.2.6 та п.4.3.4 ДСТУ Б В.2.6-192:2013). Визначимо місця конденсації згідно з п.4.3.5 ДСТУ Б В.2.6-192:2013. Побудуємо дотичні до графіку E з точок  $e_v$  та  $e_3$  (рис. 3.7).

Лінія розрахункового розподілу парціального тиску водяної пари в товщині конструкції:

$$p_{k0} = e_b = 865.35 \text{ Па} \quad R_{ek0} = 0 \frac{\text{м}^2 * \text{год} * \text{Па}}{\text{мг}}$$

$$p_{k1} = 515.98 \text{ Па} \quad R_{ek1} = 363.64 \frac{\text{м}^2 * \text{год} * \text{Па}}{\text{мг}}$$

$$p_{k2} = e_3 = 865.35 \text{ Па} \quad R_{ek2} = 545.45 \frac{\text{м}^2 * \text{год} * \text{Па}}{\text{мг}}$$

Кількість зон конденсації - 0 шт. Кількість площин конденсації - 1 шт.

Кількість водяної пари, що надходить до першої зони(площини) конденсації з сторони приміщення визначаємо згідно з табл.3 ДСТУ Б В.2.6-192:2013:

Кількість водяної пари, що надходить до зони(площини) №1 конденсації визначаємо згідно з табл.3 ДСТУ Б В.2.6-192:2013:

$$i_1 = \frac{p_{k0} - p_{k1}}{R_{ek1} - R_{ek0}} = \frac{865.349 - 515.981}{363.636364 - 0} = 0.961 \frac{\text{мг}}{\text{м}^2 * \text{год}}$$

Кількість водяної пари, що виводиться із зони(площини) №1 назовні

$$i_2 = \frac{p_{k1} - p_{k2}}{R_{ek2} - R_{ek1}} = \frac{515.981 - 418.089}{545.454544 - 363.636364} = 0.538 \frac{\text{мг}}{\text{м}^2 * \text{год}}$$

Отже кількість вологи, що конденсується в зоні/площині №1 за січень дорівнює:

$$W_{зп11} = \tau * (i_1 - i_2) * 10^{-6} = 744 * (0.961 - 0.538) * 10^{-6} = 0.0003142 \frac{\text{кг}}{\text{м}^2}$$

Кількість вологи, що конденсується в конструкції за січень складає:

$$W_{зп1} = W_{зп11} = 0.0003142 = 0.0003142 \frac{\text{кг}}{\text{м}^2}$$

Проводимо розрахунок для наступного місяця вологонакопичення.

*Розрахунок вологонакопичення в місяці лютий.* Розрахункові значення температури та відносної вологості зовнішнього повітря визначаємо згідно з табл. 2 та табл. 24 ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010, як для середньої місячної температури повітря для міста Київ (п.4.2.4.4 та п.4.2.4.3 ДСТУ Б В.2.6-192:2013):

$$\varphi_{ext} = 79.00 \% \quad \tau = 672 \text{ год}$$

$$\theta_{ext} = -3.60 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Температура в площинах на межі шарів:

$$\theta_0 = \theta_{int} - \left( \frac{\theta_{int} - \theta_{ext}}{R_s} \right) * \left( \frac{1}{h_{si}} \right) = 20 - \left( \frac{20 - -3.6}{0.4542} \right) * \left( \frac{1}{8.7} \right) = 14.028 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\begin{aligned} \theta_1 &= \theta_{int} - \left( \frac{\theta_{int} - \theta_{ext}}{R_s} \right) * \left( \frac{1}{h_{si}} + R_1 \right) = 20 - \left( \frac{20 - -3.6}{0.4542} \right) * \left( \frac{1}{8.7} + 0.00526 \right) \\ &= 13.754 \text{ }^\circ\text{C} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \theta_2 &= \theta_{int} - \left( \frac{\theta_{int} - \theta_{ext}}{R_s} \right) * \left( \frac{1}{h_{si}} + R_2 \right) = 20 - \left( \frac{20 - -3.6}{0.4542} \right) * \left( \frac{1}{8.7} + 0.1453 \right) \\ &= 6.48 \text{ }^\circ\text{C} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \theta_3 &= \theta_{int} - \left( \frac{\theta_{int} - \theta_{ext}}{R_s} \right) * \left( \frac{1}{h_{si}} + R_3 \right) = 20 - \left( \frac{20 - -3.6}{0.4542} \right) * \left( \frac{1}{8.7} + 0.1505 \right) \\ &= 6.207 \text{ }^\circ\text{C} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \theta_4 &= \theta_{int} - \left( \frac{\theta_{int} - \theta_{ext}}{R_s} \right) * \left( \frac{1}{h_{si}} + R_4 \right) = 20 - \left( \frac{20 - -3.6}{0.4542} \right) * \left( \frac{1}{8.7} + 0.2905 \right) \\ &= -1.067 \text{ }^\circ\text{C} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \theta_5 &= \theta_{int} - \left( \frac{\theta_{int} - \theta_{ext}}{R_s} \right) * \left( \frac{1}{h_{si}} + R_5 \right) = 20 - \left( \frac{20 - -3.6}{0.4542} \right) * \left( \frac{1}{8.7} + 0.2958 \right) \\ &= -1.341 \text{ }^\circ\text{C} \end{aligned}$$

Графік розподілу температур див. рис. 3.8.

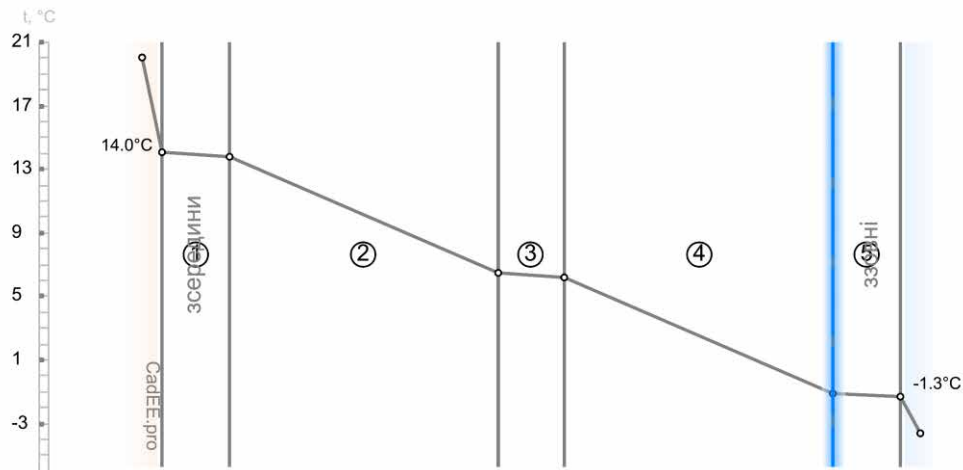


Рис. 3.8. Розподіл температур у товщині огорожуючої конструкції (лютий)

Визначимо парціальний тиск насиченої водяної пари згідно з таблицею Б.1 ДСТУ Б В.2.6-192:2013

Для внутрішньої та зовнішньої поверхні конструкції парціальний тиск насиченої водяної пари дорівнює:

$$E_B = 1602.02 \text{ Па}$$

$$E_3 = 547.52 \text{ Па}$$

Визначимо парціальний тиск водяної пари згідно з формулами (6) та (7) ДСТУ Б В.2.6-192:2013:

$$e_B = \varphi_{int} * E_B * 0.01 = 55 * 1602.018 * 0.01 = 881.11 \text{ Па}$$

$$e_3 = \varphi_{ext} * E_3 * 0.01 = 79 * 547.515 * 0.01 = 432.537 \text{ Па}$$

Визначимо парціальний тиск насиченої водяної пари в товщині конструкції з розрахунку 11 точок на 1°C перепаду температур (п. 4.2.4.7 ДСТУ Б В.2.6-192:2013).

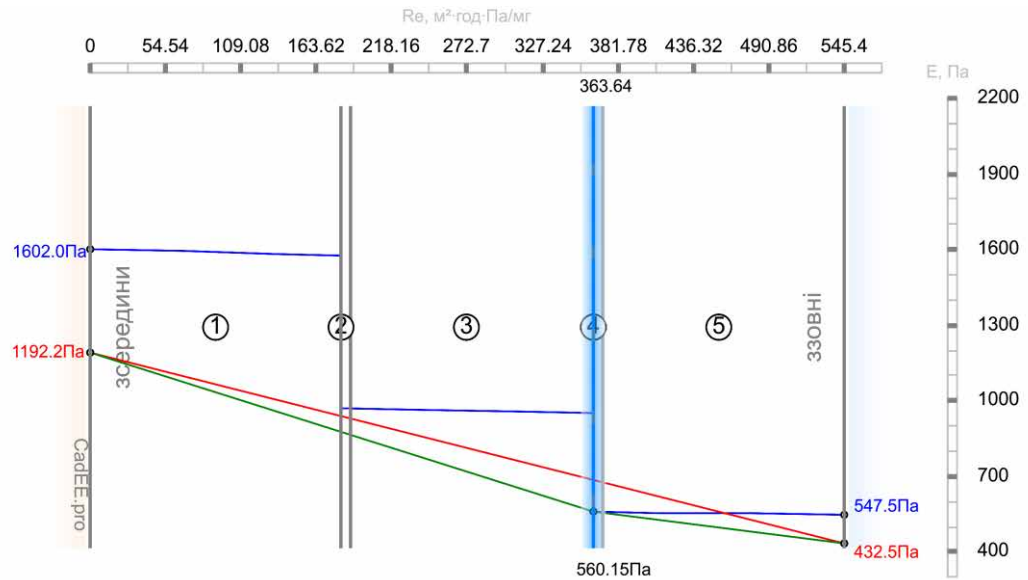


Рис. 3.9. Розподіл парціальних тисків у товщині огорожуючої конструкції (лютий). На графіку лінія сіра - розподіл температури ( $t$ ), синя - графік розподілу парціального тиску насиченої водою пари ( $E$ ), червона - допоміжна лінія для оцінки наявності конденсації пари ( $e$ ), зелена - допоміжна лінія для оцінки кількості вологи що надходить/випаровується з конструкції.

Оскільки лінії  $E$  та  $e$  перетинаються то це свідчить про конденсацію вологи в товщі огорожуючої конструкції (п.4.2.6 та п.4.3.4 ДСТУ Б В.2.6-192:2013). Визначимо місця конденсації згідно з п.4.3.5 ДСТУ Б В.2.6-192:2013. Побудуємо дотичні до графіку  $E$  з точок  $e_v$  та  $e_z$  (рис.3.9).

Лінія розрахункового розподілу парціального тиску водяної пари в товщині конструкції:

$$p_{k0} = e_v = 881.11 \text{ Па} \quad R_{ek0} = 0 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{год} \cdot \text{Па}}{\text{мг}}$$

$$p_{k1} = 560.15 \text{ Па} \quad R_{ek1} = 363.64 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{год} \cdot \text{Па}}{\text{мг}}$$

$$p_{k2} = e_z = 881.11 \text{ Па} \quad R_{ek2} = 545.45 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{год} \cdot \text{Па}}{\text{мг}}$$

Кількість зон конденсації - 0 шт. Кількість площин конденсації - 1 шт.

Кількість водяної пари, що надходить до першої зони(площини) конденсації з сторони приміщення визначаємо згідно з табл.3 ДСТУ Б В.2.6-192:2013.

Кількість водяної пари, що надходить до зони(площини) №1 конденсації визначаємо згідно з табл.3 ДСТУ Б В.2.6-192:2013:

$$i_1 = \frac{p_{k0} - p_{k1}}{R_{ek1} - R_{ek0}} = \frac{881.11 - 560.154}{363.636364 - 0} = 0.883 \frac{\text{мг}}{\text{м}^2 * \text{год}}$$

Кількість водяної пари, що виводиться із зони(площини) №1 назовні

$$i_2 = \frac{p_{k1} - p_{k2}}{R_{ek2} - R_{ek1}} = \frac{560.154 - 432.537}{545.454544 - 363.636364} = 0.702 \frac{\text{мг}}{\text{м}^2 * \text{год}}$$

Отже кількість вологи, що конденсується в зоні/площині №1 за лютий дорівнює:

$$W_{зп21} = \tau * (i_1 - i_2) * 10^{-6} = 672 * (0.883 - 0.702) * 10^{-6} = 0.0001215 \frac{\text{кг}}{\text{м}^2}$$

Кількість вологи, що конденсується в конструкції за лютий складає:

$$W_{зп2} = W_{зп21} = 0.0001215 = 0.0001215 \frac{\text{кг}}{\text{м}^2}$$

Проводимо розрахунок для наступного місяця вологонакопичення.

Зведемо результати розрахунку вологонакопичення та випаровування вологи з товщі конструкції на протязі року у таблицю 3.10.

Таблиця 3.10. Річний баланс вологи в товщі огорожуючої конструкції будинку

Місяць	К-ть вологи, що сконденсувалася, кг/м <sup>2</sup>	К-ть вологи, що випарувалась, кг/м <sup>2</sup>
	В зоні конденсації 1	В зоні конденсації 1
грудень	0.0002	0
січень	0.0003	0
лютий	0.0001	0
березень	0	-0.0005
квітень	0	-0.0020

Оцінімо збільшення вологості матеріалу у товщі шару конструкції у якому може відбуватися конденсація вологи за холодний період року.

Зволоження відбувається в шарі №3 (Повітряний прошарок замкнутий)

$$\begin{aligned}
 W_{зп1} &= W_{зп121} + W_{зп11} + W_{зп21} \\
 &= 0.0001737497 + 0.0003142339 + 0.0001214567 \\
 &= 0.000609 \frac{\text{кг}}{\text{м}^2}
 \end{aligned}$$

Випаровування з шару №3 (Повітряний прошарок замкнутий)

$$W_{лп1} = W_{лп31} + W_{лп41} = 0.0004570198 + 0.002025602 = 0.002483 \frac{\text{кг}}{\text{м}^2}$$

Приріст вологи в шарі №3 (Повітряний прошарок замкнутий) визначаємо відповідно до п. 4.2.11 та п. 4.3.9 ДСТУ Б В.2.6-192:2013:

$$\Delta w_1 = \frac{W_{зп1}}{\delta_4 * \rho_4} * 100 = \frac{0.000609}{10000 * 1.22} * 100 = 0.000004995 \%$$

Допустиме за теплоізоляційними характеристиками збільшення вологості матеріалу визначаємо згідно з табл. 5 ДБН В.2.6-31:2021:

$$\Delta w_d = -1.00 \%$$

Оскільки:

$$\Delta w_1 = 0.00 \% > \Delta w_d = -1.00 \%$$

то умова (1) ДСТУ Б В.2.6-192:2013 - не виконується.

Збільшення вологості матеріалу не відповідає вимогам ДБН В.2.6-31:2021. Кількість накопиченої в товщі огороджувальної конструкції вологи, що сконденсувалася за зимовий період:

$$W_{зп} = W_{зп1} = 0.000609 = 0.000609 \frac{\text{кг}}{\text{м}^2}$$

Кількість вологи, що випарувалась з огороджувальної конструкції за період вологовіддачі року:

$$W_{лп} = W_{лп1} = 0.002483 = 0.002483 \frac{\text{кг}}{\text{м}^2}$$

Оскільки:

$$W_{зп} = 0.00 \frac{\text{кг}}{\text{м}^2} < W_{лп} = 0.00 \frac{\text{кг}}{\text{м}^2}$$

то умова (2) ДСТУ Б В.2.6-192:2013 - виконується.

### **3.6. Оцінка теплостійкості в літній період: вікно №1**

Оцінку теплостійкості в літній період виконуємо згідно з вимогами ДСТУ-Н Б В.2.6-190:2013.

Вихідні дані. Параметри клімату району будівництва наведені в таблиці 3.11.

Таблиця 3.11. Розрахункові параметри клімату м. Київ

Назва параметра	Значення
Середня температура липня, °С (табл. 2 ДСТУ -Н Б В.1.1-27:2010)	19.80
Середня амплітуда добових коливань температури зовнішнього повітря в липні $A_{tz}$ , °С (табл. 2 ДСТУ -Н Б В.1.1-27:2010)	9.40
Максимальне значення сумарної сонячної радіації, що надходить на вертикальну поверхню західної орієнтації в липні $I_{max}$ , Вт/м <sup>2</sup> (табл. 17 ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010)	658
Середнє значення сумарної сонячної радіації, що надходить на вертикальну поверхню в липні $I_{сер}$ , Вт/м <sup>2</sup> (табл. 17 ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010)	162
Мінімальна з середніх швидкостей вітру по румбах за липень, повторюваність яких становить 16% і більше $v$ , м/с(табл. 6 ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010)	2.10

Параметри мікроклімату приміщення наведені в таблиці:

Таблиця 3.12. Розрахункові параметри мікроклімату в приміщенні (Київ)

Назва параметра	Значення
Температура внутрішнього повітря $t_{вн}$ , °С (згідно з таблицею Б.2 ДБН В.2.6-31:2021)	20.00
Вологість внутрішнього повітря $f_{вн}$ , % (згідно з таблицею Б.2 ДБН В.2.6-31:2021)	55.00
Вологісний режим приміщення	нормальний

При розрахунках враховується основні шари конструкції, їхні теплофізичні характеристики приймаються згідно з Додатком А ДСТУ 9191:2022.

Теплофізичні характеристики матеріалів шарів конструкції наведені в таблиці 3.13.

Таблиця 3.13. Характеристики матеріалів шарів конструкції

№	Назва шару	Товщина,	Густина $\rho$ ,	Теплопровідність $\lambda$ ,	Коефіцієнт теплозасвоєння $s$ ,
		(м)	кг/м <sup>3</sup>	Вт/(м*К). Умови експл. А	Вт/(м <sup>2</sup> К). Умови експл. А
1	Скло віконне	0.004	2500	0.76	10.79
2	Повітряний прошарок замкнутий	0.016	1.22	0.1143	0
3	Скло віконне	0.004	2500	0.76	10.79
4	Повітряний прошарок замкнутий	0.016	1.22	0.1143	0
5	Скло віконне	0.004	2500	0.76	10.79

Визначення теплових характеристик шарів непрозорої огорожувальної конструкції. Теплові опори теплопередачі шарів непрозорої огорожувальної конструкції розраховуємо з використанням значень  $\lambda$  для умов експлуатації А згідно з формулою (7) ДСТУ-Н Б.2.6-190:2013.

Визначення теплових характеристик шарів непрозорої огорожувальної конструкції. Теплові опори теплопередачі шарів непрозорої огорожувальної конструкції розраховуємо згідно з формулою (7) ДСТУ-Н Б.2.6-190:2013

$$R_1 = \frac{d_1}{\lambda_1} = \frac{0.004}{0.76} = 0.00526 \text{ м}^2 * \frac{\text{К}}{\text{Вт}}$$

Тепловий опір замкнутого повітряного прошарку визначаємо згідно з таблицею В.1 ДСТУ 9191:2022 Повітряний прошарок без відбивної ізоляції. Положення повітряного прошарку вертикальне.

$$R_2 = 0.14 \frac{\text{м}^2 * \text{К}}{\text{Вт}}$$

$$R_3 = \frac{d_3}{\lambda_3} = \frac{0.004}{0.76} = 0.00526 \text{ м}^2 * \frac{\text{К}}{\text{Вт}}$$

Тепловий опір замкнутого повітряного прошарку визначаємо згідно з таблицею В.1 ДСТУ 9191:2022 Повітряний прошарок без відбивної ізоляції. Положення повітряного прошарку вертикальне.

$$R_4 = 0.15 \frac{\text{м}^2 * \text{К}}{\text{Вт}}$$

$$R_5 = \frac{d_5}{\lambda_5} = \frac{0.004}{0.76} = 0.00526 \text{ м}^2 * \frac{\text{К}}{\text{Вт}}$$

Визначення теплових інерцій кожного шару непрозорої огорожувальної конструкції. Теплові інерції шарів непрозорої огорожувальної конструкції розраховуємо згідно з формулами (5) та (6) ДСТУ-Н Б.2.6-190:2013:

$$D_1 = R_1 * s_1 = 0.00526 * 10.79 = 0.0568$$

$$D_2 = R_2 * s_2 = 0.14 * 0 = 0$$

$$D_3 = R_3 * s_3 = 0.00526 * 10.79 = 0.0568$$

$$D_4 = R_4 * s_4 = 0.15 * 0 = 0$$

$$D_5 = R_5 * s_5 = 0.00526 * 10.79 = 0.0568$$

$$D = D_1 + D_2 + D_3 + D_4 + D_5 = 0.0568 + 0 + 0.0568 + 0 + 0.0568 = 0.1704$$

Визначення розрахункової амплітуди коливань зовнішнього повітря згідно з п. 4.3 ДСТУ-Н Б.2.6-190:2013. Коефіцієнт тепловіддачі зовнішньої поверхні огорожувальної конструкції в літній період визначаємо згідно з п. 4.4 ДСТУ-Н Б.2.6-190:2013:

$$\alpha_{3л} = 1.16 * (5 + 10 * v^{0.5}) = 1.16 * (5 + 10 * 2.1^{0.5}) = 22.61 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 * \text{К}}$$

Коефіцієнт поглинання сонячної радіації матеріалом зовнішньої поверхні огорожувальної конструкції прийнято  $\chi=0.52$ , як для алюміній матовий, згідно з табл. Б.1 ДСТУ-Н Б.2.6-190:2013.

Розрахункова амплітуда коливань температури зовнішнього повітря в липні визначаємо згідно з ф. (2) ДСТУ-Н Б.2.6-190:2013:

$$A_{t_{\text{зроз}}} = A_{t_{\text{з}}} + \chi * \frac{I_{\text{max}} - I_{\text{сер}}}{\alpha_{\text{зл}}} = 9.4 + 0.52 * \frac{658 - 162}{22.61} = 20.807 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Визначення показника теплосвоєння згідно з п. 4.13 ДСТУ-Н Б.2.6-190:2013:

$$Y_1 = \frac{R_1 * s_1^2 + h_{si}}{1 + R_1 * h_{si}} = \frac{0.00526 * 10.79^2 + 8.7}{1 + 0.00526 * 8.7} = 8.905 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 * ^\circ\text{C}}$$

$$Y_2 = \frac{R_2 * s_2^2 + Y_1}{1 + R_2 * Y_1} = \frac{0.14 * 0^2 + 8.905}{1 + 0.14 * 8.905} = 3.964 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 * ^\circ\text{C}}$$

$$Y_3 = \frac{R_3 * s_3^2 + Y_2}{1 + R_3 * Y_2} = \frac{0.00526 * 10.79^2 + 3.964}{1 + 0.00526 * 3.964} = 4.483 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 * ^\circ\text{C}}$$

$$Y_4 = \frac{R_4 * s_4^2 + Y_3}{1 + R_4 * Y_3} = \frac{0.15 * 0^2 + 4.483}{1 + 0.15 * 4.483} = 2.68 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 * ^\circ\text{C}}$$

$$Y_5 = \frac{R_5 * s_5^2 + Y_4}{1 + R_5 * Y_4} = \frac{0.00526 * 10.79^2 + 2.68}{1 + 0.00526 * 2.68} = 3.247 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 * ^\circ\text{C}}$$

Визначення величини затухання розрахункової амплітуди коливань температури зовнішнього повітря в огорожувальній конструкції.

Величина затухання розрахункової амплітуди коливань температури зовнішнього повітря в огорожувальній конструкції визначається згідно з ф. (3) ДСТУ-Н Б.2.6-190:2013:

$$\begin{aligned}
\nu &= 0.9 * e^{\frac{D}{2^{0.5}}} \\
&* \left( \frac{s_1 + h_{si}}{s_1 + Y_1} * \frac{s_2 + Y_1}{s_2 + Y_2} * \frac{s_3 + Y_2}{s_3 + Y_3} * \frac{s_4 + Y_3}{s_4 + Y_4} * (s_5 + Y_4) \right. \\
&* \left. \frac{\alpha_{3л} + Y_5}{(s_5 + Y_5) * \alpha_{3л}} \right) \\
&= 0.9 * 2.71828^{\frac{0.1704}{2^{0.5}}} \\
&* \left( \frac{10.79 + 8.7}{10.79 + 8.905} * \frac{0 + 8.905}{0 + 3.964} * \frac{10.79 + 3.964}{10.79 + 4.483} * \frac{0 + 4.483}{0 + 2.68} \right. \\
&* \left. (10.79 + 2.68) * \frac{22.61 + 3.247}{(10.79 + 3.247) * 22.61} \right) = 4.002
\end{aligned}$$

Визначення амплітуди коливань температури внутрішньої поверхні огорожувальних конструкцій. Амплітуда коливань температури внутрішньої поверхні огорожувальних конструкцій визначається згідно з ф. (1) ДСТУ-Н Б.2.6-190:2013:

$$A_{\theta,si} = \frac{A_{t_{зроз}}}{\nu} = \frac{20.807}{4.002} = 5.199 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Оскільки:

$$A_{\theta,si} = 5.20 \text{ } ^\circ\text{C} > 1.5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

то умова (7) ДБН В.2.6-31:2021 - не виконується.

Невиконання умов по тепловологісному режиму для віконних конструкцій спеціально показано з метою подальшої оцінки впливу отриманих величин, зокрема опору теплопередачі непрозорих огорожувальних конструкцій на енергопотребу будівлі числовим методом, що і буде зроблено у наступному розділі.

### 3.7. Висновки по розділу 3

Проведені дослідження та розрахунки по оцінці вологісного режиму зовнішніх огорожувальних конструкцій будівлі з шаром утеплювача на зовнішній та внутрішній стороні, а також без утеплювача, які були спрямовані на вибір оптимального місця розташування утеплювача, з точки зору будівельної фізики.

Отримані результати досліджень дозволяють чітко визначитися з конструктивним рішенням зовнішніх огорожень вже на стадії розробки проектною документації. Для кожного конкретного конструктивного рішення, встановлено оптимальне місце розміщення утеплювача, виходячи з умови ненакопичення вологи в товщі досліджуваної конструкції. Так, при правильній оцінці вологісного режиму, конструкції з внутрішнім утепленням не можуть бути застосовані. Як бачимо, для такої конструкції відбувається конденсація вологи в товщі утеплювача, що є недопустимим.

Показано, що цегляна кладка без утеплення, для збереження розрахункового терміну її оптимальної експлуатації, також потребує проведення заходів щодо доведення її термічного опору теплопередачі до нормованого значення або улаштування більш інтенсивного повітрообміну у приміщеннях будівлі. Однак, останнє може викликати додаткові енерговитрати. Доцільність того чи іншого підходу потрібно більш детально розглядати з точки зору порівняння експлуатаційних витрат та енергетичних витрат будівлею.

Доведено, що при проектуванні житлових і громадських будинків результати оцінки вологісного режиму зовнішніх огорожувальних конструкцій та енергетичних показників будівлі на відповідність діючим вимогам є дуже важливим критерієм при виборі постачальника будівельних матеріалів зі значного асортименту на ринку, який може виявитися вирішальним у прийнятті конкретного проектного рішення.

РОЗДІЛ 4  
ОЦІНКА ВПЛИВУ ОПОРУ ТЕПЛОПЕРЕДАЧІ НЕПРОЗОРИХ  
ОГОРОДЖУВАЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ БУДІВЛІ НА ЕНЕРГОПОТРЕБУ  
БУДІВЛІ

**4.1. Оцінка впливу опору непрозорих стінових огороджувальних конструкцій на енергопотребу будівлі числовим методом**

Сумарна теплопередача та теплові надходження розраховані згідно з [31], де динамічні впливи враховано шляхом введення коефіцієнта використання надходжень для опалення (прийнято у дослідженні) та коефіцієнта використання втрат для охолодження. Вплив інерції у випадку переривчастого опалення чи його вимкнення враховано окремо.

Безрозмірний коефіцієнт використання надходжень для опалення  $\eta_{H,gn}$ , розрахований для кожного місяця згідно з [31] на підставі співвідношення надходжень і втрат теплоти  $\gamma_H$  та числового параметра  $\alpha_H$ , який залежить від інерції будівлі:

$$a_H = a_{H,0} + \frac{\tau}{\tau_{H,0}}, \quad (4.1)$$

де  $a_{H,0}$  – довідковий безрозмірний числовий параметр,  $a_{H,0} = 1,0$ ;  $\tau$  – часова константа зони будівлі, год;  $\tau_{H,0}$  – довідкова часова константа, яку приймають 15 год.

Часова константа зони будівлі  $\tau$ , год, характеризує внутрішню теплову інерцію кондиціонованої зони будівлі, як для періоду опалення, так і для періоду охолодження:

$$\tau = \frac{C_m}{H_{tr,adj} + H_{ve,adj} + H_{ve,extra,adj}}, \quad (4.2)$$

де  $C_m$  – внутрішня теплоємність будівлі або зони будівлі, Вт·год/К;  $H_{tr,adj}$  – репрезентативне значення загального коефіцієнта теплопередачі трансмісією, Вт/К;  $H_{ve,adj}$  – репрезентативне значення загального коефіцієнта теплопередачі вентиляцією, Вт/К;  $H_{ve,extra,adj}$  – репрезентативне значення загального коефіцієнта теплопередачі за рахунок додаткової вентиляції від нічного та/або природного охолодження, Вт/К (для режиму опалення  $H_{ve,extra,adj} = 0$ ):

$$H_{ve,extra,adj} = \frac{\sum_{i=1}^n (\sum_{j=1}^{24} f_{ve,extra,j,k} H_{ve,extra,j,k})}{t}, \quad (4.3)$$

де  $H_{ve,extra,j,k}$ ,  $f_{ve,extra,j,k}$  - загальний коефіцієнт теплопередачі за рахунок додаткової вентиляції (нічна вентиляція та/або природне охолодження) від  $k$ -го елемента, Вт/К, та частка роботи для конкретної  $j$ -ої години доби  $i$ -го дня місяця від  $k$ -го елемента додаткової вентиляції (якщо нічна вентиляція та/або природне охолодження працює  $f_{ve,extra,j,k} = 1$ , в іншому випадку 0,5;  $j$  - крок розрахунку в годинах, від 1 до 24 год.;  $i = 1$  до  $N$  - крок розрахунку в добах ( $N = 31$  для січня).

Будівля об'єкту дослідження відноситься до класу «масивних» забудов – цегляна кладка у дві цеглини із залізобетонним перекриттям. У такому випадку, внутрішня теплоємність будівлі розрахована згідно з [31]:

$$C_m = C \cdot A_f, \text{ Вт} \cdot \text{год} / \text{К}, \quad (4.4)$$

де  $C$  – внутрішня теплоємність будівлі на одиницю площі, приймають згідно таблиці 15 [31], Вт·год/(м<sup>2</sup>·К);  $A_f$  – кондиціонована площа будівлі, м<sup>2</sup>.

У нашому випадку, для переривчастого (чергового) режиму опалення, енергопотребу для опалення  $Q_{H,nd,interm}$ , Вт·год, визначено:

$$Q_{H,nd,interm} = \alpha_{H,red} \cdot Q_{H,nd,cont}, \quad (4.5)$$

де  $Q_{H,nd,cont}$  - енергопотреба для постійного опалення, Вт·год;  $\alpha_{H,red}$  - безрозмірний понижувальний коефіцієнт для переривчастого режиму опалення, з мінімальним значенням  $\alpha_{H,red} = f_{H,hr}$  і максимальним значенням  $\alpha_{H,red} = 1$ :

$$\alpha_{H,red} = 1 - b_{H,red} \cdot (\tau_{H,O}/\tau) \cdot \gamma_H \cdot (1 - f_{H,hr}), \quad (4.5)$$

де  $f_{H,hr}$  - частка кількості годин на тиждень з нормальним (постійним) заданим режимом опалення (не заданим черговим або відключеним);  $b_{H,red}$  - емпіричний коефіцієнт кореляції,  $b_{H,red} = 3$ ;  $\tau$  - часова константа зони будівлі, год.;  $\tau_{H,O}$  - довідкова часова константа для режиму опалення, год.;  $\gamma_H$  - співвідношення надходжень і втрат теплоти для режиму опалення.

*Коригування для періоду невикористання.* Згідно даних [16], встановлено, що у досліджуваній будівлі періоди невикористання протягом опалювального періоду (у вихідні та святкові дні), приводять до скорочення енергоспоживання при опаленні.

Розраховано енергопотребу для опалення з урахуванням періоду невикористання,  $Q_{H,nd}$ , Вт·год:

- а) для періоду використання (нормальні налаштування опалення);
- б) для налаштувань періоду невикористання.

Проведена лінійна інтерполяція залежно від часової частки режиму невикористання порівняно з режимом обслуговування:

$$Q_{H,nd} = (1 - f_{H,nocc}) \cdot Q_{H,nd,occ} + f_{H,nocc} \cdot Q_{H,nd,nocc}, \quad (4.7)$$

де  $Q_{H,nd,occ}$  - енергопотреба для опалення, Вт·год, (або  $Q_{H,nd,cont}$  або  $Q_{H,nd,interm}$ ), припускаючи, що у всі дні місяця регулювання та налаштування автоматичного регулятора температури повітря в приміщенні (наприклад, терморегулятора на опалювальному приладі) відповідають налаштуванням періоду використання;  $Q_{H,nd,nocc}$  - енергопотреба для опалення, Вт·год, (або  $Q_{H,nd,cont}$  або  $Q_{hi,nd,interm}$ ), припускаючи, що у всі дні місяця регулювання та налаштування терморегулятора відповідають налаштуванням періоду невикористання;  $f_{H,nocc}$  - частка місяця з періодом невикористання опалення (наприклад, 10/31).

Додатково, згідно з методикою [31], досліджено вплив систем автоматичного регулювання, встановленої у пункті централізованого теплопостачання:

$$Q_{gen,out} = Q_{dis,in}/\eta_{ac} \quad (4.8)$$

де  $Q_{gen,out}$  - вироблена/генерована енергія (енергія виходу) від підсистеми генерації (акумулявання), зокрема на основі фазо перехідних акумуляторів теплоти [34];  $Q_{dis,in}$  - енергія входу в підсистему розподілення;  $\eta_{ac}$  - ефективність автоматичного регулювання.

Оцінюючи вплив опору непрозорих огорожувальних конструкцій будівлі на параметри теплового комфорту приміщень числовим методом за [35], встановлено, що використана модель враховує динамічну зміну теплових потоків через досліджувані конструкції, які виконані з різних конструкційних матеріалів. Результати розрахунків за [35], наведено на рис. 4.1.

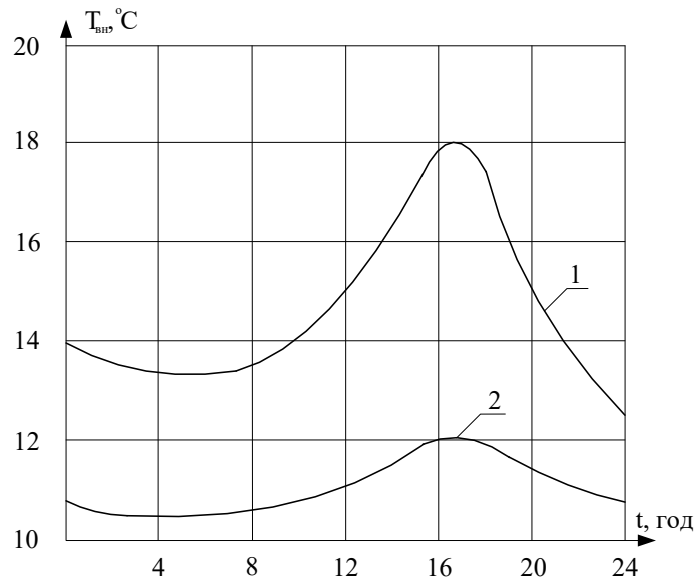


Рис. 4.1. Зміна температури на внутрішній поверхні стіни приміщення на протязі доби: 1 – огорожувальні конструкції виконані з багат шарових стінових конструкцій з утеплювачем; 2 – огорожувальні конструкції виконані з цегельної кладки без утеплювача.

Аналіз рисунку 4.1 показує, що при запровадженні режиму роботи системи опалення громадської будівлі в черговому режимі спостерігається суттєва зміна температури на внутрішній поверхні огорожувальної конструкції. Так, у випадку зовнішніх стін, які виконані з багат шарових стінових конструкцій з утеплювачем, зниження температури досягає  $\pm 5$  °C, що відповідає вимогам [15], на відміну від огорожувальних конструкцій будівлі виконаних з цегельної кладки без утеплювача. Останнє вказує на суттєво нижчий показник внутрішньої теплоємності такої будівлі.

*Квазіпостійне опалення.* Для досліджуваного об'єкту, розглянуто та досліджено режим переривчастого (чергового) опалення, як постійного опалення з урахуванням заданого значення температури, у режимі А та режимі Б.

Режим А: задана температура для розрахунку є осередненою за часом із значень заданих температур для періодів постійного опалення та періодів

чергового опалення, оскільки часова константа будівлі менше ніж 0,2 тривалості найкоротшого періоду з черговим режимом опалення.

Так, дослідним шляхом підтверджено, що важливим фактором при впровадженні чергового режиму опалення є теплова інерційність будівлі, яка визначає проміжок часу та глибину регулювання [16] за умови збереження параметрів комфортності приміщень. При переході з постійного режиму на черговий, середнє зниження температур теплоносія та повітря в приміщеннях (з 18-00 до 4-00) становило 8-10 °С та >16 °С (при дозволених 12 °С) відповідно. Зафіксоване значення температури зовнішнього повітря становило -3 °С. Враховуючи конструктив зовнішніх стін об'єкту дослідження, встановлений час «розігріву» будівлі, система опалення якої тривалий час працювала у черговому режимі, з досягненням параметрів теплового комфорту приміщень. Так, тривалість розігріву будівлі типу «А», при роботі системи опалення у «форсованому» режимі, склала 6,5 годин [16]. Економія спожитої теплової енергії при роботі системи опалення будівлі в черговому режимі склала 6-8 %, температура повітря в цей період підтримувалась на рівні 12 °С.

Розроблено алгоритм управління процесом відпуску теплоти з урахуванням показника внутрішньої теплоємності будівлі. Порівняно з традиційною («лінійною») залежністю (характерною для будівель типу «А») це дозволяє більш точно коригувати графік відпуску теплоносія (див. рис. 4.2) в систему опалення громадської будівлі під час впровадження чергового режиму її роботи.

Діапазон відхилення температур знижується на 4-6 °С, що дозволило заощадити до 10-12 % спожитої теплової енергії на потреби опалення навчально-адміністративного корпусу НУБіП України при умові збереження нормованих (для чергового режиму) значень внутрішньої температури приміщень.

Режим Б: задана температура для розрахунку є заданою температурою для звичайного (постійного) режиму опалення, оскільки часова константа

будівлі більша ніж у три рази за тривалість найдовшого періоду з черговим режимом опалення.

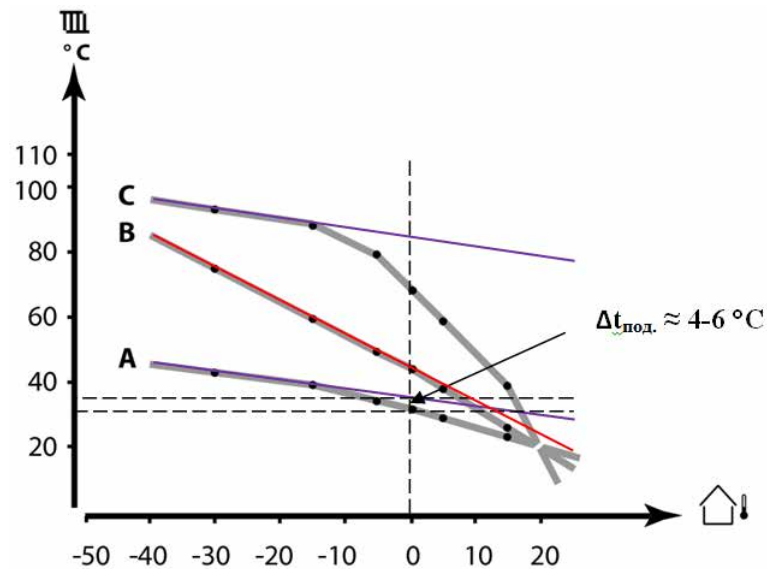


Рис. 4.2. Температурний графік відпуску теплоносія в систему опалення будівлі з урахуванням температури зовнішнього повітря та показника внутрішньої теплоємності споруди [16]

Порівнюючи дані фактичного споживання житловою будівлею з розрахунковим приведеним до фактичної кількості градусо-днів опалювального періоду (за березень місяць 2019 року, табл. 4 [16]) та параметрів комфортності приміщень (температура та вологість повітря) встановлено, що при несуттєвому (+1,3 °C) відхиленні показників фактичних значень внутрішньої температури повітря в приміщеннях будівлі від нормованих значень (18±2 °C), спостерігалось перевищення рівня фактичного споживання теплової енергії порівняно з розрахунковим приведеним до фактичної кількості градусо-днів значення на 3,73 Гкал [16]. Таким чином, при роботі системи опалення громадської будівлі у постійному режимі (див. рис. 4.3, а), спостерігалась перевитрата спожитої теплової енергії на 7,4 % за опалювальний період 2018-2019 років.

Враховуючи конструктив огорожувальних конструкцій об'єкту, досліджений вплив опору теплопередачі на показники ефективності роботи системи опалення будівлі з урахуванням параметрів зовнішнього

навколишнього середовища та мікроклімату приміщень у динамічному режимі, здійснено порівняння питомих показників енергоспоживання будівлі «до» впровадження алгоритму управління процесом відпуску теплоти з урахуванням показника її внутрішньої теплоємності (див. рис. 4.3, а) та «після» (див. рис. 4.3, б). Враховуючи фактичні показники економії спожитої теплової енергії при роботі системи опалення будівлі в черговому режимі на рівні 6-8 %, а також величину відхилення показників фактичних значень внутрішньої температури повітря в приміщеннях будівлі від нормованих значень, загальний показник економії спожитої теплової енергії склав 14-16 %.

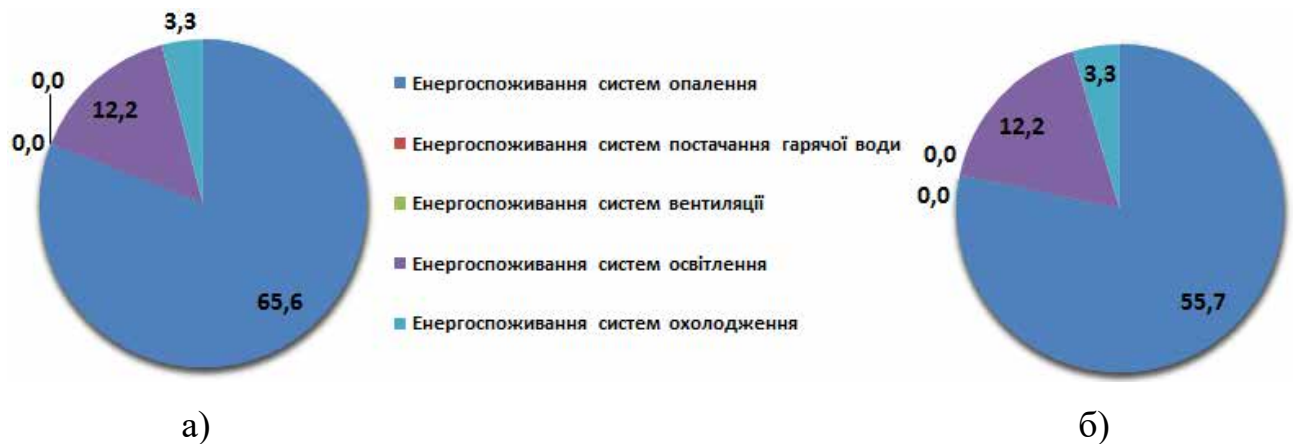


Рис. 4.3. Питомі показники енергоспоживання будівлі «до» (а) та «після» (б) впровадження алгоритму управління процесом відпуску теплоти з урахуванням показника її внутрішньої теплоємності, кВт·год/м<sup>2</sup>.

## 4.2. Висновки по розділу 4

1. Враховуючи конструктив зовнішніх стін об'єкту дослідження, встановлено час «розігріву» будівлі, система опалення якої тривалий час працювала у черговому режимі, з досягненням параметрів теплового комфорту приміщень. Так, тривалість розігріву будівлі типу «А», при роботі системи опалення у «форсованому» режимі, склала 6,5 годин. Економія спожитої теплової енергії при роботі системи опалення будівлі в черговому

режимі склала 6-8 %, температура повітря в цей період підтримувалась на рівні 12 °С.

2. Оцінюючи вплив опору огорожувальних конструкцій на параметри теплового комфорту приміщень числовим методом встановлено, що використана модель враховує динамічну зміну теплових потоків через досліджувані стінові конструкції, які виконані з різних матеріалів, в т.ч. в черговому режимі. Так, у випадку зовнішніх стін, які виконані з багат шарових стінових конструкцій з утеплювачем, зниження температури досягає  $\pm 5$  °С, що відповідає вимогам ДБН В.2.6-31:2021, на відміну від огорожувальних конструкцій будівлі виконаних з цегельної кладки без утеплювача.

3. Розроблено алгоритм управління процесом відпуску теплоти з урахуванням показника внутрішньої теплоємності будівлі. Порівняно з традиційною («лінійною») залежністю це дозволяє більш точно коригувати графік відпуску теплоносія в систему опалення громадської будівлі під час впровадження чергового режиму її роботи. Діапазон відхилення температур знижується на 4-6 °С, що дозволило заощадити до 10-12 % спожитої теплової енергії на потреби опалення житловим будинком при умові збереження нормованих значень внутрішньої температури приміщень.

4. Враховуючи фактичні показники економії спожитої теплової енергії при роботі системи опалення будівлі в черговому режимі на рівні 6-8 %, а також величину відхилення показників фактичних значень внутрішньої температури повітря в приміщеннях від нормованих значень, загальний показник економії спожитої теплової енергії склав 14-16 %.

## ВИСНОВКИ

У даній магістерській роботі проведено оцінювання впливу рівня теплового захисту огорожувальних конструкцій житлової будівлі на показники її питомого енергоспоживання. Розглянуто основні інформативні показники та моделі енергоефективності будівель, встановлено, що в математичних моделях теплового режиму і розрахунку втрат теплоти доцільно враховувати погодні дані місцевості, геометрію та теплофізичні властивості будівлі, внутрішні тепловиділення, технічні характеристики системи теплопостачання, вентиляції та охолодження, графіки експлуатації і нормовані параметри мікроклімату приміщень. Зокрема встановлено наступне:

Запропонована модель теплового режиму будівлі, як єдиної теплоенергетичної системи з урахуванням трьох її підсистем: моделі теплоенергетичного впливу зовнішнього клімату на будівлю ( $\eta_1$ ), моделі теплоенергетичного впливу теплової інерції оболонки будівлі ( $\eta_2$ ) та моделі теплоенергетичного впливу інженерних систем будівлі ( $\eta_3$ ).

Проведені дослідження та розрахунки по оцінці вологісного режиму зовнішніх огорожувальних конструкцій будівлі з шаром утеплювача на зовнішній та внутрішній стороні, а також без утеплювача, які були спрямовані на вибір оптимального місця розташування утеплювача, з точки зору будівельної фізики.

Отримані результати досліджень дозволяють чітко визначитися з конструктивним рішенням зовнішніх огорожень вже на стадії розробки проектної документації. Для кожного конкретного конструктивного рішення, встановлено оптимальне місце розміщення утеплювача, виходячи з умови ненакопичення вологи в товщі досліджуваної конструкції. Так, при правильній оцінці вологісного режиму, конструкції з внутрішнім утепленням не можуть бути застосовані. Для такої конструкції відбувається конденсація вологи в товщі утеплювача, що є недопустимим.

Показано, що цегляна кладка без утеплення, для збереження розрахункового терміну її оптимальної експлуатації, також потребує проведення заходів щодо доведення її термічного опору теплопередачі до нормованого значення або улаштування більш інтенсивного повітрообміну у приміщеннях будівлі. Однак, останнє може викликати додаткові енерговитрати. Доцільність того чи іншого підходу потрібно більш детально розглядати з точки зору порівняння експлуатаційних витрат та енергетичних витрат будівлею.

Доведено, що при проектуванні житлових і громадських будинків результати оцінки вологісного режиму зовнішніх огорожувальних конструкцій та енергетичних показників будівлі на відповідність діючим вимогам є дуже важливим критерієм при виборі постачальника будівельних матеріалів зі значного асортименту на ринку, який може виявитися вирішальним у прийнятті конкретного проектного рішення

Оцінюючи вплив опору огорожувальних конструкцій на параметри теплового комфорту приміщень числовим методом встановлено, що використана модель враховує динамічну зміну теплових потоків через досліджувані стінові конструкції, які виконані з різних матеріалів, в т.ч. в черговому режимі. Так, у випадку зовнішніх стін, які виконані з багат шарових стінових конструкцій з утеплювачем, зниження температури досягає  $\pm 5$  °C, що відповідає вимогам ДБН В.2.6-31:2021, на відміну від огорожувальних конструкцій будівлі виконаних з цегельної кладки без утеплювача.

Розроблено алгоритм управління процесом відпуску теплоти з урахуванням показника внутрішньої теплоємності будівлі. Порівняно з традиційною («лінійною») залежністю це дозволяє більш точно коригувати графік відпуску теплоносія в систему опалення громадської будівлі під час впровадження чергового режиму її роботи. Діапазон відхилення температур знижується на 4-6 °C, що дозволило заощадити до 10-12 % спожитої теплової

енергії на потреби опалення житловим будинком при умові збереження нормованих значень внутрішньої температури приміщень.

Враховуючи фактичні показники економії спожитої теплової енергії при роботі системи опалення будівлі в черговому режимі на рівні 6-8 %, а також величину відхилення показників фактичних значень внутрішньої температури повітря в приміщеннях від нормованих значень, загальний показник економії спожитої теплової енергії склав 14-16 %.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Про енергетичну ефективність будівель: Закон України від 22 червня 2017 р. № 2118- VIII // Верховна Рада України. Відомості Верховної Ради України. – 2017. – № 33. – Ст. 359. 2024. [Онлайн]. Доступно: [https://ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2020/zf/zf\\_reg/arh\\_zf\\_reg\\_u.htm](https://ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2020/zf/zf_reg/arh_zf_reg_u.htm)
2. “Концепція державної цільової економічної програми з енергоефективності та розвитку відновлюваних джерел енергії на 2021 – 2025 роки”, груд. 2020. Дата звернення: 30 груд. 2023. [Онлайн]. Доступно: <https://saee.gov.ua/uk/pressroom/3612>
3. І.Ю. Білоус, “Оцінювання енергетичної ефективності будівель в умовах динамічної зміни характеристик середовища”, дис. Кандидата технічних наук., спеціальність 05.14.01 «Енергетичні системи та комплекси», КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ, 2019.
4. “European Environmental Agency”. Дата звернення: 29 груд. 2023. [Онлайн]. Доступно: [https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/daviz/unit-consumption-of-space-heating#tab-chart\\_1](https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/daviz/unit-consumption-of-space-heating#tab-chart_1)
5. Житлові будинки. Основні положення, ДБН В.2.2-15:2019, Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, Київ, 2019.
6. Bilous I.Yu., Deshko V.I., and Sukhodub I.O. "Building energy modeling using hourly infiltration rate" Magazine of Civil Engineering, №. 4 (96), 2020, pp. 27 – 41.
7. “Guidelines for Home Energy Professionals Standard Work Specifications”. Energy Department. Дата звернення: 1 січ. 2024. [Онлайн]. Доступно: <https://www.energy.gov/scep/guidelines-home-energy-professionals-standard-work-specifications>
8. Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings, ANSI/ASHRAE/IES Standard 90.1-2010, ANSI/ASHRAE, 2012.

9. Наказ Міністерства розвитку громад та територій України від 27 жовтня 2020 року № 261 «Про затвердження Змін до Методики визначення енергетичної ефективності будівель», зареєстровано в Міністерстві юстиції України від 17 грудня 2020 р. за № 1254/35537.

10. ДСТУ Б EN 15459:2014 Енергетична ефективність будівель. Процедура енергетичної оцінки систем будівель (EN 15459:2007, IDT).

11. 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.

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

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

14. Наказ Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України від 11 липня 2018 року № 169 «Про затвердження Методики визначення енергетичної ефективності будівель», зареєстровано в Міністерстві юстиції України від 16 липня 2018 р. за № 822/32274.

15. ДБН В.2.6-31:2021 «Теплова ізоляція та енергоефективність будівель». Київ: Держстандарт України, 2022. 33 с.

16. 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>.

17. Дешко В.І., Білоус І.Ю., Буяк Н.А., Голубенко О.О., Гурєєв М.В. Вплив теплоінерційних особливостей огорожень на умови комфортності при впровадженні енергоощадних режимів опалення в будівлях. Науково-технічний збірник «Комунальне господарство міст». Серія: технічні науки та архітектура, 2019. Т.3. випуск 149. С. 44–50.

18. Дешко В.І., Білоус І.Ю., Буюк Н.А. Вплив переривчастих режимів опалення на динаміку енергопотребити та умови комфортності будівель з різним рівнем теплового захисту. Наукові вісті НТУУ КПІ, 2019. №4. С. 7–16.
19. Esmailzadeh A., Zakerzadeh M. R., & Yousefi Koma A. The Comparison of Some Advanced Control Methods for Energy Optimization and Comfort Management in Buildings, *Sustainable Cities and Society*, 2018. V. 43, P. 601–623. doi:10.1016/j.scs.2018.08.038.
20. Nalyvaiko V., Radko I., Zhylytsov 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.
21. DSTU B EN ISO 7730: 2011. Erhonomika teplovoho seredovyscha. Analitichne vyznachennia ta interpretatsiia teplovoho komfortu na osnovi rozrakhunkiv pokaznykiv PMV i PPD i kryteriiv lokalnoho teplovoho komfortu. [Chynnyi vid 2013-01-01]. Kyiv: Minrehion Ukrainy, 2012. 74 s.
22. DSTU B EN 15251: 2011. Rozrakhunkovi parametry mikroklimatu prymishchen dlia proektuvannia ta otsinky enerhetychnykh kharakterystyk budivel po vidnoshenniu do yakosti povitria, teplovoho komfortu, osviltennia ta akustyky budivel. [Chynnyi vid 2013-07-01]. Kyiv: Minrehion Ukrainy, 2012. 71s.
23. DSTU B EN 15261: 2012. Rozrakhunok parametriv mikroklimatu. [Chynnyi vid 2013-01- 01], Kyiv, Minrehion Ukrainy, 2012. 81 s.
24. Демченко В. В. Методи підвищення енергоефективності будівлі / В. В. Демченко, Х. М. Чуприна, О. В. Невмержицький // *Управління розвитком складних систем*. - 2013. - Вип. 16. - С. 138-143. - Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Urss\\_2013\\_16\\_27](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Urss_2013_16_27).
25. German Association of Engineers, Calculation of transient thermal response of rooms and buildings – modelling of rooms. 91.140.10 (VDI 6007-1), BeuthVerlagGmbH, Düsseldorf, 2012.
26. Reeves T., Olbina S., Raja R. A. Issa Guidelines for Using Building Information Modeling for Energy Analysis of Buildings. *Buildings*. Vol. 5 P. 1361–1388. 2015.

27. TRNSYS Energy Simulation Software <http://www.trnsys.com>.
28. Deshko V., Sukhodub I., Bilous I. Mathematical models for determination of specific energy need for heating used in Ukraine. *Journal of New Technologies in Environmental Science (JNTES)*. 2018. Vol. 1. P. 13–25.
29. Fanger, P. Assessment of man's thermal comfort in practice. *British Journal of Industrial Medicine*, 1973. V. 30, 313–324.
30. ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 «Будівельна кліматологія». Київ: Ministry of the Region of Ukraine. 2011. 130 p.
31. ДСТУ 9190:2022 Енергетична ефективність будівель. Метод розрахунку енергоспоживання під час опалення, охолодження, вентиляції, освітлення та гарячого водопостачання.
32. ISO 52016-1:2017 Energy performance of buildings - Energy needs for heating and cooling, internal temperatures and sensible and latent heat loads — Part 1: Calculation procedures.
33. Програмне забезпечення: «Вологісний режим огорожувальних конструкцій»: [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://patriot-nrg.com/content/programne-zabezpechennya-vologisnyy-rezhym-ogorodzhuvalnyh-konstrukciy>.
34. Gorobets V., Antypov I., Trokhaniak V., Bohdan Y. Experimental and numerical studies of heat and mass transfer in low-temperature heat accumulator with phase transformations of accumulating material. – *MATEC Web of Conferences*. – Vol. 240, 01009.
35. Черних Л.Ф., Родіонова Т.Ю., Горбонос Н.Н., Дац П.А. Методика визначення опору теплопередачі огорожувальних конструкцій. – Київ, 2006. – 12 с.