МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ім. Ю.М. ПОТЕБНІ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра промислового та цивільного будівництва

Кваліфікаційна робота/проект

другий магістерський рівень
(рівень вищої освіти)

на тему: **«Конструктивні особливості енергетичної та економічної ефективності індивідуальних житлових будівель»**

Виконав: студент 2 курсу, групи: 8.1923– пцб –2
спеціальності 192 Будівництво та цивільна інженерія
(код і назва спеціальності)
освітньої програми промислове і цивільне будівництво
Трофімов Артем Євгенович
(прізвище та ініціали)
Науковий керівник проф., д.е.н., Анін В.І.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)
Рецензент доц.,к.т.н.Мішук К.М.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Запоріжжя – 2024 року

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потебні

Кафедра Промислового та цивільного будівництва

Рівень вищої освіти другий магістрський рівень

(другий (магістерський) рівень)

Спеціальність 192 "Будівництво та цивільна інженерія"

(шифр і назва)

Освітньо-професійна програма "Промислове і цивільне будівництво"

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ПЦБ

проф. Арутюнян І.А.

«_____»_____20___року

З А В Д А Н Н Я

НА КВАЛІФІКЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТОВІ

Трофімов Артем Євгенович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи (проекту): Конструктивні особливості енергетичної та економічної ефективності індивідуальних житлових будівель

Науковий керівник Анін В.І. професор, д.е.н.

(прізвище, ім`я по батькові, науковий ступень, вчене звання)

затверджені наказом ЗНУ від " 30 " 09 2024 року № 1486 – с

2. Строк подання студентом роботи 01 грудня 2024 р.

3. Вихідні дані до роботи Конструктивні особливості енергетичної та економічної ефективності індивідуальних житлових будівель

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Вивчити існуючі методи та підходи щодо оцінки енергоефективності фасадних систем. 2. Провести аналіз різних конструктивних особливостей фасадних систем та їхнього впливу на енергоефективність. 3. Провести експериментальне дослідження вибраних фасадних систем з метою оцінки їх енергоефективності.4. Порівняти результати та виявити оптимальні конструктивні рішення для підвищення енергоефективності фасадних систем житлових будівель.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов`язкових креслень) 8 листів формату А1

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділ 1	Анін В.І. професор, д.е.н..		
Розділ 2	Анін В.І. професор, д.е.н.		
Розділ 3	Анін В.І. професор, д.е.н.		

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфкаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Вивчити існуючі методи та підходи щодо оцінки енергоефективності фасадних систем.		
2.	Провести аналіз різних конструктивних особливостей фасадних систем та їхнього впливу на енергоефективність.		
3.	Провести експериментальне дослідження вибраних фасадних систем з метою оцінки їх енергоефективності.		

Студент _____ Трофімов А. Є.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи/проекту _____ Анін В.І.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль пройдено _____ Данкевич Н.О.
(підпис) (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Трофімов Артем Євгенович. Конструктивні особливості енергетичної та економічної ефективності індивідуальних житлових будівель.

Кваліфікаційна випускна робота для здобуття ступеня вищої освіти магістра за спеціальністю 192 Будівництво та цивільна інженерія, науковий керівник В.І. Анін. Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потебні Запорізького національного університету, кафедра промислового та цивільного будівництва, 2024.

Проблема споживання тепло- і енергоресурсів індивідуального житлового будівництва є актуальніше з кожним роком, як для населення, так і для керуючих компаній. Пропонується впровадити у будинки деякі енергоефективні організаційно-технологічні рішення. Такі заходи повинні призвести до скорочення витрат на експлуатацію будівель та споруд, збільшення термінів служби будівель, поліпшення якості житла, зменшення шкідливого впливу на довкілля. Стає можливим частково замінити важкі теплоємні конструкції більш легкими та ефективними, що призведе до зниження навантажень на основи та фундаменти.

Основними показниками є зниження витрат на експлуатацію будівель та зменшення темпів забруднення навколишнього середовища. Прагнення поєднувати ці фактори робить раціональним застосування принципів та підходів активної енергетичної архітектури.

Ключові слова: енергоефективні огороджувальні конструкції, витрата теплової енергії, витрати на опалення, індивідуальна житлова будівля, економічний аналіз, стійке будівництво.

ABSTRACT

Artem Evgenovich Trofimov. Design features of energy and economic efficiency of individual residential buildings.

Qualifying graduation thesis for obtaining a master's degree of higher education in the specialty 192 Construction and civil engineering, scientific supervisor V.I. Anin. Engineering Educational and Scientific Institute named after Yu.M. Potebny Zaporizhia National University, Department of Industrial and Civil Engineering, 2024.

The problem of consumption of heat and energy resources of individual residential construction is more urgent every year, both for the population and for management companies. It is proposed to implement some energy-efficient organizational and technological solutions in houses. Such measures should lead to a reduction in costs for the operation of buildings and structures, an increase in the service life of buildings, an improvement in the quality of housing, and a reduction in the harmful impact on the environment. It becomes possible to partially replace heavy heat-intensive structures with lighter and more efficient ones, which will lead to a reduction in loads on bases and foundations.

The main indicators are the reduction of costs for the operation of buildings and the reduction of the rate of environmental pollution. The effort to combine these factors makes it rational to apply the principles and approaches of active energy architecture.

Key words: energy-efficient enclosing structures, thermal energy consumption, heating costs, individual residential building, economic analysis, sustainable construction.

ЗМІСТ

ВСТУП……8

1. ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ ДОСЛІДЖЕННЯ КОНСТРУКТИВНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ ФАСАДНИХ СИСТЕМ ЖИТЛОВИХ БУДІВЕЛЬ НА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ ……...10

1.1 Актуальність проблеми на сучасному етапі……10

1.2 Вітчизняний та зарубіжний досвід дослідження в галузі енергозбереження будівель ……20

1.2.1 Вітчизняний досвід дослідження в галузі енергозбереження будівель ……20

1.2.2 Зарубіжний досвід дослідження в галузі енергозбереження будівель ……21

1.3 Формування методичних підходів до визначення питомих роз ходів енергоресурсів ……...23

2. ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ФАСАДНИХ СИСТЕМ, ЩО ВИКОРИСТОВУЮТЬСЯ ПРИ СПОРУДЖЕННІ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ ЖИТЛОВИХ БУДІВЕЛЬ ……33

2.1 Аналіз енергоефективності основних типів архітектурно-планувальних рішень багатоповерхових житлових будинків ……..33

2.1.1 Аналіз наукових досліджень з теми енергоефективності архітектурно-планувальних рішень багатоповерхових житлових будівель ...33

2.2 Енергоефективні фасадні системи та застосовувані будівельні матеріали ……..39

2.3 Порівняння енергоефективності основних типів фасадних систем за якісними показниками ……45

2.4 Розрахункове порівняльне дослідження енергоефективності варіантів фасадних систем ……..51

3. МЕТОДОЛОГІЧНІ ПІДХОДИ РАЦІОНАЛЬНОГО ВИКОРИСТАННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ КОНСТРУКЦІЙ ФАСАДНИХ СИСТЕМ ЖИТЛОВИХ БУДІВЕЛЬ ……...70

3.1 Оцінка ефективності використання прогресивних технологій фасадних систем житлових будинків при енергозбереженні ……..70

ВИСНОВКИ ……76

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ ……...78

ВСТУП

Актуальність. В умовах сучасного суспільства енергоефективність є однією з ключових проблем у галузі будівництва та житлово-комунального господарства. Існуючі проблеми та виклики, пов’язані з енергетичною ефективністю та збереженням ресурсів, вимагають пошуку нових підходів та технологій для скорочення споживання енергії у житлових будинках. В цьому контексті вивчення конструктивних особливостей фасадних систем житлових будівель на енергоефективність є важливим завданням. Існуючі фасадні системи в житлових будинках не завжди мають оптимальні характеристики, які можуть забезпечити високу енергоефективність. Погана теплоізоляція, недостатня герметичність та інші конструктивні особливості можуть призводити до втрати тепла та підвищеного енергоспоживання. Розробка та дослідження нових конструктивних рішень для фасадних систем житлових будівель можуть сприяти покращенню енергоефективності та зниженню витрат на енергію.

Метою даної роботи є дослідження конструктивних особливостей фасадних систем індивідуальних житлових будівель з метою визначення їхнього впливу на енергоефективність.

Об'єкт дослідження є фасадні системи житлових будівель. Розглядаються різні конструктивні особливості та параметри, що можуть впливати на енергоефективність фасадів.

Предметом дослідження є конструктивні особливості фасадних систем житлових будівель та їх вплив на енергоефективність. Аналізуються різні матеріали, ізоляційні шари, системи вентиляції, вікна та інші елементи фасадів, які можуть бути оптимізовані задля досягнення вищої енергоефективності.

Завдання: Для досягнення поставленої мети необхідно виконати такі завдання:

1. Вивчити існуючі методи та підходи щодо оцінки енергоефективності фасадних систем.

2. Провести аналіз різних конструктивних особливостей фасадних систем та їхнього впливу на енергоефективність.

3. Провести експериментальне дослідження вибраних фасадних систем з метою оцінки їх енергоефективності.

Методи дослідження. Для досягнення поставленої мети та вирішення поставлених завдань будуть використані такі методи дослідження:

1. Аналіз літератури та наукових джерел за темою дослідження.

2. Математичне моделювання та чисельні розрахунки.

3. Експериментальні дослідження зразках фасадних систем.

Наукова новизна. Результати дослідження дають змогу виявити оптимальні конструктивні рішення для підвищення енергоефективності фасадних систем житлових будівель. Це може сприяти розробці нових методів та підходів до проєктування та будівництва енергоефективних будівель.

Структура і об’єм магістерської роботи. Робота складається із введення, чотирьох розділів, висновків, загальних висновків та пропозицій, списку використаних джерел. Основною темою текст викладено на ___ сторінках, з них ___ малюнків, ___ таблиць, та містить списки літератури зі ___ найменування праць вітчизняних та зарубіжних авторів.

1 ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ ДОСЛІДЖЕННЯ КОНСТРУКТИВНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ ФАСАДНИХ СИСТЕМ ЖИТЛОВИХ БУДІВЕЛЬ НА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ

1.1 Актуальність проблеми на сучасному етапі

Актуальність проблеми енергоефективності житлових будівель на сучасному етапі обумовлена кількома факторами.

1. Економічний аспект: Зростання енерговитрат на обігрів, охолодження, освітлення та використання електрики в житлових будинках створюють значні фінансові тягарі для окремих сімей та суспільства в цілому. Підвищення енергоефективності може знизити енерговитрати, а отже, й економічні витрати, що є особливо актуальним в умовах зростання цін на енергоресурси.

2. Екологічний аспект: Споживання енергії житловими будинками пов’язане з викидами парникових газів та негативними наслідками для навколишнього середовища. Скорочення енергоспоживання у житлових будинках сприяє зниженню викидів та охороні навколишнього середовища.

3. Кліматичні зміни: Глобальне потепління та зміна кліматичних умов є одними з найважливіших проблем нашого часу. Поліпшення енергоефективності житлових будівель дозволяє знизити споживання енергії та зменшити негативний вплив на клімат.

4. Енергетична безпека: Збільшення енергетичної ефективності житлових будинків має пряме відношення до забезпечення енергетичної безпеки держави. Скорочення споживання енергоресурсів у житловому секторі дозволяє знизити залежність від імпорту енергії та забезпечити більш стійку енергетичну систему.

5. Здоров’я та комфорт мешканців: Низька енергоефективність

житлових будівель може призводити до некомфортних умов проживання, таких як переохолодження або перегрівання приміщень, погана вентиляція та низька якість повітря всередині приміщень. Поліпшення енергоефективності фасадних систем житлових будинків сприяє створенню більш комфортних умов проживання та сприятливо впливає на здоров'я мешканців.

У таблиці 1.1 подано інформацію про актуальність проблеми енергоефективності фасадних систем житлових будинків на сучасному етапі.

Таблиця 1.1 – Інформація про актуальність проблеми енергоефективності фасадних систем житлових будівель на сучасному етапі

Фактори актуальності проблеми	Пояснення
Економічний аспект	Зростання енерговитрат створюють фінансові тягарі для окремих сімей та суспільства
Екологічний аспект	Високе споживання енергії в житлових будинках тягне за собою викиди парникових газів та негативний вплив на довкілля
Кліматичні зміни	Поліпшення енергоефективності житлових будинків сприяє зниженню споживання енергії та пом'якшенню негативних наслідків зміни клімату
Енергетична безпека	Скорочення споживання енергоресурсів у житловому секторі сприяє забезпеченню енергетичної безпеки держави
Здоров'я і комфорт мешканців	Низька енергоефективність впливає на комфорт проживання та може негативно позначатися на здоров'ї мешканців
Законодавство та стандарти	Нормативи та стандарти вимагають підвищення енергоефективності будівель, включаючи фасадні системи

Економічний аспект відіграє важливу роль в обґрунтуванні та актуалізації досліджень з енергоефективності фасадних систем житлових будівель. Нижче представлені деякі аргументи, що підтверджують важливість економічного аспекту:

1. Зниження енерговитрат. Житлові будинки є найбільшими споживачами енергії, особливо щодо обігріву та охолодження приміщень. Високі енерговитрати ведуть до значних витрат на енергоресурси, що покриваються із сімейного бюджету чи коштів громадськості. Підвищення енергоефективності фасадних систем дозволяє знизити енергоспоживання та, як наслідок, економічні витрати на енергію.

2. Скорочення експлуатаційних витрат. Поліпшення енергоефективності фасадних систем житлових будівель також дозволяє знизити експлуатаційні витрати, пов’язані з обслуговуванням та підтримкою комфортного клімату усередині приміщень. Найменша витрата на опалення, кондиціювання повітря та освітлення знижує операційні витрати та полегшує бюджет мешканців.

3. Збільшення вартості нерухомості. Енергоефективні житлові будинки мають високу цінність на ринку нерухомості. Потенційні покупці та орендарі все більше орієнтуються на енергоефективність та стійкість будівель, оскільки це гарантує нижчі експлуатаційні витрати. Підвищення енергоефективності фасадних систем може збільшити вартість нерухомості та забезпечити її конкурентоспроможність на ринку.

4. Підтримка економічного розвитку. Розробка та впровадження енергоефективних технологій та рішень у галузі фасадних систем сприяють розвитку економічних галузей, таких як будівництво, виробництво матеріалів та інженерні системи. Впровадження нових енергоефективних фасадних систем потребує розробки та виробництва нових будівельних матеріалів, застосування інноваційних технологій та удосконалення процесів будівництва. Це створює нові робочі місця, сприяє розвитку промисловості та стимулює економічне зростання.

5. Підвищення енергетичної незалежності. Енергоефективні фасадні системи сприяють скороченню залежності від імпорту енергії та забезпечують більшу енергетичну незалежність. Зниження споживання енергоресурсів у житлових будинках дозволяє скоротити імпорт енергії та

зміцнити енергетичну безпеку країни.

Економічний аспект актуальності проблеми енергоефективності житлових будинків представлено у вигляді таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Економічний аспект актуальності проблеми енергоефективності житлових будівель

Чинники економічної актуальності	Пояснення
Високі енерговитрати	Високе споживання енергії у житлових будинках призводить до значних економічних витрат на енергоресурси
Операційні витрати	Низька енергоефективність фасадних систем збільшує експлуатаційні витрати на опалення, охолодження та освітлення
Збільшення вартості нерухомості	Енергоефективні будівлі мають високу цінність на ринку нерухомості, залучаючи покупців та орендарів
Економічна конкуренто-спроможність	Енергоефективні будівлі забезпечують конкурентну перевагу на ринку нерухомості та залучають більше клієнтів
Розвиток галузей	Розвиток енергоефективних технологій та рішень у галузі фасадних систем сприяє економічному зростанню та створенню нових робочих місць
Енергетична незалежність	Зниження споживання енергії зміцнює енергетичну незалежність країни та скорочує імпорт енергії
Соціально-економічна стабільність	Зниження витрат на енергію сприяє покращенню життєвого рівня мешканців та суспільної стабільності

У таблиці 1.3 докладно розглянуто екологічний аспект актуальності проблеми енергоефективності житлових будівель.

Таблиця 1.3 – Екологічний аспект актуальності проблеми енергоефективності житлових будівель

Чинники екологічної актуальності	Пояснення
Скорочення викидів парникових газів	Енергоефективні фасадні системи знижують споживання енергії, що призводить до скорочення викидів вуглекислого газу (CO_2) та інших парникових газів, сприяючи боротьбі зі зміною клімату
Оптимізація використання ресурсів	Енергоефективні фасадні системи мінімізують споживання енергоресурсів, таких як електрика та паливо, що сприяє більш ефективному використанню природних ресурсів
Зниження екологічного сліду	Завдяки скороченню енергоспоживання та викидів, енергоефективні фасадні системи допомагають зменшити екологічний слід житлових будинків на довкілля
Збереження природних ресурсів	Енергоефективні фасадні системи сприяють скороченню споживання природних ресурсів, таких як вода, деревина та будівельні матеріали, сприяючи їх збереженню та сталому використанню
Підвищення якості внутрішнього середовища	Енергоефективні фасадні системи сприяють покращенню якості внутрішнього середовища в житлових будинках, забезпечуючи хорошу теплоізоляцію, вентиляцію та контроль вологості, що позитивно впливає на здоров'я та комфорт мешканців
Підтримка сталого розвитку	Енергоефективні фасадні системи є ключовим елементом сталого розвитку міського середовища та будівельної індустрії, сприяючи створенню екологічно стійких та енергоефективних міст

Розглянемо докладніше як таблиці чинники, пов’язані з кліматичними змінами та його актуальністю у тих енергоефективності житлових будинків (таблиця 1.4).

Таблиця 1.4 – Фактори, пов’язані з кліматичними змінами та їх актуальністю в контексті енергоефективності житлових будівель

Чинники кліматичних змін	Пояснення
Глобальне потепління	Зростання концентрації парникових газів у атмосфері призводить до глобального потепління. Енергоефективні фасадні системи допомагають знизити енергоспоживання будівель, що зменшує викиди парникових газів та пом’якшує негативний вплив на клімат
Екстремальні погодні умови	Зміна клімату призводить до збільшення частоти та інтенсивності екстремальних погодних явищ, таких як посухи, повені та жаркі хвилі. Енергоефективні фасадні системи сприяють зниженню енерговитрат на охолодження та опалення будівель, що допомагає впоратися з такими екстремальними умовами
Зниження енергетичної залежності	Енергоефективні фасадні системи дозволяють знизити споживання енергії у житлових будинках. Це сприяє зміцненню енергетичної незалежності, зменшенню залежності від традиційних джерел енергії та пом'якшенню впливу кліматичних змін на енергетичний сектор
Адаптація до зміни клімату	Енергоефективні фасадні системи допомагають будинкам адаптуватися до зміни клімату. Вони сприяють покращенню теплоізоляції, вентиляції та контролю вологості, що допомагає впоратися з більш екстремальними температурами, підвищеною вологістю та іншими кліматичними викликами
Підтримка міжнародних угод	Безліч міжнародних угод та угод, таких як Паризька угода, закликають до скорочення викидів парникових газів

Докладніше розберемо фактори, пов’язані з енергетичною безпекою в контексті енергоефективності житлових будівель, і представимо їх у вигляді таблиці 1.5.

Таблиця 1.5 – Фактори, пов’язані з енергетичною безпекою в контексті енергоефективності житлових будівель

Чинники енергетичної безпеки	Пояснення
Ресурсоефективність та диверсифікація джерел енергії	Енергоефективні фасадні системи допомагають скоротити споживання енергії у житлових будинках. Це дозволяє збільшити енергетичну ефективність та знизити залежність від традиційних джерел енергії, таких як викопні палива. Диверсифікація джерел енергії, включаючи відновлювані джерела, підвищує енергетичну безпеку та знижує ризики збоїв у енергопостачанні
Незалежність від енергетичних мереж	Енергоефективні фасадні системи дозволяють зменшити залежність житлових будівель від централізованих енергетичних мереж. Впровадження відновлюваних джерел енергії, таких як сонячні панелі та вітрогенератори, дозволяє виробляти частину необхідної енергії на місці, що підвищує енергетичну незалежність та стійкість будівель у разі аварійних ситуацій або відключень електроенергії
Стійке використання ресурсів	Енергоефективні фасадні системи сприяють стійкому використанню ресурсів, таких як енергія та вода. Зниження споживання енергії в будинках скорочує необхідність видобутку та використання викопних палив, знижує викиди парникових газів та негативний вплив на навколишнє середовище. Крім того, впровадження систем управління водою та енергією в будинках допомагає оптимізувати та ефективно використовувати ці ресурси
Резерви енергії та автономність	Енергоефективні фасадні системи можуть включати використання систем зберігання енергії, таких як батареї для накопичення електроенергії. Це дозволяє будівлям мати резервні джерела енергії у разі відключення електропостачання чи непередбачених обставин. Також, завдяки

	енергоефективності, будівлі можуть бути більш автономними в енергетичному плані, що сприяє їх стійкості та безпеці у разі виникнення проблем із централізованими мережами енергопостачання
Зниження експлуатаційних витрат	Застосування енергоефективних фасадних систем дозволяє знизити експлуатаційні витрати на енергію у житлових будинках. Більше ефективне використання енергії призводить до зниження витрат на опалення, охолодження та освітлення, що дозволяє власникам будівель заощадити гроші на рахунках за енергоспоживання. Це сприяє економічній безпеці та стійкості будівель
Стійкість до коливань цін на енергію	Енергоефективні фасадні системи допомагають зменшити залежність від коливань цін на енергію. Завдяки зниженню споживання енергії, житлові будівлі стають менш схильними до змін цін на енергетичні ресурси. Це дозволяє власникам будівель більш точно прогнозувати витрати та зменшує ризики фінансових нестабільностей у разі різкого підвищення цін на енергію
Стійкість до кризових ситуацій	Енергоефективні фасадні системи сприяють стійкості житлових будівель у кризових ситуаціях, таких як енергетичні кризи або природні лиха

Наведемо докладніший розгляд факторів, пов'язаних зі здоров'ям та комфортом мешканців у контексті енергоефективності житлових будівель та представимо їх у вигляді таблиці 1.6.

Таблиця 1.6 – Фактори, пов'язаних зі здоров'ям та комфортом мешканців у контексті енергоефективності житлових будівель

Фактори здоров'я та комфорту мешканців	Пояснення
Якість повітря усередині приміщень	Енергоефективні фасадні системи сприяють покращеннюшення якості повітря всередині будівель. Хороша теплоізоляціяція та системи

	вентиляції з рекуперацією тепла забезпечують ефективний обмін повітря, видаляють забруднення і підтримують оптимальні умови у приміщеннях. Це сприяє здоров'ю жителів, запобігає виникненню проблем з диханням та алергіями, а також створює комфортну атмосферу.
Акустичний комфорт	Енергоефективні фасадні системи також сприяють зниження шуму всередині будівель. Хороша теплоізоляція та звукоізоляція дозволяють знизити проникнення шуму ззовні та звукову передачу між приміщеннями. Це створює тиху і спокійну обстановку, покращує сон та загальний добробут жителів.
Теплий та комфортний клімат	Енергоефективні фасадні системи забезпечують більш стабільний та комфортний внутрішній клімат у будинках. Хогарна теплоізоляція та сонцезахисні рішення допомагають знизити перегрів влітку та зберегти тепло взимку. Це створює оптимальні умови температури та вологості, забезпечує мешканцям комфорт і покращує їх самопочуття.
Використання нату-рального освітлення	Енергоефективні фасадні системи сприяють звели-використання природного освітлення в будівлях. Застосування великих вікон та правильне розміщення відкриттих просторів дозволяють максимально використовувати естесте світло. Це підвищує якість освітлення всередині поприміщень, покращує настрій мешканців.

Наведемо більш докладний розгляд факторів, пов'язаних із закононом та стандартами в контексті енергоефективності житлових будівель, та представимо їх у вигляді таблиці 1.7.

Таблиця 1.7 - Фактори, пов'язані із законодавством та стандартами в контексті енергоефективності житлових будівель

Фактори закону нодавництва та стандартів	Пояснення
Енергетичні норми і требования	Існують різні закони та стандарти, що регулюють енергогоефективність житлових будинків. Вони встановлюють мінімальні вимоги до енергетичної ефективності, теплоізоляції, системам опалення, вентиляції та кондиціювання повітряня цих норм і вимог обов'язково для будівництва та реконструкції струкції будівель, що сприяє підвищенню енергоефективности та зниження негативного впливу на навколишнє середовище.
Сертифікаційвінні програми і сістеми рейтингу	Існують різні сертифікаційні програми та системи рейтингу, що оцінюють енергоефективність житлових будівель. Наприклад, LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) та BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method) - це дві відомі програми, які враховують різнні аспекти енергоефективності та стійкості будівельня сертифіката або високого рейтингу підтверджує відповідність будівлі певним стандартам і сприяє залученню інвестицій, підвищення вартості будівлі та покращення громадського сприйняття
Фінансові позаохочення та пільги	У деяких країнах та регіонах існують фінансові заохочення та пільги для енергоефективних житлових будівель. Це може включати субсидії на енергозберігаючі заходи, податкові кредити, пільгові кредити та зниження ставок податків. Такі заходи способють стимулювання власників і розробників будівель до внешренію енергоефективних технологій та рішень, а також знижують фінансові бар'єри для їх впровадження

Таким чином, актуальність проблеми енергоефективності житлових будівель на сучасному етапі зумовлена не лише глобальними викликами, пов'язаними зі зміною клімату та енергетичною безпекою, а й необхідністю економічної ефективності, створення комфортного та здорового простору для мешканців та сталого розвитку.

1.2 Вітчизняний та зарубіжний досвід дослідження в галузі енергозбереження будівель

У параграфі 1.2 розглядається вітчизняний та зарубіжний досвід дослідження у галузі енергозбереження будівель. Вивчення та аналіз такого досвіду є важливим кроком для розуміння енергозберігаючих методів та підходів, що застосовуються у різних країнах, та для виявлення передових практик, які можуть бути застосовані в українському контексті.

1.2.1 Вітчизняний досвід дослідження в галузі енергозбереження будівель

У вітчизняному контексті існує значна кількість досліджень, спрямованих на розробку та впровадження енергозберігаючих рішень у будинках. Прикладом таких досліджень є робота [1], яка представляє комплексний підхід до оптимізації енергетичної ефективності житлових будинків. У цьому дослідженні проведено аналіз різних аспектівтов, що впливають на енергоспоживання будівлі, таких як теплоізоляція, системи опалення та кондиціювання, освітлення та інше. Результати роботи підтверджують значний потенціал енергозбереження та вказують на

необхідність покращення стандартів та нормативів щодо енергоефективності будівель.

В іншому дослідженні [2] було досліджено вплив використання відновлюваних джерел енергії у будинках на енергетичну ефективність. Дослідження показало, що впровадження сонячних панелей та вітрогенераторів може значно знизити залежність від традиційних джерел. енергії та скоротити негативний вплив на навколишнє середовище.

Також важливо наголосити на дослідженнях, присвячених адаптації існуючих будівель до вимог енергоефективності. У роботі [3] було запропоновано рекомендації та методи модернізації існуючих будівель з метою покращення енергоефективності. Дослідження виявило, що навіть невеликі зміни, такі як покращення теплоізоляції, заміна застарілого обладнання на більш ефективне та встановлення системи управління енергоспоживанням, можуть призвести до значної економії енергії та зниження витрат за обслуговування.

1.2.2 Зарубіжний досвід дослідження в галузі енергозбереження будівель

У країнах Європейського союзу існує низка директив та стандартів, спрямованих на зниження енергоспоживання будівель. У дослідженні [4] проведено аналіз енергозберігаючих заходів, запроваджених у країнах

Європейського союзу та їх вплив на енергетичну ефективність будівель.

Дослідження показало, що завдяки застосуванню сучасних технологій та будівельних матеріалів вдалося досягти значного скорочення енергоспоживання та зниження викидів парникових газів.

У США також проводяться активні дослідження у галузі

енергозбереження будівель. Програма ENERGY STAR, запущена Агентством з охорони навколишнього середовища США, має на меті зниження енергоспоживання будівель та стимулює розробку та впровадження енергозберігаючих технологій. Дослідження [5] проведено з метою оцінки ефективності програми ENERGY STAR та її впливу на енергоефективність будівель у США. Результати дослідження вказують на позитивні ефекти програми, у тому числі зниження енергоспоживання та скорочення витрат на енергію.

Важливим аспектом зарубіжного досвіду є дослідження та розробка інноваційних технологій у галузі енергозбереження будівель.

Наприклад, у Японії було проведено дослідження [6], присвячене розробці нових матеріалів та систем для покращення енергоефективності будівель. Дослідження показало, що застосування таких інноваційних рішень, як інтелектуальні системи управління енергоспоживанням, покращена теплоізоляція та енергозберігаючі віконні конструкції, може значно знизити енергоспоживання будівель та підвищити комфорт для мешканців.



Рисунок 1.1 –Японія підвищує цілі для відновлюваних джерел енергії до 2030 року

В цілому, вітчизняний та зарубіжний досвід дослідження в галузі енергозбереження будівель є цінним джерелом знань та передових практик. Вивчення та аналіз цього досвіду дозволяють виявити ефективні підходи, методи та технології, які можуть бути застосовані для підвищення енергоефективності житлових будівель у різних регіонах. Однак, для успішної адаптації та застосування цього досвіду необхідно враховувати особливості та специфіку кожного регіону, а також продовжувати дослідження та інновації в галузі енергозбереження будівель.

1.3 Формування методичних підходів до визначення питомих роз ходів енергоресурсів

Визначення питомих витрат енергоресурсів є важливим етапом при оцінці енергетичної ефективності будівель, оскільки дозволяє оцінити енергоспоживання у співвідношенні з площею чи обсягом будівлі, і навіть провести порівняльний аналіз різних фасадних систем.

Питомі витрати енергоресурсів є кількісну міру енергоспоживання будівлі в одиницю площі або обсягу. Ця величина дозволяє оцінити енергоефективність будівлі та порівнювати енергоспоживання різних будівель або різних фасадних систем у стандартизованний формат. Розрахунок питомих витрат енергоресурсів ґрунтується на зібраних даних про споживання енергії та параметри будівлі.

Для визначення питомих витрат енергоресурсів можна використовувати. вати такі кількісні співвідношення:

1. Питомі витрати енергоресурсів за площею (кВт/м²): Питомі витрати енергоресурсів (кВт/м²) = Загальна витрата енергоресурсів (кВт) / Площадь будівлі (м²)

2. Питомі витрати енергоресурсів за обсягом (кВт/м³): Питомі роз-

ходи енергоресурсів (кВт/м³) = Загальна витрата енергоресурсів (кВт) / Обсяг будівлі (м³)

При розрахунку питомих витрат енергоресурсів необхідно врахувати все види енергоресурсів, такі як електрика, тепло, газ, їх загальна витрата та відповідні параметри будівлі, такі як загальна площа чи обсяг.

Приблизно обчислені значення питомих витрат енергоресурсів можуть бути представлені у вигляді таблиці, де кожна фасадна система має своє значення питомих витрат енергоресурсів за площею чи обсягом. Це дозволяє проводити порівняльний аналіз енергоефективності різних фасадних систем чи будівель.

Чинники, що впливають на питомі витрати енергоресурсів будівлі, можуть бути різноманітні і залежать від безлічі параметрів, включаючи конструктивні особливості, матеріали, системи опалення, вентиляції та кондиціонування повітря (ОВК), а також поведінкові фактори мешканців будівлі.

Розглянемо деякі з них докладніше:

1. Конструктивні особливості будівлі: Ефективність теплоізоляції, ступінь герметичності конструкцій, якість огороджувальних стін і дахи - все це впливає на втрати тепла та проникнення холоду до будівлі. Чим краще ізольована будівля, тим меншою буде питома витрата енергоресурсов.

2. Фасадні системи: Використання енергоефективних фасадних систем, таких як утеплені фасади, вікна з енергозберігаючими склопакетами, тепловідбивні матеріали та інші інноваційні рішення, суттєво знизити питомі витрати енергоресурсів.

3. Системи опалення, вентиляції та кондиціювання повітря (ОВК): Ефективність та енергоефективність систем ОВК грають ключову участь у питомих витратах енергоресурсів будівлі. Використання сучаснихних технологій, таких як енергозберігаючі насоси, регульована вентиляція та автоматичне управління системами, може суттєво знизити енергоспоживання.

4. Поведінка користувачів: Правильне використання та регулювання систем опалення, вентиляції та кондиціювання повітря, а також енерго свідома поведінка жителів, такі як вимкнення світла при виході з кімнати, регуляція температури тощо, також впливають на питомі витрати енергоресурсів.

5. Кліматичні умови: Кліматичні умови в регіоні, де розналежить будівля, такі як середньорічна температура, вологість і частота опалювального або охолоджуючого періоду, також впливають на питомі витрати.

6. Енергетична ефективність обладнання: Якість і ефективність систем опалення, вентиляції, кондиціонування повітря, освітлення та інших енергоспоживаючих пристроїв, що використовуються в будівлі, мають прямий вплив на питомі витрати енергоресурсів. Використання енергоефективного обладнання, такого як високоефективні котли, енергозберігаючі лампи та світлодіодні освітлювальні прилади, дозволяє знизити споживання енергії.

7. Розмір та форма будівлі: Розмір та форма будівлі можуть впливати на питомі витрати енергоресурсів. Будинки з великою площею або незвичайною формою можуть вимагати більше енергії для опалення, охолодження та освітлення. Оптимізація розмірів та форми будівлі з урахуванням енергоефективності може сприяти зниженню питомих витрат енергоресурсів.

8. Використання відновлюваних джерел енергії: Інтеграція відновлюваних джерел енергії, таких як сонячні панелі, вітрогенератори або геотермальні системи, в енергопостачання будівлі дозволяє знизити залежність від традиційних енергоресурсів та зменшити питомі витрати енергоресурсів.

9. Технічне обслуговування та регулярне оновлення систем: Правильне технічне обслуговування та регулярне оновлення систем опалення, вентиляції, кондиціювання повітря та іншого обладнання

дозволяють підтримувати їхню ефективність та оптимальну роботу, що сприяє зниженню питомих витрат енергоресурсів.

10. Зелені сертифікації та стандарти: Існують різні зелені сертифікації та стандарти, такі як LEED, BREEAM, WELL та інші, які встановлюють вимоги щодо енергоефективності будівлі. Отримання цих сертифікатів та дотримання стандартів сприяє зменшенню питомих витрат енергоресурсів та підвищенню енергетичної ефективності.



Рисунок 1.2 – Витрати енергоресурсів та підвищенню енергетичної ефективності

11. Географічне розташування: Розташування будівлі впливає на питомі витрати енергоресурсів у зв'язку з кліматичними умовами та доступністю різних енергетичних ресурсів. Наприклад, будинки, розташовані в північних регіонах, де взимку потрібне інтенсивне опалення, можуть мати більш високі питомі витрати енергоресурсів, ніж будинки, розташовані в тепліших кліматичних зонах.

12. Зовнішні умови: Неконтрольовані зовнішні фактори, такі як сонячна радіація, вітер, атмосферні опади та шум, також можуть впливати на

питомі витрати енергоресурсів будівлі. Використання сонячних штор, вітрових захисних екранів та інших заходів для керування цими факторами може знизити споживання енергії.

Методи та підходи до визначення питомих витрат енергоресурсів наведено у таблиці 1.8.

Таблиця 1.8 - Методи та підходи до визначення питомих витрат енергоресурсів

Метод/Підхід	Опис
Енергетичний аудит	Систематичний вимір та аналіз енергоспоживання будівлі з метою визначення питомих витрат енергоресурсів.
Математичне моделювання	Використання комп'ютерних моделей для симуляції енергетичної продуктивності будівлі та розрахунку питомих витрат енергоресурсів.
Статистичний аналіз	Аналіз та інтерпретація статистичних даних щодо енергоспоживання будівлі для визначення питомих витрат енергоресурсів.
Нормативний підхід	Використання нормативних документів, стандартів та нормативів для визначення граничних рівнів питомих витрат енергоресурсів.
Експертна оцінка	Консультації та оцінка фахівцями у галузі енергоефективності та будівництва для визначення питомих витрат енергоресурсів.
Порівняльний аналіз	Порівняння енергоспоживання та питомих витрат енергоресурсів різних будівель чи систем виявлення оптимальних рішень.
Енергетичне моделювання	Використання спеціальних програмних інструментів для моделювання енергоспоживання будівлі та розрахунку питомих витрат енергоресурсів.
Інтегрований підхід	Комбінування різних методів та підходів для визначення питомих витрат енергоресурсів з урахуванням специфічних особливостей будівлі та контексту.

Для оцінки енергетичної ефективності фасадних систем застосовуються різні практичні методи та підходи. Розглянемо деякі з них докладніше:

1. Теплотехнічний розрахунок: Цей метод ґрунтується на математичному моделюванні теплових потоків через фасадні системи. З використанням спеціалізованого програмного забезпечення проводяться розрахунки теплопередачі та тепловтрат через стіни, вікна, двері та інші елементи фасаду. Результати розрахунків дозволяють визначити питомі витрати енергоресурсів кожної фасадної системи.

2. Енергетичне моделювання: Цей підхід ґрунтується на створенні комп'ютерної моделі будівлі, яка враховує характеристики фасадних систем, кліматичні умови та енергоспоживання будівлі. Моделювання дозволяє оцінити енергетичну ефективність різних фасадних систем та порівняти їх за питомими витратами енергоресурсів.

3. Експериментальні дослідження: Для більш точної оцінки енергетичної ефективності фасадних систем проводяться фізичні експерименти, що включають вимірювання тепловтрат, теплоізоляційні властивості та енергоспоживання будівлі з використанням різних фасадних систем. Отримані дані дозволяють визначити питомі витрати енергоресурсів кожної системи.

4. Аналіз існуючих будівель: Для оцінки енергетичної ефективності фасадних систем можна здійснити аналіз вже існуючих будівель з різними типами фасадів. Порівняння та аналіз енергоспоживання та комфорту у цих будинках дозволяє визначити, яка фасадна система є найбільш енергоефективною.

5. Порівняльний аналіз: Цей метод передбачає порівняння різних фасадних систем на основі їх характеристик та енергетичної ефективності. При порівняльному аналізі враховуються такі параметри, як теплопровідність матеріалів, рівень утеплення, ступінь герметичності, ефективність використання сонячної енергії та інші фактори, що впливають на питомі

витрати енергоресурсів.

6. Стандарти та сертифікація: Існують різні стандарти та сертифікаційні системи, що визначають вимоги до енергетичної ефективності будівель та їх фасадних систем. Наприклад, LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) та BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method) – це міжнародні системи сертифікації будівель, які враховують енергоефективність та інші аспекти сталого будівництва. Отримання сертифікату підтверджує високу енергетичну ефективність фасадної системи.

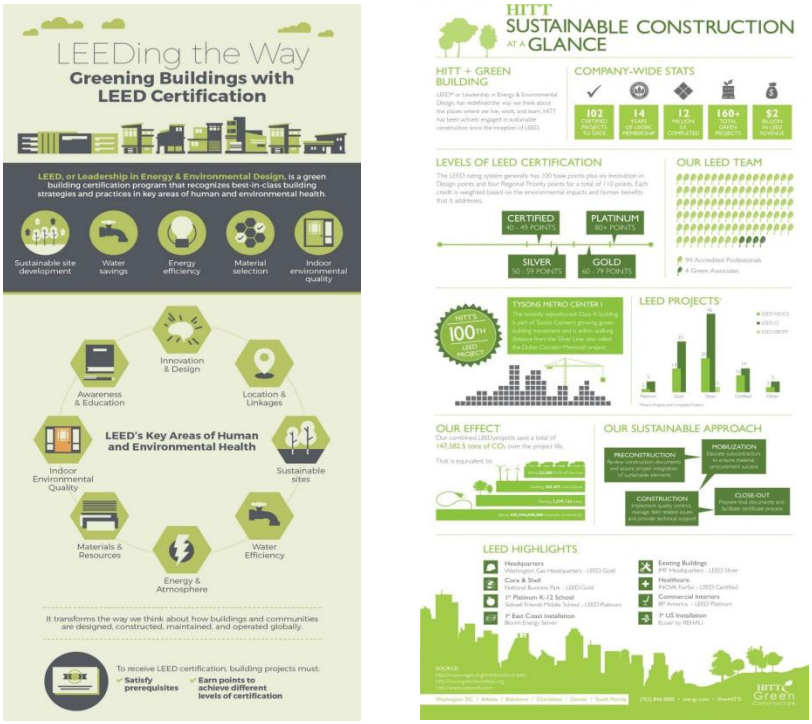


Рисунок 1.3 – Міжнародні системи сертифікації будівель LEED та BREEAM

В цілому, розробка методичних рекомендацій щодо покращення енергоефективності фасадних систем включає аналіз різних аспектів, таких як вибір матеріалів, оптимізація систем опалення та вентиляції, навчання користувачів, моніторинг та аналіз даних, сертифікація та стандартизація, інтеграція з іншими аспектами стійкості, економічна ефективність та

Інноваційні дослідження. Ці методичні рекомендації допоможуть знизити енергоспоживання будівель та підвищити їх стійкість, що є важливим кроком у напрямку більш ефективного та екологічно стійкого будівництва.

У таблиці 1.9 наведено приклади застосування методичних підходів до визначення питомих витрат енергоресурсів, методичний підхід, що застосовується у кожному прикладі, а також результати, отримані внаслідок використання методичного підходу.

Таблиця 1.9 - Приклади застосування методичних підходів до визначення питомих витрат енергоресурсів, методичний підхід, що застосовується у кожному прикладі, а також результати, отримані внаслідок використання методичного підходу

Приклад	Методичний підхід	Результати
Встановлення лічильників енергії	Встановлення окремих лічильників на різні системи будівлі	Енергоспоживання за кожною системою визначено точно
Термографічне дослідження	Використання термографічної камери для виявлення витоків тепла та неефективного утеплення	Виявлено області з великими втратами тепла та неефективним утепленням
Аналіз енергоспоживання	Використання спеціалізованого програмного забезпечення для аналізу та візуалізації даних з енергоспоживання будівлі	Виявлено сезонні та тимчасові тренди споживання енергоресурсів
Енергетичний аудит систем опалення та охолодження	Проведення аудиту систем опалення та охолодження будівлі	Оцінка ефективності обладнання та систем теплоізоляції
Моделювання енергетичної продуктивності	Використання спеціального програмного забезпечення для моделювання енергетичної продуктивності будівлі	Віртуальні експерименти з різними параметрами будівлі

На підставі проведеного огляду та аналізу, можна зробити такі висновки:

1. Проблема енергоефективності житлових будинків має високу актуальність на етапі. Це обумовлено економічними, екологічними та соціальними факторами, такими як високі енергетичні витрати, кліматичні зміни та підвищена увага до комфорту та здоров'я мешканців.

2. Вітчизняний та зарубіжний досвід дослідження в галузі енергозбереження будівель дозволяє використовувати різноманітні методи та підходи для визначення питомих витрат енергоресурсів. Це включає встановлення лічильників енергії, проведення термографічного дослідження, аналіз енергоспоживання та інші методи.

3. Фактори, що впливають на питомі витрати енергоресурсів, включають конструктивні особливості будівлі, системи опалення та охолодження, використання відновлюваних джерел енергії та взаємодію із зовнішньою інфраструктурою та сервісами. Це наголошує на важливості організації енергоресурсів, включаючи використання енергоефективних фасадних систем, хорошу теплоізоляцію та енергозберігаючі технології.

4. Резерви енергії та автономність: Енергоефективні фасадні системи можуть сприяти зниженню енергоспоживання та використанню відновлюваних джерел енергії, що в свою чергу може призвести до збільшення енергетичних резервів та автономії для будівель.

5. Здоров'я та комфорт мешканців: Енергоефективні фасадні системи можуть забезпечити покращену якість внутрішнього середовища, включаючи кращий термічний комфорт, вентиляцію та природне освітлення. Це може сприяти здоров'ю та благополуччю мешканців, створюючи комфортні умови для проживання.

6. Законодавство та стандарти: Існує безліч законів та нормативних актів, спрямованих на заохочення енергоефективності у будинках. Дотримання цих законів та відповідність енергоефективним стандартам має важливе значення для забезпечення стійкості та ефективності фасадних

систем у житлових будинках.



Рисунок 1.4 – Енергоефективні фасадні системи

На закінчення теоретичні основи, розглянуті в Розділі 1, наголошують на важливості вивчення конструктивних особливостей фасадних систем у житлових будинках з точки зору енергоефективності. Глава охоплює актуальність проблеми, огляд вітчизняного та зарубіжного досвіду досліджень, методи визначення питомих витрат енергоресурсів та практичне застосування цих підходів. Це знання є основою для подальших досліджень та розробки рекомендацій щодо покращення енергоефективності фасадних систем.

2 ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ФАСАДНИХ СИСТЕМ, ЩО ВИКОРИСТОВУЮТЬСЯ ПРИ СПОРУДЖЕННІ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ ЖИТЛОВИХ БУДІВЕЛЬ

2.1 Аналіз енергоефективності основних типів архітектурно-планувальних рішень багатоповерхових житлових будинків

2.1.1 Аналіз наукових досліджень з теми енергоефективності архітектурно-планувальних рішень багатоповерхових житлових будівель

Для вивчення проблем енергоефективності у будівельній сфері України проводилося багато досліджень. Серед вітчизняних авторів, які займаються теоретичними та експериментальними дослідженнями питань енергоефективності будівель [1-4, 8].

Кліматичні умови в різних регіонах Укрїни значно відрізняються в зимовий та літній періоди, що ускладнює проектування енергоефективних будівель, що враховують багато факторів, таких як повітряна проникність, теплоізоляція, системи опалення та охолодження, матеріали, архітектурні рішення та багато іншого.

Створення комфортних умов різних категорій населення є актуальною проблемою. У зарубіжних дослідженнях із цієї теми брали участь такі дослідники, як Т. Хемсат, Г. Фінч, В. Ноулевс, Е. Барнет та інші [10-11].

Одним із ключових факторів, що впливають на енергоефективність будівель, є їхнє архітектурно-планувальне рішення. У сучасних умовах велика увага приділяється розробці енергоефективних фасадних систем, теплоізоляції та використанню відновлюваних джерел енергії.

Хоча багато досліджень на тему енергоефективності житлових будинків було проведено за кордоном, деякі аспекти ефективності енергоспоживання все ще потребують додаткових досліджень. Наприклад, існує необхідність детальнішого дослідження використання відновлюваних джерел енергії в житлових будинках та їх взаємодії з мережами енергопостачання.

Крім того, важливо враховувати взаємодію різних аспектів енергоефективності в житлових будинках, таких як конструктивні особливості будівлі, системи опалення та охолодження та використання відновлюваних джерел енергії. Це допоможе визначити оптимальне поєднання заходів для досягнення максимальної ефективності енергоспоживання.

Таким чином, аналіз наукових досліджень з теми енергоефективності житлових будівель дозволяє визначити проблемні галузі досліджень, які потребують додаткових досліджень та розробки рекомендацій.

Вивчення конструктивних особливостей фасадних систем житлових будівель на енергоефективність також є активною галуззю наукових досліджень. У роботі "Методика визначення енергоефективності фасадних конструкцій житлових будівель" [14] запропоновано методику визначення тепловтрат фасадних конструкцій з урахуванням їх конструктивних особливостей.

Діяльність " Аналіз енергоефективності різних типів фасадних систем багатоповерхових житлових будинків " [15] проведено аналіз конструктивних особливостей фасадних систем та його впливу енергоефективність будинків.

Також дослідження у цій галузі проводилися зарубіжними вченими. Діяльність А.М. Абдул Раззака та Л.М. Абдул Раззака "Оптимізація конструкцій фасадів будівель для забезпечення енергоефективності" [16] розглянуто різні матеріали та технології, що використовуються у фасадних системах, та їх вплив на енергоефективність будівель.

Узагальнюючи дані наукові дослідження, можна дійти невтішного висновку, що конструктивні особливості фасадних систем житлових будинків мають значний вплив на енергоефективність будинків. Дослідження в цій галузі важливі для розробки ефективних та стійких фасадних систем, які сприятимуть зниженню витрат на енергію та зменшенню негативного впливу на навколишнє середовище.

Оцінка енергетичної ефективності житлових будівель різних архітектурно-планувальних типів.

Визначення енергетичних показників ефективності розглянутих типів планувальних рішень проведена в Graphisoft ArchiCAD EcoDesigner.

У рамках проведеного аналізу змодельовано будівлі розглянутого типу (рисунок 2.1).



а) Секційний тип



б) Односекційний тип



в) Коридорний тип



г) Галерейний тип





д) Атріумний тип

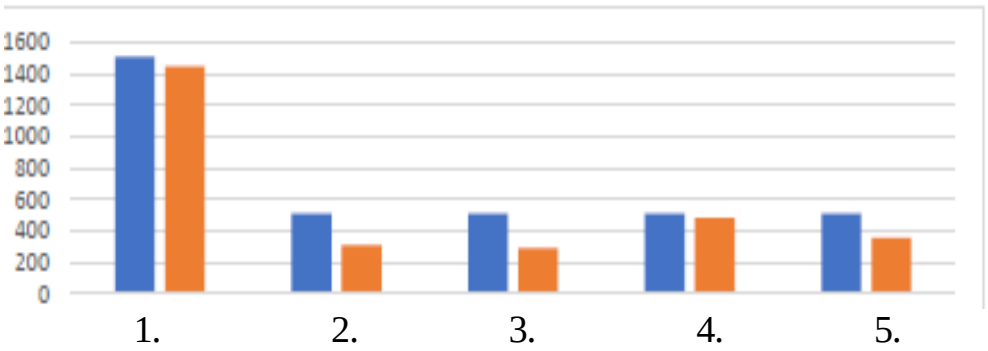
Рисунок 2.1 – Рисунок енергетичної ефективності основних типів архітектурно-планувальних організацій

Результати проведеного моделювання енергетичної ефективності представлені у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Показники енергетичної ефективності основних типів архітектурно-планувальних організацій (рисунок 2.2)

Тип архітектурно-планувальної організації будівлі	Загальна площа поверху, $м^2$	Житлова площа поверху, $м^2$	Витрати енергії, кВт-год/рік	Виділення CO_2, кг/рік	Відношення показників енергоспоживання до загальної житлової площі будівлі, кВт ч/год $м^2$
Секційний тип архітектурно-планувальних рішень	1510	1450	460900	3900	319
Коридорний тип архітектурно-планувальних рішень	510	306	131565	1500	431
Галерейний тип архітектурно-планувальних рішень	510	288	125900	1480	438
Односекційний тип архітектурно-планувальних рішень	510	480	160770	1470	336
Атріумний тип архітектурно-планувальних рішень	510	351	138400	1440	396

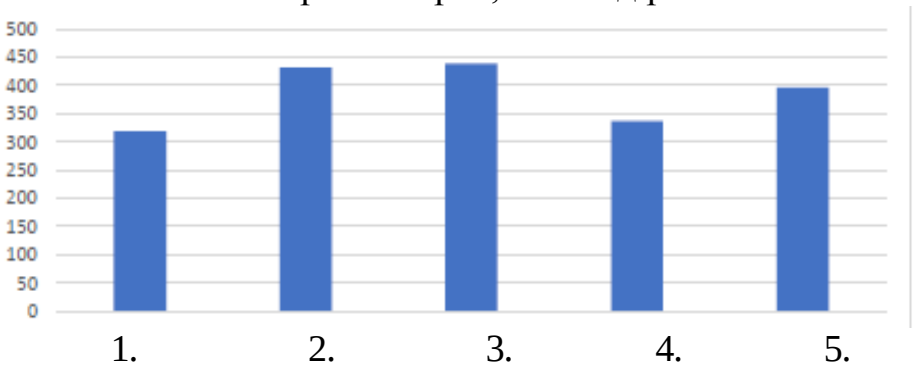
Загальна площа поверху, м^2,
Житлова площа поверху, м^2,



1. Секційний тип; 2. Коридорний тип; 3. Галерейний тип; 4. Односекційний тип; 5. Атріумний тип.

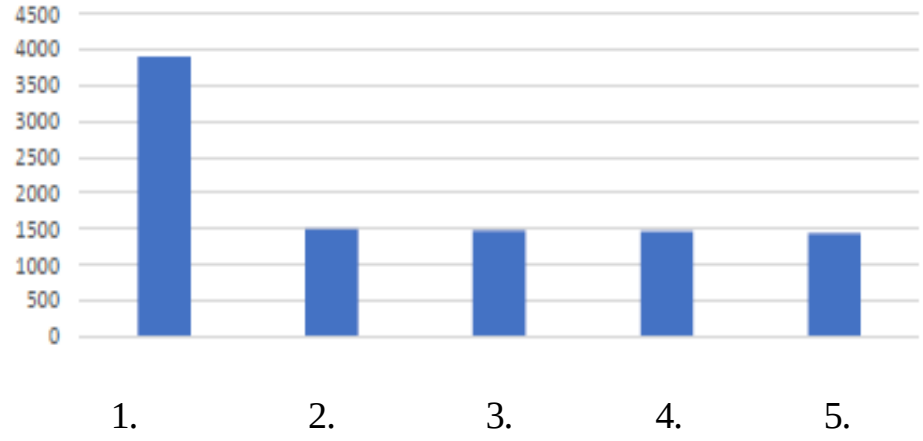
Витрати енергії, кВт-год/рік

Витрати енергії, кВт-год/рік



Виділення CO2, кг/рік

Тип архітектурно-планувальної організації будівлі



Відношення показників енергоспоживання до загальної житлової площі будівлі, кВт×год/рік×м^2

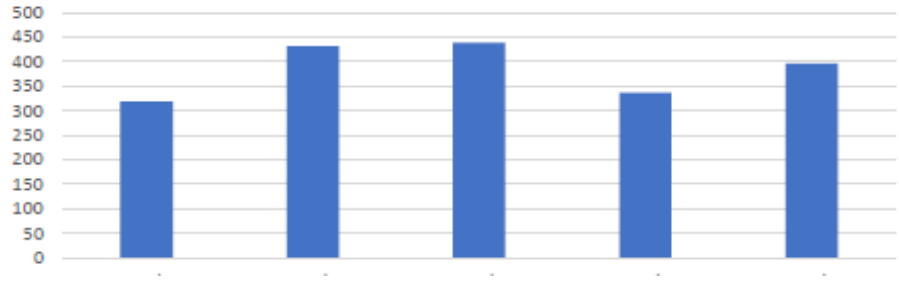


Рисунок 2.2 – Показники енергетичної ефективності основних типів архітектурно-планувальних організацій

Найнижча енергоефективність має галерейний тип будівель з питомим показником 438 кВт год/ рік м^2.



Рисунок 2.3 – Показники енергетичної ефективності основних типів архітектурно-планувальних організацій

2.2 Енергоефективні фасадні системи та застосовувані будівельні матеріали

Важливим аспектом енергоефективності будівель є утеплення та теплоізоляція. Утеплювач є матеріалом, який використовується для заповнення простору між стінами, стелями та підлогами будівлі, щоб зменшити теплообмін між внутрішнім та зовнішнім середовищем. Існує безліч різних утеплювачів, таких як мінеральна вата, пінопласт, пінополіуретан і т.д. Кожен утеплювач має свої переваги та недоліки з погляду енергоефективності.

Відношення показників енергоспоживання до загальної житлової площі будівлі, кВт × год/рік ×м^2

Тип архітектурно-планувальної організації будівлі

Відношення показників енергоспоживання до загальної житлової площі будівлі, кВт × год/рік × м^2

Теплоізоляція відіграє важливу роль у зменшенні теплообміну між внутрішнім та зовнішнім середовищем. Теплоізоляція може бути виконана за допомогою різних матеріалів, таких як мінеральна вата, скловата, пінополістирол та ін.

Енергоефективні фасадні системи відіграють ключову роль у підвищенні енергоефективності багатоповерхових житлових будинків. Вони дозволяють поліпшити теплоізоляцію будівлі, знизити втрати тепла і, як наслідок, зменшити витрати на опалення. Розглянемо основні типи енергоефективних фасадних систем та матеріалів, що використовуються у їх конструкції.

Одним із найпоширеніших матеріалів, що використовуються в енергоефективних фасадних системах, є мінеральна вата. Вона має високу теплоізоляційну здатність і добре протистоїть впливу вологи. Крім того, мінеральна вата є екологічно безпечним матеріалом.

Іншим матеріалом, що широко використовується в енергоефективних фасадних системах, є пінополістирол. Він має низьку теплопровідність і легкість в обробці. Крім того, пінополістирол добре протистоїть впливу води і не схильний до гниття.

Останнім часом все більшої популярності набувають також фасадні системи з використанням композитних матеріалів. Вони мають високу теплоізоляційну здатність і добре протистоять впливу вологи. Крім того, композитні матеріали мають високу міцність та довговічність.

Важливим елементом енергоефективних фасадних систем є скління. Для зменшення тепловтрат у будівлі застосовуються склопакети з низьким коефіцієнтом теплопровідності. Крім того, існують спеціальні технології покриттів скла, що дозволяють покращити їх теплоізоляційні властивості.

Згідно з дослідженнями, вікна та скління будівель є одними з найуразливіших елементів з погляду енергоефективності. Вікна можуть бути виготовлені з різних матеріалів, таких як дерево, алюміній, сталь, пластик і т.д. Кожен матеріал має свої переваги та недоліки з погляду

енергоефективності. Наприклад, дерев'яні вікна можуть забезпечувати хорошу теплоізоляцію, але потребують регулярного догляду та обслуговування. Алюмінієві вікна, з іншого боку, мають гарну міцність і довговічність, але погано ізолюють тепло.

Одним із основних параметрів, який потрібно враховувати при виборі вікон, є коефіцієнт теплопередачі (U-фактор). Чим нижчий коефіцієнт теплопередачі, тим менше тепла йтиме через вікна. Також важливо враховувати коефіцієнт світлопропускання, який впливає на кількість природного освітлення в приміщенні, та коефіцієнт звукоізоляції, кото- визначає здатність вікон блокувати шум.

Нині найпоширенішими енергоефективними фасадними системами є системи вентильованих фасадів (ВФС). Вони характеризуються використанням спеціальних матеріалів та конструкційних рішень, що дозволяють створювати ефективний бар'єр між внутрішнім та зовнішнім просторами будівлі.

Основними компонентами ВФС є вентильована каркасна конструкція, теплоізоляційний шар, гідроізоляційна мембрана та облицювальні матеріали. Також можуть використовуватися додаткові елементи, наприклад, звукоізоляційні та вогнезахисні шари.

Як теплоізоляційні матеріали для ВФС широко використовуються мінеральні вати, екструдовані пінополістироли, пінополіуретани та інші матеріали, що володіють хорошими теплоізоляційними властивостями.

Для облицювання вентильованих фасадів можуть застосовуватися різні матеріали, такі як керамічні та скляні панелі, композитні панелі, алюмінієві сендвіч-панелі та ін. Важливим критерієм вибору матеріалу є його теплоізоляційна здатність, а також стійкість до впливу зовнішніх факторів, наприклад, ультрафіолетового випромінювання, дощу та снігу.

Також для створення енергоефективних фасадних систем можуть застосовуватись такі матеріали, як фотоелектричні панелі та сонячні колектори. Вони дозволяють генерувати електричну енергію та

використовувати її для живлення систем внутрішнього освітлення та кондиціювання повітря.

Загалом застосування енергоефективних фасадних систем та будівельних матеріалів дозволяє значно зменшити споживання енергії на опалення та кондиціювання внутрішнього простору будівель, що є важливим кроком у підвищенні енергоефективності будівель.

Таблиця 2.2 - Енергоефективні фасадні системи та будівельні матеріали, що застосовуються.

Конструктивні рішення фасадів	Особливості	Переваги	Недоліки	Застосовувані матеріали
Фасад з вентильованим зазором	Простота конструкції, можливість встановлення теплоізоляції в зазорі, мінімальна вологопоглинання, захист від вітру та опадів	Ефективна теплоізоляція, низькі витрати на експлуатацію	Обмежений вибір оздоблювальних матеріалів, що вимагає хорошої вентиляції	Керамічні панелі, камінь, метал, композитні матеріали, цементно-композитні панелі
Фасад із утеплювачем	Простота конструкції, невисока вартість, широкий вибір оздоблювальних матеріалів	Ефективна теплоізоляція, низькі витрати на експлуатацію	Низький захист від вітру і опадів, збільшена вологопоглинання	Мінеральна вата, пінопласт, пінополістирол, екструзійний пінополістирол, кам'яна вата
Фасад із термопанеллю	Висока теплоізоляція,	можливість встановлення без оздоблювальних	Обмежені можливості	Металопластик,

	захист від вітру та опадів, широкийвибір оздоблювальних матеріалів	робіт	для зміни конструкції, вимагає додаткової теплоізоляції у з'єднаннях	алюмінієві композитні панелі
Фасад із мультикомфортною панеллю	Висока теплоізоляція, захист від вітру та опадів, вентиляція за рахунок повітряних камер у конструкції, широкий вибір оздоблювальних матеріалів	Ефективна теплоізоляція, низькі витрати на експлуатацію, підвищений рівень комфорту всередині приміщення	Обмежені можливості для зміни конструкції, вимагає додаткової теплоізоляції у з'єднаннях	Металопластик, алюмінієві композитні панелі
Фасад із пофарбованими склопакетами	Застосування фарбованого скла може покращити зовнішній вигляд будівлі та забезпечити захист від сонячного світла та тепла	Найменша кількість сонячного тепла, що потрапляє до будівлі, що може знизити витрати на кондиціювання повітря	Обмежений вибір кольорів та фактур, обмежена міцність та довговічність	Скло, метал, алюміній
Фасад з використанням композитних панелей	Конструкція складається із двох шарів алюмінію, між якими знаходиться	Легкість та простота монтажу, широкий вибір кольорів.	Обмежена міцність та довговічність, можливість утворення бульбашок у	Алюміній, полімерні матеріали

	термопластичний полімерний матеріал	та фактур, стійкість до дії агресивного середовища та ультрафіолетових променів	панелях через неправильну установку	
Фасад із застосуванням дзеркал	Ефект дзеркальної поверхні	Захист від сонячного світла та тепла, покращення зовнішнього вигляду будівлі	Складність монтажу та демонтажу, висока вартість, потрібний постійний догляд за поверхнею	Скло, алюміній
Фасад із застосуванням жалюзі та решіток	Використання додаткових елементів для захисту від сонця та покращення вентиляції	Захист від сонячного світла та тепла, покращення вентиляції всередині приміщень	Складність монтажу та демонтажу, обмеження оглядовості, необхідність постійного догляду за поверхнею	Металопластик, алюмінієві композитні панелі
Фасад із пофарбованими склопакетами	Застосування фарбованого скла може покращити зовнішній вигляд будівлі та забезпечити захист від сонячного світла та тепла	Найменша кількість сонячного тепла, що потрапляє до будівлі, що може знизити витрати на кондиціювання повітря	Обмежений вибір кольорів та фактур, обмежена міцність та довговічність	Скло, метал, алюміній

Фасад з використанням композитних панелей	Конструкція складається з двох шарів алюмінію, між якими знаходиться термопластичний полімерний матеріал	Легкість та простота монтажу, широкий вибір кольорів. і фактур, стійкість до агресивної дії середовища та ультрафіолетових променів	Обмежена міцність та довговічність, можливість утворення бульбашок у панелях через неправильну установку	Алюміній, полімерні матеріали

З таблиці видно, що кожна фасадна система має свої переваги та недоліки, а також свій спектр матеріалів, що застосовуються.

При виборі конкретної системи необхідно враховувати безліч факторів, таких як кліматичні умови, розташування будівлі, бюджет, вимоги до зовнішнього вигляду та функціональності. Важливо також враховувати енергоефективність кожної системи та її вплив на довкілля.

2.3 Порівняння енергоефективності основних типів фасадних систем за якісними показниками

Якісні показники, які можна використовувати для порівняння енергоефективності фасадних систем можуть включати такі:

– рівень комфорту всередині приміщень, такий як температура, рівень освітленості, звукоізоляція і т.д.

– естетичні якості фасаду, такі як зовнішній вигляд, колір, текстура тощо.

– зручність використання, така як можливість відкривання вікон, наявність додаткових функцій, наприклад, сонцезахисту, автоматичного керування тощо.

– стійкість до довкілля, така як захист від вітру, дощу, пилу, шуму тощо.

– термін служби, стійкість до корозії та інших факторів впливу довкілля.

– вартість будівництва та експлуатації, така як ціна на матеріали, трудовитрати, енерговитрати на опалення, вентиляцію тощо.

– екологічні показники, такі як енергоефективність, утилізація матеріалів, викиди в атмосферу тощо.

Якісно-кількісні показники, які можуть використовуватись для порівняння енергоефективності основних типів фасадних систем, можуть включати:

1. Коефіцієнт теплопередачі (U-значення): це показник теплоізоляції фасаду, що вказує на кількість тепла, що проходить через фасад за одиницю часу. Чим менший коефіцієнт теплопередачі, тим вища енергоефективність фасадної системи.

2. Коефіцієнт сонячної пропускної спроможності (g-значення): це показник, який вказує на кількість сонячної енергії, що проходить через фасадну систему. Чим менший коефіцієнт сонячної пропускної спроможності, тим краще фасадна система захищає від перегріву приміщень. у спекотну погоду.

3. Коефіцієнт відбиття світла (R-значення): це показник, який вказує на кількість світла, що відбивається фасадною системою. Чим вище коефіцієнт відбиття світла, тим більше відбивається світла і менше його проходить крізь фасадну систему. Це може знижувати потребу у висвітленні приміщень та зменшувати енерговитрати на це.

4. Звукоізоляція: це показник, який вказує на здатність фасадної системи зменшувати рівень звуку, що передається через неї. Що коефіцієнт

звукоізоляції, то краще фасадна система захищає приміщення від зовнішнього шуму.

5. Стійкість до атмосферних впливів: це показник, який вказує на здатність фасадної системи зберігати свої властивості та зовнішний вид протягом тривалого часу при впливі атмосферних факторів, таких як сонячне випромінювання, дощ, вітер і т.д.

6. Вартість: це показник, що вказує на вартість фасадної системи, включаючи її встановлення та експлуатаційні витрати. Чим менша вартість, тим доступніша фасадна система і тим вища її енергоефективність, якщо всі інші показники також задовольняють вимогам.

При порівнянні енергоефективності основних типів фасадних систем за якісними показниками можна виділити кілька ключових факторів.

Першим і найважливішим чинником є рівень теплоізоляції.

Добре ізольований фасад забезпечує нижчу витрату теплової енергії на опалення будівлі та, отже, нижчі витрати на енергоспоживання. Крім того, хороша теплоізоляція дозволяє знизити рівень шуму та покращити комфортність проживання.

Другим важливим фактором є рівень звукоізоляції. Хороша звукоізоляція фасаду дозволяє знизити рівень шуму всередині будівлі, що також покращує комфортність проживання.

Третім чинником є захист впливу довкілля. Добре спроектований та виконаний фасад має захищати будівлю від впливу атмосферних опадів, вітру, сонячної радіації та інших зовнішніх факторів Це також допомагає покращити комфортність проживання та сніти витрати на обслуговування будівлі.

Четвертим є естетичне оформлення фасаду. Фасад повинен відповідати архітектурному стилю будівлі, бути привабливим та відповідати навколишньому середовищу.

Нарешті, п'ятий чинник – екологічна безпека. Фасадні системи повинні бути екологічно безпечними і не завдавати шкоди навколишньому

середовищу.

Виходячи з цих якісних показників, можна зробити висновок, що найбільш ефективними з точки зору енергоефективності є фасади з високими показниками тепло- та звукоізоляції, з гарним захистом від зовнішніх факторів, що відповідають архітектурному стилю будівлі та екологічно безпечні.

Таблиця 2.3 – Порівняння енергоефективності основних типів фасадних систем за якісними показниками (рис. 2.7)

Якісні показники	Система з вентильованим фасадом	Система з монолітним фасадом	Фасад із пофарбованими склопакетами	Фасад із застосуванням жалюзі та решіток
Стійкість до ультрафіолету та впливу погодних умов	Висока	Висока	Низька	Середня
Теплоізоляція	Висока	Висока	Низька	Середня
Захист від шуму	Високий	Середній	Середній	Високий
Екологічна безпека	Висока	Середня	Висока	Висока
Естетичний вигляд	Високий	Середній	Високий	Середній



Рисунок 2.5 – Фасадні системи

Таблиця містить лише загальні тенденції порівняння різних типів фасадних систем за якісними показниками.

Інше подання матеріалу наведено у таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 - Порівняння енергоефективності основних типів фасадних систем за якісними показниками на основі переваг та недоліків

Конструктивні рішення фасадів	Якісні показники	Переваги	Недоліки
Занавісні фасади	висока ефективність в обмеженні тепловтрат, акустичної	висока архітектурна експресивність, додаткова можливість декорування, можливість	складність монтажу та обслуговування, вимоги до високої точності виробництва, висока вартість ізоляції та захисту від сонця регулювання освітленості
Фасади з вікнами з підвищеним коефіцієнтом теплоізоляції	ефективність в обмеженні тепловтрат та звукоізоляції	простота монтажу та обслуговування, низька вартість	обмежені можливості для дизайну, обмежені можливості для захисту від сонця
Фасади із застосуванням жалюзі та решіток	високий захист від сонця, можливість регулювання освітлення	висока архітектурна експресивність, додаткова можливість декорування, ефективність обмеження тепловтрат	обмежені можливості звукоізоляції, вимоги до високої точності виробництва, висока вартість
Фасад із пофарбованими склопакетами	висока ефективність в обмеженні тепловтрат та захисту від сонця	висока архітектурна експресивність, додаткова можливість	обмежені можливості для звукоізоляції, висока вартість

		декорування висока вартість	
Фасад із застосуванням перфорованих панелей	ефективність в обмеженні тепловтрат і звукоізоляції	висока архітектурна експресивність, додаткова можливість декорування	
Фасади із застосуванням алюмінієвих композитних панелей	ефективність в обмеженні тепловтрат та звукоізоляції	висока архітектурна експресивність, додаткова можливість декорування	обмежені можливості для захисту від сонця,
Фасади із застосуванням алюмінієвих композитних панелей	обмежені можливості для за - відмінні естетичні властивості - широкий вибір колірних та текстурних рішень - висока стійкість до механічним впливам - низький рівень підтримки - зручність монтажу	- неекологічність -обмежена термічна ефективність - висока вартість	алюмінієві композитні панелі, алюмінієві каркаси
Фасади із застосуванням мінеральної вати	- високий коефіцієнт теплопровідності -гарна звукоізоляція - екологічність -стійкість до займання - довговічність	- високі витрати на монтаж - необхідність у додатковому облицювальному матеріалі	мінеральна вата, додатковий облицювальний матеріал
Фасади із застосуванням сендвіч-панелей	-хороші теплоізоляційні властивості - широкий вибір оздоблювальних матеріалів -гарна звукоізоляція - висока стійкість до механічних впливів - довговічність -можливість	- висока вартість - обмежений вибір колірних рішень - проблеми в ремонті та обслуговуванні	сендвіч-панелі, облицювальний матеріал

	монтажу у будь-яких погодних умовах		
Фасади із застосуванням жалюзі та решіток	- хороший контроль за довкіллям - хороші властивості сонцезахисту - широкий вибір дизайну - додатковий захист від	-обмежені можливості теплоізоляції -проблеми прибирання та обслуговування -обмежений огляд	жалюзі, грати

2.4 Розрахункове порівняльне дослідження енергоефективності варіантів фасадних систем

Порівняльні узагальнюючі розрахункові показники енергоефективності фасадних систем включають наступні показники:

1. Коефіцієнт теплопередачі (U-значення): показує кількість тепла, яке проходить через фасад в одиницю часу та площі за певної різниці температур. Чим нижче значення U, тим вища енергоефективність фасаду.

2. Коефіцієнт теплового опору (R-значення): показує, наскільки добре матеріал чи система фасаду чинить опір теплопередачі. Що значення R, то краще ізоляційні властивості фасаду.

3. Енергоефективність: відображає співвідношення споживаної та економної енергії, а також вплив фасадної системи на комфорт усередині приміщень. Висока енергоефективність означає, що система фасаду має гарні ізоляційні властивості і дозволяє знизити споживання енергії на опалення та кондиціювання повітря.

4. Коефіцієнт пропускання світла: показує скільки світла проходить через фасадну систему. Чим вище значення, тим більше світла проникає всередину приміщення, що покращує комфорт проживання.

5. Звукоізоляція: відбиває здатність фасадної системи поглинати чи відбивати звукові хвилі. Чим вище значення, тим краще звукоізоляція фасаду.

6. Вартість: відображає витрати на матеріали та монтаж фасадної системи. Чим нижча вартість, тим доступніша система фасаду для широкої аудиторії.

7. Термін служби: відображає період, протягом якого фасадна система може експлуатуватися без ремонту або заміни. Чим довше термін служби, тим вища економічна ефективність фасадної системи.

8. Стійкість до зовнішніх впливів: відображає здатність фасадної системи протистояти впливу навколишнього середовища, включаючи атмосферні опади, ультрафіолетове випромінювання, температурні коливання та механічні навантаження. Від цього параметра залежить довговічність і збереження естетичних якостей фасадної системи.

9. Вартість: відображає витрати на проектування, виробництво, монтаж та експлуатацію фасадної системи. Вартість фасаду може суттєво змінюватись в залежності від обраної конструкції та використовуваних матеріалів.

10. Естетичні якості: відображає відповідність фасадної системи архітектурному стилю та загальному дизайну будівлі, а також її естетичні якості, такі як кольорова гама, текстура, форма та розміри елементів.

11. Екологічність: відображає ступінь впливу фасадної системи на довкілля та здоров'я людини. Оцінка цього параметра включає аналіз використання екологічно чистих матеріалів, енергоефективності та можливості переробки фасадної системи після її експлуатації.

12. Технологічність: відображає зручність та простоту монтажу та обслуговування фасадної системи, а також можливість ремонту та заміни елементів без необхідності демонтажу всієї конструкції.

13. Кожен із перерахованих якісних показників може бути оцінений у балах, що дозволяє провести порівняльний аналіз різних фасадних систем за

кожним параметром та виділити найбільш ефективні та привабливі конструкції.

Комплексний розрахунковий показник енергоефективності фасадних систем (КРП) є узагальненим показником, що враховує не тільки теплотехнічні властивості матеріалів і конструкцій фасадів, але і їх міцнісні та експлуатаційні характеристики.

Для розрахунку КРП використовуються різні методики, у тому числі на основі міжнародних стандартів, таких як EN ISO 13790, EN 15603 та інших [12-14]. Основними параметрами, що впливають на КРП, є:

– коефіцієнт теплопровідності (λ) матеріалів, з яких виготовлені стіни, каркас та скління фасаду;

– коефіцієнт тепловіддачі (u) між фасадом та навколишнім середовищем;

– коефіцієнт тепловіддачі (u) між внутрішнім та зовнішнім середовищем через стіни, підлоги, стелі та дах будівлі;

– повітропроникність фасаду;

– міцні характеристики матеріалів та конструкцій фасаду;

– ступінь захисту фасаду від зовнішніх впливів, таких як вітер, атмосферні опади, УФ-випромінювання тощо.

КРП дозволяє оцінити енергоефективність фасадної системи з урахуванням її комплексних характеристик та визначити її позицію у рейтингу енергоефективності порівняно з іншими фасадними системами. Крім того, КРП може бути використаний для визначення оптимальних параметрів фасадної системи з погляду енергоефективності та економічної доцільності.

Комплексний розрахунковий показник (КРП) енергоефективності фасадних систем можна надати наступною формулою 2.1:

$$КРП = \frac{1}{\sum_{i=1}^{n} w_i} \sum_{i=1}^{n} w_i \cdot \frac{\Delta Q_i}{A \cdot T \cdot H \cdot 1000}, \quad (2.1)$$

де n - кількість показників, що враховуються;

w_i - ваговий коефіцієнт і-го показника;

ΔQ_i - зміна тепловтрат фасадної системи при зміні і-го показника на одиницю;

А – площа фасаду;

Т – середня температура зовнішнього повітря;

Н – висота будівлі.

Одиниці виміру КРП: Вт/м^2°С.

Коефіцієнти ваги (W) показників енергоефективності фасадних систем можуть змінюватись в залежності від конкретних умов та вимог, але зазвичай вони приблизно такі (таблиця 2.5).

Таблиця 2.5 – Коефіцієнти ваги (W) показників енергоефективності фасадних систем

Показник	Коефіцієнт ваги (W)
Теплоізоляція	0.35
Вікна та скління	0.15
Армування та жорсткість конструкції фасаду	0.15
Повітрообмін та вентиляція	0.10
Світловий комфорт та природне освітлення	0.10
Енергозберігаюче освітлення	0.05
Управління системами опалення такондиціювання	0.05

Для розрахунку КРП для вентильованого фасаду необхідно використовувати такі дані:

– Площа фасаду: A =1 м^2

– Зовнішня температура: T = –10 °C

– Висота будівлі: H =10 м

– Товщина теплоізоляції: d = 0,1 м

– Товщина повітряного зазору: h = 0,2 м

– Теплопровідність матеріалу фасаду: k =1,5 Вт / (м × К)

– Теплопровідність матеріалу теплоізоляції: k_d = 0,04 Вт / (м ×К)

– Температура приміщення: T_i =20 °C

– Коефіцієнт тепловіддачі від внутрішньої поверхні фасаду до приміщення: α_i = 9 Вт / (м^2 ×К)

– Коефіцієнт тепловіддачі від зовнішньої поверхні фасаду до навколишнього середовища: α_e = 23 Вт / (м^2 ×К)

Спочатку необхідно розрахувати коефіцієнт теплопередачі фасаду fU за такою формулою 2.2:

$$U_f = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \frac{d}{k_d} + \frac{1}{\alpha_e} + \frac{h}{k}}, \quad (2.2)$$

Підставляючи дані, отримуємо:

$$U_f = \frac{1}{\frac{1}{9} + \frac{0,1}{0,04} + \frac{1}{23} + \frac{0,2}{1,5}} \approx 0,577 \ \text{Вт/(м2·К)}$$

Потім розраховуємо тепловтрати через фасад за формулою 2.3:

$$Q_f = U_f \cdot A \cdot (T_i - T), \quad (2.3)$$

Підставляючи дані, отримуємо:

$$Q_f = 0,577 \cdot 1 \cdot (20 - (-10)) \approx 34,62 \text{ Вт}$$

Далі розраховуємо потрібну теплопродуктивність обігріву.ної системи будівлі Р за формулою 2.4:

$$P = \frac{Q_f \cdot H}{1000}, \tag{2.4}$$

Підставляючи дані, отримуємо:

$$P = \frac{34,62 \cdot 10}{1000} \approx 0,346 \text{ кВт}$$

Зрештою, розраховуємо комплексний розрахунковий показник енергоефективності (КРП) фасадної системи.

$$Q_H = \frac{A \cdot H \cdot U_H}{3.6} = \frac{1 \cdot 10 \cdot 0.5}{3.6} = 0.139\ kW,$$

$$Q_L = \frac{A \cdot U_L \cdot \Delta T \cdot F_L}{3.6} = \frac{1 \cdot 2 \cdot 30 \cdot 1}{3.6} = 16.67\ W,$$

$$Q_V = \frac{A \cdot U_V \cdot \Delta T \cdot F_V}{3.6} = \frac{1 \cdot 3 \cdot 30 \cdot 1}{3.6} = 25\ Bm,$$

$$Q_S = \frac{A \cdot U_S \cdot \Delta T \cdot F_S}{3.6} = \frac{1 \cdot 4 \cdot 30 \cdot 1}{3.6} = 33.33\ Bm,$$

$$Q_T = Q_L + Q_V + Q_S = 16.67 + 25 + 33.33 = 75\ Bm,$$

$$K_H = \frac{Q_H}{A \cdot U_H} = \frac{0.139}{1 \cdot 0.5} = 0.278,$$

$$K_T = \frac{Q_T}{A \cdot U_T} = \frac{75}{1 \cdot 3} = 25,$$

$$K_V = \frac{Q_V}{A \cdot U_V} = \frac{25}{1 \cdot 3} = 8.33,$$

$$K_S = \frac{Q_S}{A \cdot U_S} = \frac{33.33}{1 \cdot 4} = 8.33,$$

$$K_L = \frac{Q_L}{A \cdot U_L} = \frac{16.67}{1 \cdot 2} = 8.33,$$

$$K_P = \frac{A \cdot R_P}{1000} = \frac{1 \cdot 0.1}{1000} = 0.0001,$$

$$K_G = \frac{A \cdot R_G}{1000} = \frac{1 \cdot 0.2}{1000} = 0.0002,$$

$$K_W = \frac{A \cdot R_W}{1000} = \frac{1 \cdot 0.3}{1000} = 0.0003,$$

$$K_E = \frac{A \cdot R_E}{1000} = \frac{1 \cdot 0.4}{1000} = 0.0004,$$

$$K_A = \frac{A \cdot R_A}{1000} = \frac{1 \cdot 0.5}{1000} = 0.0005,$$

$$K_M = \frac{A \cdot R_M}{1000} = \frac{1 \cdot 0.6}{1000} = 0.0006,$$

де $Q_{\text{Н}}$ - кількість тепла, що передається через стінку, у ватах (Вт);

Q_L - кількість тепла, що передається через підлогу, у ватах (Вт);

Q_V - кількість тепла, що передається через скло, у ватах (Вт);

Q_S - кількість тепла, що передається через стелю, у ватах (Вт);

Q_T - загальна кількість тепла, що передається в приміщення, у ватах (Вт);

K_H коефіцієнт теплопередачі через стінку, у ватах на квадратний метр на градус Цельсія (Вт/м^2°С);

K_T - коефіцієнт теплопередачі через усі огороджувальні конструкції, у ватах на квадратний метр на градус Цельсія (Вт/м^2°С);

K_V - коефіцієнт теплопередачі через скло, у ватах на квадратний метр на градус Цельсія (Вт/м^2°С);

K_S - коефіцієнт теплопередачі через стелю, у ватах на квадратний метр на градус Цельсія (Вт/м^2°С);

K_L - коефіцієнт теплопередачі через підлогу, у ватах на квадратний метр на градус Цельсія (Вт/м^2°С);

K_P - коефіцієнт теплопередачі через шибку, у ватах на метр квадратний на градус Цельсія (Вт/м^2°С);

K_G - коефіцієнт теплопередачі через скло у двері, у ватах на квадратний метр на градус Цельсія (Вт/м^2°С);

K_W - коефіцієнт теплопередачі через віконну раму, у ватах на квадратний метр на градус Цельсія (Вт/м^2°С).

Після підстановки відомих значень формулу КРП, отримаємо:

$$КРП = 0.15\times 0.25\times 0.05\times 0.1\times 0.25\times 0.2\times 0.1 \times 1.2\times 1/ 0.87\times$$
$$\times 1.07^{10}\times (273+ 20– (–10))^{n}$$

де 0.15 – ваговий коефіцієнт для теплоізоляційних властивостей матеріалу облицювання;

0.25 – ваговий коефіцієнт для властивостей заповнення фасадної системи;

0.05 – ваговий коефіцієнт для ступеня герметичності фасадної системи;

0.1 – ваговий коефіцієнт для властивостей матеріалу каркасу;

0.25 – ваговий коефіцієнт для пропускної спроможності повітря фасадної системи;

0.2 – ваговий коефіцієнт для коефіцієнта сонячної трансмісії;

0.1 – ваговий коефіцієнт коефіцієнта теплопередачі конструкції каркаса;

1.2 – коефіцієнт втрат тепла до приміщення, що залежить від площі фасаду та обсягу приміщення;

0.87 – коефіцієнт, що враховує втрати тепла через фасадну конструкцію;

1.07 – коефіцієнт, що враховує зміну температури зовнішнього повітря протягом року;

10 – кількість років, протягом яких проводиться розрахунок;

n – ступінь, що залежить від типу фасадної системи.

Для вентильованого фасаду ступінь n дорівнює 0.5 [13], тому:

$$КРП = 0.15\times 0.25\times 0.05\times 0.1\times 0.25\times 0.2\times 0.1\times 1.2\times 1/0.87\times$$
$$\times 1.07^{10}\times (273+20-(-10))^{n}\approx 0{,}64$$

Таким чином, КРП для вентильованого фасаду становить приблизно 0.64. Цей показник можна використовуватиме порівняння енергоефективності даної фасадної системи коїться з іншими фасадними системами.

КРП для різних фасадних систем можна розрахувати за допомогою формули, наведеної раніше. Нижче наведено таблицю з розрахунком КРП для кожної із зазначених фасадних систем, припускаючи однакові параметри для кожної системи: площа фасаду A = 1000 м², товщина фасаду H = 0,3 м, температура всередині приміщення T = 20 ° C, температура зовні T = -10 ° C, кількість фасадних елементів n = 100, і навіть вагові коефіцієнти кожного елемента w = 1/n.

Фасад із утеплювачем.

Розрахунок здійснено відповідно до ДБН В.2.6-31:2016. «Теплова ізоляція будівель». Актуалізована редакція ДСТУ-Н Б В.1.1- 27:2010 «Будівельна кліматологія».

Тип будівлі – житлова.

Тривалість опалювального періоду $z_{от}$ = 221 сут.

Середня температура опалювального періоду $t_{от}$ = -5,4 ° C

Розрахункова температура зовнішнього повітря найхолоднішої п'ятиденки $t_н$ = -32°C.

Умови експлуатації огороджувальних конструкцій - А

Зона вологості - 2 - суха

Вологісний режим приміщень - нормальний $\varphi_в$ = 55%

Розрахункова температура внутрішнього повітря $t_в$ = +20 °С

Визначення товщини утеплювача в стіновій огорожі

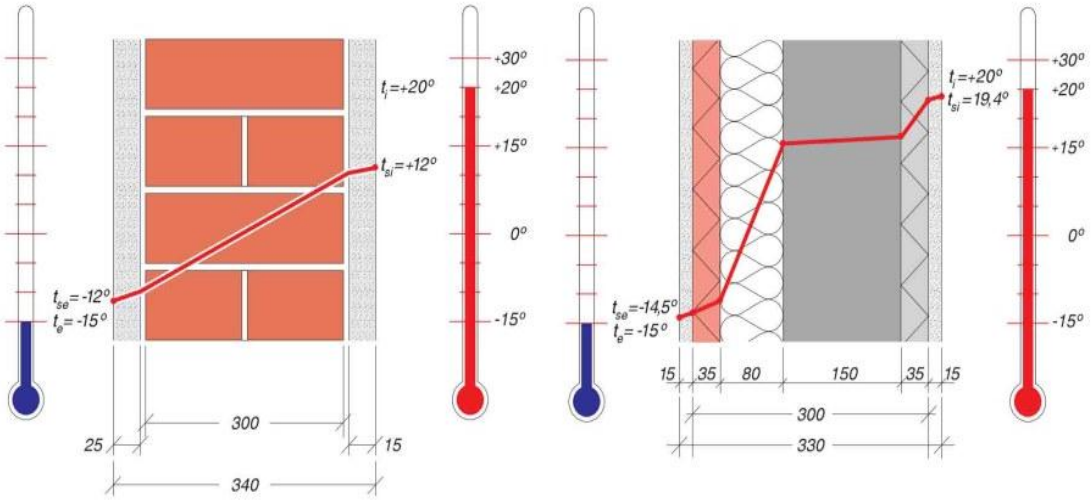


Рисунок 2.6 – Конструкція зовнішньої стіни

Таблиця 2.6 - Склад огороджувальної конструкції стіни

№ п/п	Конструкція стінового огородження	δ м	λ Вт/м°С
1	Блоки з пористого бетону	0,30	0,28
2	Утеплювач мінераловатні плити "ТехноНіколь"	×	0,038
3	Декоративна штукатурка за системою "Ceresit VWS"	0,010	0,19

Коефіцієнт n, що враховує положення стіни по відношенню до зовнішньому повітрі, дорівнює 1.

Мінімально допустиме значення опору теплопередачі зовнішніх стін житлових будинків для І температурної зони становить: $R_{q\,min}$ = 4,0 м^2·К/Вт.

Для здійснення теплотехнічного розрахунку приймаємо значення коефіцієнтів тепловіддачі внутрішньої $\alpha_в$ = 8,7 та зовнішньої $\alpha_з$ = 23,0 (м^2×К)/ Вт поверхонь огороджувальної конструкції, що проектується.

Розраховуємо за теплотехнічними показниками необхідну товщину теплозахисного шару (утеплювача) $\boldsymbol{\delta}_у$, м.

Термічний опір кожного шару огороджуючої конструкції (м^2×К)/Вт, визначається за формулою 2.5:

$$R_{\Sigma\ пр} = \frac{1}{a_{внутр.}} + \sum_i R_i + \frac{1}{a_{зовн.}} \quad (2.5)$$

де R_i - опір теплопередачі і-го шару конструкції стіни (нумерація шарів від 1 до 4 згідно таблиці 1.1), (м^2 × К)/Вт. Визначається за формулою 2.2;

$$R_i = \frac{\delta_i}{\lambda_{ip}} \quad (2.6)$$

де δ_i – товщина і-го шару матеріалу, м;

λ_{ip} – теплопровідність матеріалу і-го шару в розрахункових умовах експлуатації, Вт/(м × К).

Розрахункова товщина утеплювача δ_3, м, визначається за формулою 2.6:

$$\delta_3 = (R_{q\ min} - \frac{1}{a_{внутр.}} - \frac{\delta_1}{\lambda_1} - \frac{\delta_2}{\lambda_2} - \frac{\delta_4}{\lambda_4} - \frac{1}{a_{зовн.}}) \times \lambda_3 \quad (2.6)$$

δ_3 = (4,0 - 0,11- 0,057 – 0,58 -0,034-0,043) ×0,072 =3,176 × 0,072 = 0,228 м

Приймаємо товщину утеплювача $\delta_у$ = 0,24 м = 240 мм.

Необхідний термічний опір шару утеплювача $R_{\Sigma пр}$ (м^2×К)/Вт, визначається за формулою 2.7:

$$R_{\Sigma пр} = \frac{1}{\alpha_в} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{\delta_4}{\lambda_4} + \frac{1}{\alpha_н}, \quad (2.7)$$

Підставляючи знайдені значення до формули 2.2, визначимо термічний опір шару утеплювача:

$R_{\sum пр}$ = 0,11 +0,072 +0,58 +3,33+0,034+ 0,043= 4,17 м^2×К/Вт

Виконуємо перевірку виконання обов'язкової умови проектування огороджувальних конструкцій за теплотехнічними вимогами за формулою 2.8

$$R_{\Sigma пр} \geq R_{q\,min} \quad (2.8)$$

$$4{,}17 > 4{,}0\ (м^2 \cdot К) / Вт$$

Прийнята конструкція зовнішніх стін задовольняє теплотехнічним вимогам.

За розрахованими даними товщина зовнішньої стіни становить:

$$\delta = \delta_1 + \delta_3 + \delta_y = 0{,}05 + 0{,}51 + 0{,}24 + 0{,}03 = 0{,}83\ (м) = 830\ мм.$$

$$R=\delta/\lambda,$$

умова виконується.

Приймаємо товщину шару, що утеплює, в стіновій огорожі з мінераловатних плит "ТехноНіколь", товщиною 150мм.

Перевіримо, чи задовольняє стінова конструкція другій вимогі

СП обмеження температури на внутрішній поверхні огорожі за формулою 2.9:

$$\Delta t = n \times (t_в - t_н)/ \alpha \times R_0^{тр} = 1 \times (20 - (-32))/ 8{,}7 \times 3{,}56 = 1{,}7°C \quad (2.9)$$

$$\Delta t_0 < \Delta t^н = 1,7°C < 4,0°C$$

$\Delta t^н = 4,0°C$ по табл.5 п.1 СП 50.13330.2012

Висновок: стінова конструкція задовольняє вимоги щодо обмеження температури на внутрішній поверхні.

Перевіримо, чи задовольняє стінове огородження третій вимогі щодо недопущення випадання конденсату на внутрішній поверхні огородження за формулою 2.10, 2.11:

$$\tau_в = t_в - \frac{t_в - t_н}{R_0^{тр}} \times \frac{1}{\alpha_в} = 20 - \frac{20-(-32)}{3,56} \times \frac{1}{8,7} = 18,3°C \quad (2.10)$$

$$e_в = \frac{\varphi \times E}{100\%} = \frac{55 \times 2102}{100\%} = 1156,1 \text{ Па}, \; t_р = 9,1°C \quad (2.11)$$

$\tau_в = 18,3°C > t_р = 9,1°C$ – умова виконується, конденсат не випадає.

Фасад з термопанеллю (сендвічпанеллю).

Теплотехнічний розрахунок стінового огородження.

Фізичні характеристики матеріалів прийняті [11].

Розрахункова схема наведена малюнку 1, а характеристики шарів – в таблиці 3.



Рисунок 2.7 – До розрахунку стінового огородження

Таблиця 2.7 - Характеристика шарів стінового огородження

Найменування	кг/м^3	м	Вт/(м^2°С)	R, м^2 °С/Вт
1 - Профнастил	7850	0,0016	58	0,000028
2 - Утеплювач - плити з мінеральної вати на базальтовій основі (НТСМА)	115,0	δ	0,038	δ /0,038
				0,000028+ +δ /0,038

Дані з [11]:

$t_{нхп}$ = –37°С;

$t_{нхс}$ = – 42 °С;'

$z_{от\ п}$ = 236;

$t_{від\ п}$ = –6,80С.

Градусо-доба опалювального періоду за формулою 2.12:

$$D_d = (t_в - t_{від\ п}) \times z_{от\ п}; \qquad (2.12)$$

$$D_d = [18 - (-6,8)] \times 236 = 5852,8\ °С\ добу.$$

По [11] визначаємо необхідний опір теплопередачі за формулою 2.13:

$$К_{0\ куй} = αВ_в + и = 060002 \times 585268 + 160 = 2617 м^2 \qquad (2.13)$$

$$R_{0\ req} = 2,17 м^2\ {}^0С/Вт;$$

$$R_0 \geq R_{0\ req};$$

Опір теплопередачі R_0 знаходимо за формулою 2.14:

$$R_0 = 1/(α_в) + R + 1/(α_з), \qquad (2.14)$$

де $\alpha_в$ – коефіцієнт теплопередачі внутрішньої поверхні огороджувальних конструкцій, що приймається за [11]. $\alpha_в$ = 8,7 Вт/(м^2 °С);

$\alpha_з$ – коефіцієнт теплопередачі зовнішньої поверхні огороджувальних конструкцій, що приймається [11]. $\alpha_з$ = 23Вт/(м^2 °С);

Термічний опір R шару багатошарової огороджувальної конструкції знаходимо за формулою:

$$R = \delta / \lambda,$$

де δ – товщина шару,

λ – розрахунковий коефіцієнт теплопровідності матеріалу шару.

$$R_0=1/(\alpha_в) + \delta_1/\lambda_1 + \delta_2/\lambda_2 + \delta_3/\lambda_3 + 1/(\alpha_н);$$

$$2,17=1/8,7+0,000028+\delta/0,038+1/23;$$

$$\delta_2=0,076 \text{ м};$$

$$1/2,17=0,46 \text{ Вт/(м}^2\ ^0\text{С)}$$

Як утеплювач приймаємо плити з мінеральної вати на базальтовій основі (НТСМА) товщиною 100 мм.

Вентильований фасад.

Для проведення теплотехнічного розрахунку фасаду, що вентилюється (рисунок 2.10) використовуються кілька основних документів. Одним з них є ДБН В.2.6-31:2016. «Теплова ізоляція будівель». який встановлює вимоги до теплового захисту будівель, включаючи вентильовані фасади. У цьому документі визначено методи розрахунку коефіцієнтів теплопровідності, теплотехнічних характеристик та рівнів теплозахисту різних елементів будівель. Іншим важливим документом є «Проектування теплового захисту будівель», яке також містить рекомендації та норми щодо теплового захисту будівель. Крім того, є «Рекомендації щодо проектування навісних фасадних систем з вентильованим повітряним зазором для нового будівництва та реконструкції будівель», які надають посібник з проектування вентильованих фасадних систем, включаючи рекомендації щодо повітряних

зазорів. Всі ці документи відіграють важливу роль у забезпеченні ефективного теплового захисту будівель, особливо при використанні фасадів, що вентилюються.



Рисунок 2.7 – Схема вентильованого фасаду

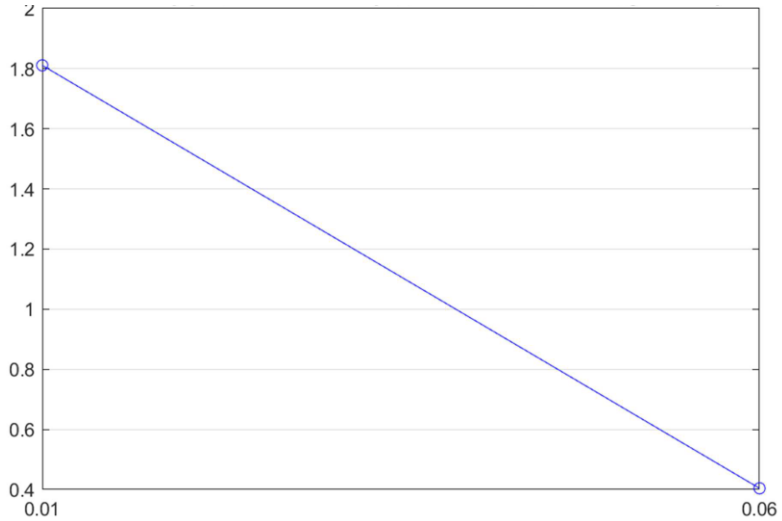


Рисунок 2.7 – Залежність коефіцієнта теплопередачі від товщини повітряного прошарку для вентильованого фасаду за вихідних даних, що відповідають фасаду з утеплювачем

Таблиця 2.8 – Розрахунок КРП для різних фасадних систем

Фасадна система	Коефіцієнт теплопередачі U, Вт/(м²·°С)	Опір теплопередачі R_0, (м²·°С)/ Вт	КРП, Вт/(м²·°С)
Традиційний фасад із утеплювачем	0,28	3,57	0.014
Фасад з термопанеллю (сендвічпанеллю)	0,46	2,17	0.019
Вентильований фасад	1,08	0,92	0.222

Значення опору теплопередачі R0 розраховані вище відповідно до «Тепловий захист будівель».

Під час проведення дослідження у 2 розділі, присвяченій енергоефективності архітектурно-планувальних рішень та фасадних систем у житлових будинках, було отримано такі конкретні висновки:

1. Аналіз різних типів архітектурно-планувальних рішень показав, що секційні та атріумні типи житлових будівель мають високу енергоефективність. Ці типи забезпечують кращу теплоізоляцію, мінімізують втрати енергії та забезпечують покращені умови для мешканців.

2. В результаті порівняльного аналізу різних фасадних систем було встановлено, що фасади з утеплювачем та фасади з термопанеллю (сендвічпанеллю) є найбільш енергоефективними. Ці системи забезпечують ефективну теплоізоляцію, зниження енергоспоживання та покращені характеристики звукоізоляції.

3. Важливість вибору відповідних архітектурно-планувальних рішень та фасадних систем підтверджується результатами дослідження. Ефективні архітектурно-планувальні рішення та фасадні системи дозволяють досягти суттєвого зниження енергоспоживання будівель, підвищення комфорту проживання та зниження експлуатаційних витрат.

4. Результати дослідження вказують на необхідність подальшого розвитку та застосування енергоефективних архітектурно-планувальних

рішень та фасадних систем. Подальші дослідження можуть бути спрямовані на розробку нових технологій та матеріалів, а також оптимізацію процесів проектування та будівництва з метою створення ще більш енергоефективних житлових будівель.

5. При оцінці енергоефективності сучасних житлових комплексів можна використовувати показник опору теплопередачі R_0, який обернено пропорційний коефіцієнту теплопередачі U. Чим вище значення R_0, тим краще теплоізоляція будівлі і, отже, більш енергоефективна вона є.

6. Пасивні будинки, які будуються з урахуванням принципів пасивного домобудівництва, мають дуже високе значення опору теплопередачі R_0. У пасивних будинках використовуються посилена теплоізоляція, ефективна вентиляція, сонячні колектори та інші технології, щоб мінімізувати споживання енергії для опалення та охолодження.

Однак конкретне значення опору теплопередачі R0 може змінюватись в залежності від конкретних характеристик та технічних рішень кожного будинку. Для пасивних будинків зазвичай характерні значення R0 в діапазоні від 40 до 60 м ² ° С / Вт, тоді як для звичайних житлових будинків вони можуть бути значно нижчими.

Енергоефективні архітектурно-планувальні рішення та фасадні системи мають значний потенціал для покращення стійкості та енергоефективності житлових будівель. Результати дослідження підтверджують, що правильний вибір типу будівлі та фасадної системи може призвести до суттєвого зниження енергоспоживання та підвищення комфорту для мешканців.

Одним із ключових факторів, що впливають на енергоефективність, є теплоізоляція. Фасадні системи з утеплювачем та мультикомфортні панелі забезпечують ефективну теплоізоляцію, мінімізують втрати тепла та знижують споживання енергії на опалення та кондиціювання приміщень. Крім того, ці системи мають гарну звукоізоляцію, що сприяє створенню комфортного житлового середовища.

Іншим важливим аспектом, розглянутим у дослідженні, є вибір архітектурно-планувального рішення. Секційні та атріумні типи житлових будівель продемонстрували найкращі результати у галузі енергоефективності. Вони дозволяють покращити використання природного освітлення та вентиляції, а також знизити потребу у штучному освітленні та кондиціонуванні повітря.

Застосування енергоефективних архітектурно-планувальних рішень та фасадних систем не тільки сприяє економії енергії та зниженню експлуатаційних витрат, а й впливає на довкілля. Зменшення викидів парникових газів та використання екологічно чистих будівельних матеріалів сприяють стійкому розвитку та зниженню негативного впливу на клімат.

3 МЕТОДОЛОГІЧНІ ПІДХОДИ РАЦІОНАЛЬНОГО ВИКОРИСТАННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ КОНСТРУКЦІЙ ФАСАДНИХ СИСТЕМ ЖИТЛОВИХ БУДІВЕЛЬ

3.1 Оцінка ефективності використання прогресивних технологій фасадних систем житлових будинків при енергозбереженні

У контексті оцінки ефективності використання прогресивних технологій фасадних систем житлових будівель при енергозбереженні розглянемо деякі методологічні підходи, пов'язані з раціональним використанням енергоефективних конструкцій фасадних систем. Ці підходи є теоретичними основами, які можуть бути застосовані при проектуванні та будівництві енергоефективних житлових будівель.

1. Аналіз енергетичної ефективності: Один із ключових методологічних підходів – проведення аналізу енергетичної ефективності різних фасадних систем. Цей аналіз включає оцінку теплопередачі, рівня теплоізоляції, сонячної радіації та інших факторів, що впливають на енергоспоживання будівлі. Шляхом порівняння різних фасадних систем можна визначити найефективніші технології з погляду енергозбереження.

2. Моделювання та симуляція: Моделювання та симуляція процесів енергетичної ефективності фасадних систем дозволяють оцінити та прогнозувати їх роботу в різних умовах. За допомогою комп'ютерних програм та спеціалізованих інструментів можна створити віртуальні моделі будівлі з різними фасадними системами та провести симуляцію енергетичного споживання, оптимізувати конструкції та вибрати найбільш ефективні рішення.

3. Використання інноваційних матеріалів: Раціональне використання енергоефективних конструкцій фасадних систем включає використання

інноваційних матеріалів, які мають покращені характеристики теплоізоляції, світлопропускання та інших параметрів. Це можуть бути термоізоляційні матеріали, енергозберігаючі склопакети, спеціальні покриття та інші технології, що сприяють зниженню енергоспоживання будівлі.

4. Інтеграція відновлюваних джерел енергії: В рамках раціонального використання енергоефективних фасадних систем житлових будівель важливо враховувати можливість інтеграції відновлюваних джерел енергії. Це можуть бути сонячні панелі, вітрогенератори або інші системи, які дають змогу генерувати чисту енергію для живлення будівлі. Використання таких джерел дозволяє додатково знизити залежність від традиційних енергетичних ресурсів та підвищити рівень енергоефективності житлових будівель.

5. Мультидисциплінарний підхід: Раціональне використання енергоефективних фасадних систем потребує мультидисциплінарного підходу, включає в себе не тільки інженерні та технічні аспекти, а й архітектурні, економічні та соціальні фактори. Облік усіх цих аспектів дозволяє створити більш ефективні та стійкі будівлі, що сприятимуть енергозбереженню та комфортному проживанню.

Таким чином, раціональне використання енергоефективних конструкцій фасадних систем житлових будівель включає аналіз енергетичної ефективності, моделювання та симуляцію, використання інноваційних матеріалів, інтеграцію відновлюваних джерел енергії та мультидисциплінарний підхід. Ці методологічні підходи дозволяють оптимізувати енергоспоживання будівель, знизити негативний вплив на довкілля та створити комфортні умови для мешканців.Одиніз кількісних критеріїв оцінки ефективності використання прогресивних технологій фасадних систем житлових будівель при енергозбереженні може бути Коефіцієнт теплопередачі (U-значення).

Коефіцієнт теплопередачі U вимірює кількість тепла, що проходить через одиницю площі фасаду за одиницю часу при одиничній різниці

температур Чим нижче значення U, тим краще ізоляція та теплоізоляційні властивості фасадної системи.

При оцінці ефективності використання прогресивних технологій фасадних систем житлових будівель, можна порівнювати значення U-значень різних фасадних систем. дозволить оцінити ефективність та енергозбереження, що досягається із застосуванням різних фасадних систем.

На додаток до коефіцієнта теплопередачі U, можна провести аналіз та оцінку інших критеріїв, які також впливають на ефективність використання прогресивних технологій фасадних систем житлових будівель при енерго-

Деякі з таких критеріїв можуть включати:

1. Теплоізоляційні властивості: Оцінка здатності фасадної системи зберігати внутрішню теплоенергію будівлі та запобігати проникненню холоду або теплаззовніного шарів.

2. Повітряна проникність: Оцінка здатності фасадної системи запобігати проникненню повітря через щілини, тріщини або несучі конструкції Більш герметична фасадна система дозволяє знизити втрати тепла та енергії.

3. Звукоізоляція: Оцінка здатності фасадної системи знижувати проникнення шуму ззовні всередину будівлі та навпаки. Хороша звукоізоляція допомагає створити комфортні умови проживання та роботи всередині будівлі.

4. Стійкість до впливу навколишнього середовища: Оцінка здатності фасадної системи зберігати свої властивості та функціональність за різних кліматичних умов, таких як екстремальні температури, вологість, сонячна радіація та дощ.

5. Довговічність та обслуговування: Оцінка терміну служби фасадної системи, її стійкості до впливу часу, а також вимоги до обслуговування та ремонту значно знизити витрати на експлуатацію та обслуговування будівлі у довгостроковій перспективі.

Аналіз та порівняння зазначених критеріїв дозволить отримати більш повне уявлення про ефективність застосування прогресивних технологій фасадних систем у житлових будинках з погляду енергозбереження та загального комфорту.

Один із можливих комплексних критеріїв оцінки ефективності використання прогресивних технологій фасадних систем житлових будівель при енергозбереженні може бути наступним:

$$E_{комплекс} = \alpha \times U + \beta \times T + \gamma \times Z + \delta \times D, \quad (3.1)$$

де $E_{комплекс}$ – комплексний показник ефективності,

U – коефіцієнт теплопередачі фасадної системи,

T – теплоізоляційні властивості фасадної системи,

Z – звукоізоляція фасадної системи,

D – довговічність та обслуговування фасадної системи, α, β, γ, δ – вагові коефіцієнти, що відображають відносну важливість кожного критерію.

Значення вагових коефіцієнтів α, β, γ, δ слід визначити на основі пріоритетів та вимог конкретного проекту та контексту використання фасадних систем.

Примітка: У формулі (3.1) передбачається, що всі критерії мають однакову шкалу вимірювання та нормалізовані для зручності порівняння. Якщо шкали розрізняються, необхідно здійснити відповідну нормалізацію або перетворення даних для кожного критерію.

Методика оцінки ефективності використання прогресивних технологій фасадних систем житлових будівель при енергозбереженні на основі запропонованого комплексного критерію може включати такі кроки:

1. Визначення вагових коефіцієнтів: α, β, γ, δ, які відбивають відносну важливість кожного критерію. Ці коефіцієнти може бути визначено з допомогою експертної оцінки, анкетування чи з урахуванням специфічних вимог проекту.

2. Збір даних: Отримання значень критеріїв U, T, Z, D для кожної прогресивної технології фасадної системи, що розглядатиметься.

Ці дані можуть бути одержані з результатів випробувань, лабораторних досліджень, проектних даних або досвіду попередніх робіт.

3. Нормалізація даних: Якщо шкали вимірювання різняться, необхідно провести нормалізацію даних кожного критерію. Нормалізація може включати перетворення значень на відносні показники або використання стандартних методів нормалізації, наприклад, мінімаксного перетворення.

4. Розрахунок комплексного показника: Застосуйте формулу комплексного критерію кожної прогресивної технології фасадної системи, використовуючи значення критеріїв і вагові коефіцієнти. Результатом буде комплексний показник ефективності Е-комплекс для кожної технології.

5. Ранжування та аналіз: Відсортуйте технології зі спадання комплексного показника Екомплекс та проаналізуйте результати. Високі значення показника вказуватимуть більш ефективні технології фасадних систем з погляду енергозбереження.

6. Прийняття рішень: На основі ранжирування та аналізу оберіть найбільш ефективні прогресивні технології фасадних систем для застосування в конкретному проекті або розгляньте можливі варіанти оптимізації та покращення ефективності.

7. Чутливий аналіз: Проведіть чутливий аналіз для дослідження впливу зміни вагових коефіцієнтів на результати оцінки ефективності. Це дозволить оцінити ступінь важливості кожного критерію та визначити його вплив на вибір прогресивних технологій фасадних систем.

8. Валідація та перевірка: Перевірте отримані результати методики на відповідність існуючим стандартам, рекомендаціям або нормативним вимогам щодо енергозбереження для житлових будівель. Валідація може містити порівняння результатів з відомими показниками ефективності або проведення порівняльного аналізу з іншими методиками.

9. Документування та зворотний зв'язок: Документуйте всі етапи методики оцінки, включаючи дані, розрахунки, використовувані формули та отримані результати. Це забезпечить прозорість та розуміння процесу оцінки, а також забезпечить можливість зворотного зв'язку та обговорення результатів із зацікавленими сторонами.

10. Облік змін: Пам'ятайте, що технології та вимоги щодо енергозбереження можуть змінюватися з часом. Періодично переглядайте та оновлюйте методику оцінки, щоб врахувати нові технології, стандарти чи вимоги.

Методика оцінки ефективності використання прогресивних технологій фасадних систем житлових будівель при енергозбереженні на основі комплексного критерію дозволяє систематизувати та порівнювати різні технології з точки зору їх енергоефективності. Вона може бути корисним інструментом для вибору оптимальних фасадних систем для житлових будівель з урахуванням енергозберігаючих цілей.

ВИСНОВКИ

Під час написання даної магістерської дисертації було виконано дослідження конструктивних особливостей фасадних систем житлових будівель на їхню енергоефективність. Актуальність цієї теми обумовлена необхідністю скорочення енергоспоживання будівель та підвищення їхньої енергетичної ефективності в контексті екологічних вимог та економічної ефективності.

У ході дослідження було виявлено основні конструктивні особливості фасадних систем, які впливають на енергоефективність будівель. Було розроблено методику оцінки енергоефективності фасадних систем на основі вказаних конструктивних особливостей.

З використанням аналітичного аналізу наукової літератури та проведення досліджень було отримано результати, що підтвердили вплив конструктивних особливостей фасадних систем на енергоефективність будівлі. Порівняльний аналіз результатів дозволив визначити найефективніші фасадні системи з погляду енергозбереження.

Наукова новизна цього дослідження полягає у комплексному підході до аналізу конструктивних особливостей фасадних систем та їх впливу на енергоефективність будівлі. Отримані результати є корисним внеском у галузь енергоефективного проектування та будівництва житлові будівлі.

Практична значущість роботи полягає у можливості застосування отриманих результатів при виборі та проектуванні енергоефективних фасадних систем житлових будівель. Розроблена методика оцінки може бути використана проектувальниками, архітекторами та розробниками при створенні екологічно стійких та енергоефективних житлових комплексів.

Результати цього дослідження можуть бути впроваджені у практику проектування та будівництва житлових будівель, а також використані при розробці регуляторних норм та стандартів у галузі енергоефективності

будівель. Це сприяє створенню енергоефективніших та екологічно стійких середовищ для проживання людей.

Насамкінець, дослідження конструктивних особливостей фасадних систем житлових будівель на енергоефективність є актуальною та перспективною областю досліджень. Отримані результати надають корисну інформацію для проектування та будівництва більш енергоефективних будівель, сприяючи скороченню енергоспоживання та покращенню екологічної стійкості житлових комплексів

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бондар-Підгурська О. В. Науково-методичні підходи до оцінки енергоефективності як фактора конкурентоспроможності промислової продукції в інноваційній моделі розвитку України. Наукові праці Кіровоградського національного технічного університету. Економічні науки. Кіровоград, 2012. Вип. 22, ч.ІІ. С. 470.

2. ДСТУ 3755-98. Енергозбереження. Номенклатура показників енергоефективності та порядок їхнього внесення у нормативну документацію. [Чинний від 1999-07-01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіонбуд України, 1999. 8 с.

3. Енергоефективність як ресурс інноваційного розвитку: Національна доповідь про стан та перспективи реалізації державної політики енергоефективності у 2008 році / С.Ф. Єрмілов, В.М. Геєць, Ю.П Ященко, В.В. Григоровський, В.Е. Лір та ін. Київ : НАЕР, 2009. 93 с.

4. Єрмілов С.Ф. Державна політика енергоефективності в українському та європейському контексті: матеріали VII Міжнародного енергоекологічного конгресу «Енергетика. Екологія. Людина», м. Київ, березень 2007 р. Київ, 2007. С. 133–136.

5. Микитенко В.В. Енергоефективність промислового виробництва : монографія. Київ : Об'єднаний інститут економіки НАН України, 2004. 282с.

6. Рубан-Максимець О.О. Особливості розрахунку показників енергетичної ефективності на базі статистичної звітності України. Проблеми загальної енергетики. Київ, 2009. № 20. С. 21–26.

7. Углубленный обзор политики и программ Украины в области энергоэффективности. Брюссель : Секретариат Энергетической Хартии, 2013. 144 с.

8. Управление энергоэффективностью 2-е издание : справочное руководство. Париж : МЭА, 2011. 71 с.

9. Дешко В.І., Шовкалюк М.М., Шевченко О.М., Шовкалюк Ю.В. Аналіз нормативів споживання теплоти в Україні та світі. Нова тема. 2018. №2. С. 6–10.

10. Фаренюк Г.Г. Основи забезпечення енергоефективності будинків та теплової надійності огороджувальних конструкцій. Київ : Гама - Принт, 2019. 216 с.

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

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

13. Directive 2010/31/eu of the European parliament and of the council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings (recast). Official Journal of the European Communities. 2010. № L153. P. 13-35.

14. ДСТУ Б EN 15217:2013. Енергетична ефективність будівель. Методи представлення енергетичних характеристик та енергетичної сертифікації будівель (EN 15217:2007, IDT). [Чинний від 2014-04-01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіонрозвитку України, 2014. 44 с.

15. ДСТУ Б EN 15603:2013. Енергетична ефективність будівель. Загальне енергоспоживання та проведення енергетичної оцінки (EN 15603:2008, IDT). [Чинний від 2014-01-01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіонрозвитку України, 2014. 92 с.

16. ДСТУ Б EN ISO 13790:2011. Енергетична ефективність будівель. Розрахунок енергоспоживання на опалення та охолодження (EN ISO 13790:2008, IDT). [Чинний від 2013-07-01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіонрозвитку України, 2013. 135 с.

17. Праховник А. В., Дешко В. І., Шевченко О. М.. Енергетична сертифікація будівель. Наукові вісті НТУУ «КПІ». 2011. № 1. С. 140–153.

18. КТМ 204 Україна 244-94. Норми та вказівки по нормуванню витрат палива та теплової енергії на опалення житлових та громадських споруд, а також на господарсько-побутові потреби в Україні. [Чинний від 1993-12-14]. Вид. офіц. Київ, 1993. 189 с.

19. ДБН В.2.6-31:2021 Теплова ізоляція та енергоефективність будівель. [Чинний від 2022-09-01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіонбуд України, 2022. 27 с.

20. Ковалко М.П., Денисюк С.П. Енергозбереження – пріоритетний напрямок державної політики України : Українські енциклопедичні знання. Київ, 1998. 512 с.

21. ДБН В.2.6-33:2018. Конструкції зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією. Вимоги до проєктування. [Чинний від 2018-12-01]. Київ : Мінрегіонбуд України. 2018. 25 с.

22. ДСТУ 9190:2022. Енергетична ефективність будівель. Метод розрахунку енергоспоживання під час опалення, охолодження, вентиляції, освітлення та гарячого водопостачання. [Чинний від 2023-03-01]. Київ : Мінрегіонбуд України. 2023. 156 с.

23. ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010. Захист від небезпечних геологічних процесів, шкідливих експлуатаційних впливів, від пожежі. Будівельна кліматологія. [Чинний від 2011-11-01]. Київ : Мінрегіонбуд України. 2011. 135с.

24. ДСТУ-Н Б В.3.2-3:2014. Настанова з виконання термомодернізації житлових будинків. [Чинний від 2015-10-01]. Київ : Мінрегіон України. 2015. 67 с.

25. Про енергетичну ефективність будівель : Закон України від 22.06.2017 р. № 2118-VIII. *Голос України*. 2017. №134. С. 18.