

Вінницький національний технічний університет
(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії
(повне найменування інституту, факультету (відділення))

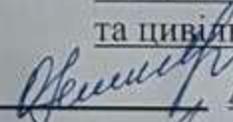
Кафедра будівництва, міського господарства та архітектури
(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

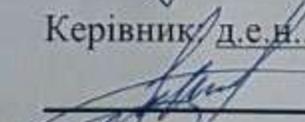
на тему:

РАЦІОНАЛЬНІ РІШЕННЯ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ МАЛОПОВЕРХОВИХ ЖИТЛОВИХ БУДІВЕЛЬ

Виконала: студентка 2-го курсу, групи Б-23мз
спеціальності 192 – «Будівництво
та цивільна інженерія»

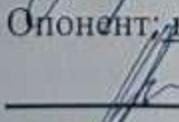

_____ Адамова О. І.

Керівник: д.е.н., проф., асистент каф. БМГА


_____ Джеджула В. В.

« 9 » червня 2025 р.

Опонент: к.т.н., доц. каф. ІСБ


_____ Панкевич О. Д.

« 10 » червня 2025 р.



Вінниця ВНТУ – 2025 рік

Вінницький національний технічний університет
Факультет Будівництва, цивільної та екологічної інженерії
Кафедра Будівництва, міського господарства та архітектури
Рівень вищої освіти II-й (магістерський)
Галузь знань 19 – Архітектура та будівництво
Спеціальність 192 – Будівництво та цивільна інженерія
Освітньо-професійна програма Промислове та цивільне будівництво



ЗАВДАННЯ НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ

Адамовій Оксані Іванівні

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) **РАЦІОНАЛЬНІ РІШЕННЯ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ МАЛОПОВЕРХОВИХ ЖИТЛОВИХ БУДІВЕЛЬ**

керівник роботи **Джеджула В'ячеслав Васильович, д.е.н., професор**

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від "20" березня 2025 року №96.

2. Строк подання магістрантом роботи 30.05.2025 р.

3. Вихідні дані до роботи: нормативна література, результати досліджень, фрагмент ситуаційного плану, карта місцевості

4. Зміст текстової частини: Вступ (актуальність та новизна наукових досліджень, об'єкт, предмет, мета і задачі, новизна, практична значимість, апробація). Розділ 1 Теоретичні засади енергоефективності малоповерхових житлових будівель (Сучасний стан проблеми енергозбереження в житловому секторі. Основні напрямки підвищення енергоефективності. Світовий досвід підвищення енергоефективності малоповерхових житлових будівель. Вітчизняні підходи до енергоефективного малоповерхового будівництва, проблеми та перспективи. Ефективність впровадження рішень з підвищення енергоефективності у малоповерхову житлову будівництво. Висновки до розділу 1). Розділ 2 Комплекс енергоефективних рішень для малоповерхових житлових будинків (Особливості архітектурно-планувальних рішень для енергоефективного будинку. Каркасні будинки на основі SIP-панелей як енергоефективне конструктивне рішення. Теплоізоляція огорожувальних конструкцій. Інженерні рішення приватного будинку для оптимізації енергоспоживання. Альтернативна електроенергія як джерело забезпечення енергонезалежності житлового будинку. Висновки до розділу 2). Розділ 3 Моделювання тепловтрат малоповерхового житлового будинку (Розробка моделі для дослідження теплотехнічних параметрів будівлі. Вплив розміщення опалювального приладу під віконним прорізком на тепловтрати. Розрахунок тепловтрат малоповерхового житлового будинку. Розрахунок часу охолодження будівлі без опалення. Висновки до розділу 3). Розділ 4 Технічна частина (Рішення генерального плану. Об'ємно-планувальні рішення модульного будинку. Архітектурні рішення будинку з газобетонних блоків. Організаційно-технологічні рішення. Галузь застосування технологічної карти. Організація і технологія виконання робіт. Калькуляція трудовитрат. Контроль якості виконання робіт. Охорона праці. Висновки до розділу 4). Розділ 5 Економічна частина. Висновки. Список використаних джерел. Додатки

Ар
1
-23мз

5. Перелік ілюстративно-графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): 1. Науково-дослідний розділ – 5-7 арк. (плакати, що ілюструють результати науково-дослідної роботи). 2. Архітектурно-будівельні рішення – 2-3 арк. (архітектурно-будівельні рішення малоповерхових житлових будинків). 3. Організаційно-технологічні рішення – 1 арк. (Технологічна карта на влаштування електричної теплої підлоги житлового будинку. Календарний графік виконання робіт).

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	виконання прийняв
Вступ, науковий розділ 1-3	Джеджула В.В., д.е.н., асистент кафедри БМГА		
Розділ 4. Технічна частина. Архітектурно-будівельні та конструктивні рішення	Джеджула В.В., д.е.н., асистент кафедри БМГА		
Розділ 4. Технічна частина. Організаційно-технологічні рішення	Кучеренко Л.В., к.т.н., доцент кафедри БМГА		
Розділ 5. Економічна частина	Лялюк О. Г., к.т.н., доцент кафедри БМГА		

7. Дата видачі завдання 02.01.2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітки
1	Складання вступу до МКР	02.01-15.01.25	
2	Науково-дослідна частина (три розділи)	02.01-14.02.25	
3	Архітектурно-будівельні рішення технічного об'єкту	17.02-15.03.25	
4	Організаційно-технологічні рішення	17.03-12.04.25	
5	Подання роботи на перевірку на наявність текстових запозичень	14.04-19.04.25	
6	Економічна частина	14.04-30.04.25	
7	Оформлення МКР	01.05-12.05.25	
8	Подання МКР на кафедру для перевірки	12.05-16.05.25	
10	Попередній захист	30.05.25	
11	Опонування	02.06-10.06.25	
12	Захист МКР	11.06-24.06.25	

Здобувач

Адамова О.
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

Джеджула В.
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

УДК 69.032.4:699.86:697.1

Адамова О. І., Раціональні рішення для підвищення енергоефективності малоповерхових житлових будівель. Магістерська кваліфікаційна робота за спеціальністю 192 – «Будівництво та цивільна інженерія». Вінниця: ВНТУ, 2025. 113 с.

На укр. мові. Бібліогр.: 71 назв; рис.: 26; табл. 18; арк. граф. част.: 15.

У магістерській кваліфікаційній роботі досліджено шляхи підвищення енергоефективності малоповерхових житлових будівель в умовах енергетичної нестабільності та відсутності централізованого теплопостачання. Проаналізовано сучасні архітектурно-конструктивні та інженерні рішення, що сприяють зниженню теплових втрат, зокрема впровадження теплоізоляційних систем, технологій SIP-панелей, систем рекуперації та автоматизованого управління мікрокліматом. Проведено огляд світового й вітчизняного досвіду реалізації енергоефективного житла.

У розділі 4 роботи здійснено порівняльне теплотехнічне моделювання двох варіантів будівель – з газоблоку та з SIP-панелей – з різними системами опалення. Визначено їхній вплив на тепловтрати, тривалість остигання приміщень при аварійному відключенні електроенергії та рівень енергетичної автономності.

У розділі 5 виконано техніко-економічне порівняння двох варіантів систем опалення – електричної теплої підлоги та електричних конвекторів. Обґрунтовано вибір системи опалення залежно від пріоритетів: вартість чи комфорт.

Результати дослідження можуть бути використані для проєктування нових енергоефективних будинків у приватному секторі та реконструкції існуючих житлових об'єктів.

Ключові слова: енергоефективність, малоповерхове житлове будівництво, SIP-панелі, теплове моделювання, тепла інерційність, електричне опалення, тепла підлога, економічне обґрунтування.

ANNOTATION

Adamova O. I. Rational Solutions for Improving the Energy Efficiency of Low-Rise Residential Buildings. Master's Thesis in specialty 192 – "Construction and Civil Engineering". Vinnytsia: VNTU, 2025. 113 p.

In Ukrainian. Bibliography: 71 titles; figures: 26; tables: 18; sheets of graphical part: 15.

The master's thesis explores approaches to improving the energy efficiency of low-rise residential buildings under conditions of energy instability and the absence of centralized heating. It analyzes modern architectural, structural, and engineering solutions that reduce heat losses, including the implementation of thermal insulation systems, SIP panel technology, heat recovery systems, and automated indoor climate control. The study provides a review of international and domestic experience in the development of energy-efficient housing.

Chapter 4 presents a comparative thermal simulation of two structural options – using aerated concrete blocks and SIP panels – with different heating systems. Their influence on heat loss, room cooling time during power outages, and the level of energy autonomy is determined.

Chapter 5 includes a techno-economic comparison of two heating systems – electric underfloor heating and electric convectors. The choice of heating solution is justified based on key priorities: cost versus comfort.

The findings can be applied in the design of new energy-efficient houses in the private sector and in the modernization of existing residential buildings.

Keywords: energy efficiency, low-rise residential construction, SIP panels, thermal modeling, thermal inertia, electric heating, underfloor heating, economic justification.

ЗМІСТ

ВСТУП	5
РОЗДІЛ 1 ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ МАЛОПОВЕРХОВИХ ЖИТЛОВИХ БУДІВЕЛЬ	8
1.1 Сучасний стан проблеми енергозбереження в житловому секторі	8
1.2 Основні напрямки підвищення енергоефективності	9
1.3 Світовий досвід підвищення енергоефективності малоповерхових житлових будівель	11
1.4 Вітчизняні підходи до енергоефективного малоповерхового будівництва, проблеми та перспективи	20
1.5 Ефективність впровадження рішень з підвищення енергоефективності у малоповерхову житловому будівництві	25
Висновки до розділу 1	27
РОЗДІЛ 2 КОМПЛЕКС ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ РІШЕНЬ ДЛЯ МАЛОПОВЕРХОВИХ ЖИТЛОВИХ БУДИНКІВ	29
2.1 Особливості архітектурно-планувальних рішень для енергоефективного будинку	29
2.2 Каркасні будинки на основі SIP-панелей як енергоефективне конструктивне рішення	33
2.3 Теплоізоляція огорожувальних конструкцій у контексті енергоефективного домобудівництва	35
2.4 Використання рекуперації тепла у вентиляційних системах приватного будинку	38
2.5 Роль системи «розумний будинок» в оптимізації енергоспоживання	40
2.6 Опалення та гаряче водопостачання в енергоефективному малоповерховому житловому будинку	41
2.7 Альтернативна електроенергія як джерело забезпечення енергонезалежності житлового будинку	47
2.8 Системи водопостачання та каналізації в енергоефективному житлі	49

Висновки до розділу 2	51
РОЗДІЛ 3 МОДЕЛЮВАННЯ ТЕПЛОВТРАТ МАЛОПОВОВЕРХОВОГО ЖИТЛОВОГО БУДИНКУ	53
3.1 Розробка моделі для дослідження теплотехнічних параметрів будівлі	53
3.2 Вплив розміщення опалювального приладу під віконним прорізом на тепловтрати	56
3.2.1 Формування зон повітряного потоку біля вікна	56
3.2.2 Чисельне моделювання у середовищі Comsol Multiphysics	58
3.3 Розрахунок тепловтрат малоповерхового житлового будинку для кліматичних умов Київської області	67
3.4 Розрахунок часу охолодження будівлі без опалення для умов Києва	73
Висновки до розділу 3	74
РОЗДІЛ 4 ТЕХНІЧНА ЧАСТИНА	77
4.1 Рішення генерального плану	77
4.1.1 Загальна характеристика земельної ділянки	77
4.1.2 Планувальна організація території	77
4.1.3 Елементи благоустрою та покриття	78
4.2 Об'ємно-планувальні рішення модульного будинку	79
4.3 Архітектурні рішення будинку з газобетонних блоків	82
4.3.1 Загальна характеристика об'єкта	82
4.3.2 Об'ємно-планувальні рішення	83
4.3.3 Конструктивно-архітектурні рішення	83
4.3.4 Оздоблення фасадів	85
4.4 Технологічна карта на влаштування електричної теплої підлоги	86
4.4.1 Вихідні дані	86
4.4.2 Обсяги робіт	87
4.4.3 Технологічна послідовність виконання робіт	87
4.4.4 Організаційні заходи	89
4.4.5 Матеріально-технічне забезпечення	90

4.4.6 Калькуляція матеріалів і витрат	92
4.4.7 Контроль якості виконання робіт	94
4.4.8 Охорона праці та безпека під час виконання робіт	95
Висновок до розділу 4	97
РОЗДІЛ 5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА	98
5.1 Розрахунок витрат матеріалів для варіанту - Електрична тепла підлога	98
5.2 Розрахунок витрат матеріалів для варіанту - влаштування електричних конвекторів	101
Висновки до розділу 5	103
ВИСНОВКИ	104
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	107
ДОДАТКИ	114
Додаток А Протокол перевірки кваліфікаційної роботи	115
Додаток Б Відомість графічної частини МКР	116

ВСТУП

Сучасні тенденції розвитку будівельної галузі спрямовані на впровадження принципів сталого розвитку, зниження споживання енергоресурсів та підвищення енергоефективності споруд [1]. Одним із ключових напрямів у цьому процесі є забезпечення енергетичної автономності та мінімізація витрат на опалення, особливо в малоповерховому житловому секторі, який активно розвивається як у великих містах, так і в їхніх передмістях.

Актуальність дослідження. В умовах постійного зростання вартості енергоносіїв, нестабільного енергетичного ринку, а також посилення екологічних вимог, питання енергоефективності набувають пріоритетного значення. Особливої актуальності проблема набуває для України, де внаслідок повномасштабної війни суттєво постраждала енергетична інфраструктура. Постійні обстріли енергетичних об'єктів, дефіцит електроенергії в опалювальний період та необхідність забезпечення житлових будинків резервними джерелами тепла підштовхують до пошуку нових підходів у проектуванні автономного, енергоефективного житла.

Особливо це стосується малоповерхових будівель, що часто не під'єднані до централізованих систем теплопостачання, а їх опалення здійснюється за допомогою електричних систем або котлів. Таким чином, оптимізація теплових втрат, вибір ефективних архітектурно-планувальних та конструктивних рішень, впровадження сучасних інженерних систем є нагальною потребою для покращення енергетичної незалежності країни.

Метою роботи є розробка та обґрунтування раціональних архітектурно-конструктивних і інженерних рішень для підвищення енергоефективності малоповерхових житлових будівель в умовах відсутності централізованого теплопостачання та енергетичної нестабільності.

Завдання дослідження:

- проаналізувати сучасні тенденції в енергоефективному будівництві;

- вивчити світовий досвід впровадження енергоощадних технологій;
- дослідити вплив архітектурних, конструктивних та інженерних рішень на тепловтрати;
- порівняти ефективність різних систем опалення у малоповерхових будівлях;
- визначити економічну доцільність обраних рішень;
- розробити рекомендації щодо оптимального поєднання конструктивних і інженерних рішень.

Об'єкт дослідження – вплив архітектурно-конструктивних рішень, систем опалення та теплоізоляції на рівень теплових втрат, енергоефективність та енергетичну надійність будівель.

Предмет дослідження – архітектурно-конструктивні та інженерні системи малоповерхових житлових будівель.

Новизна та інноваційність. Новизна роботи полягає у комплексному аналізі взаємодії архітектурно-планувальних та інженерних рішень з точки зору їх впливу на теплову інерційність, коефіцієнт акумуляції тепла та здатність будівлі зберігати комфортний мікроклімат у разі аварійного відключення електропостачання. Вперше у межах даної роботи здійснено порівняльний аналіз ефективності конструкцій із SIP-панелей і газоблоку у поєднанні з різними типами систем опалення на основі теплотехнічного моделювання та економічної оцінки.

Інноваційним аспектом роботи є застосування критерію часу остигання будівлі як одного з ключових факторів вибору системи опалення в умовах перебоїв електропостачання, що є надзвичайно актуальним для сучасної України.

Практичне значення роботи полягає у можливості використання отриманих результатів для:

- проєктування нових енергоефективних житлових будівель у зонах з автономним енергозабезпеченням;

- оптимізації рішень у проєктах реконструкції або модернізації існуючих малоповерхових житлових об'єктів;
- формування нормативно-проектної бази щодо підвищення енергоефективності житла;
- орієнтації забудовників та власників будинків на раціональний вибір матеріалів і систем опалення для зниження енергоспоживання та витрат на експлуатацію.

Апробація результатів роботи. За результатами магістерської кваліфікаційної роботи опубліковано 1 тезу конференції [1] та підготовлено виступ на LIV Всеукраїнській науково-технічній конференції факультету будівництва, цивільної та екологічної інженерії, яка відбулася у ВНТУ 24-27 березня 2025 року.

Публікації:

За результатами магістерської кваліфікаційної роботи опубліковано 1 тезу конференцій:

1. Адамова О. І., Джеджула В.В. Ефективність впровадження рішень з підвищення енергоефективності у малоповерхову житловому будівництві. Матеріали LIV Всеукраїнської науково-технічної конференції факультету будівництва, цивільної та екологічної інженерії (2025), Вінниця, Вінницький національний технічний університет, 24.03.2025 – 27.03.2025 р. URL: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fbtegp/all-fbtegp-2025/paper/view/24494/20285>

РОЗДІЛ 1

ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ МАЛОПОВЕРХОВИХ ЖИТЛОВИХ БУДІВЕЛЬ

1.1 Сучасний стан проблеми енергозбереження в житловому секторі

Малоповерхові житлові будівлі становлять значну частку загального житлового фонду України. Їхня архітектурна простота, доступність у будівництві та експлуатації роблять цей тип забудови популярним у приватному секторі та на територіях навколо великих міст. Однак значна частина таких будівель зводиться без врахування сучасних вимог до енергоефективності. Як результат – високі тепловтрати, надмірне енергоспоживання та низький рівень теплового комфорту у зимовий період.

Ситуація суттєво загострилася в умовах повномасштабної війни в Україні. У 2022–2023 роках внаслідок руйнування енергетичної інфраструктури країна зазнала численних перебоїв в електро- та тепlopостачанні. Особливо вразливими виявилися будівлі з електроопаленням, де через недостатню теплоізоляцію конструкцій внутрішня температура знижувалася до критичних показників вже через декілька годин після аварійного відключення живлення. Це обумовило потребу в активному пошуку і впровадженні нових раціональних рішень щодо теплозбереження.

Дослідження показують, що у типовому будинку без термомодернізації 30–35% тепла втрачається через зовнішні стіни, до 25% – через дах, 15% – через віконні конструкції та 10–15% – через вентиляційні отвори та нещільності у конструкціях (рис. 1.1) [1]. Такий рівень тепловтрат є неприпустимим в умовах енергетичної нестабільності та високих тарифів на енергоносії.

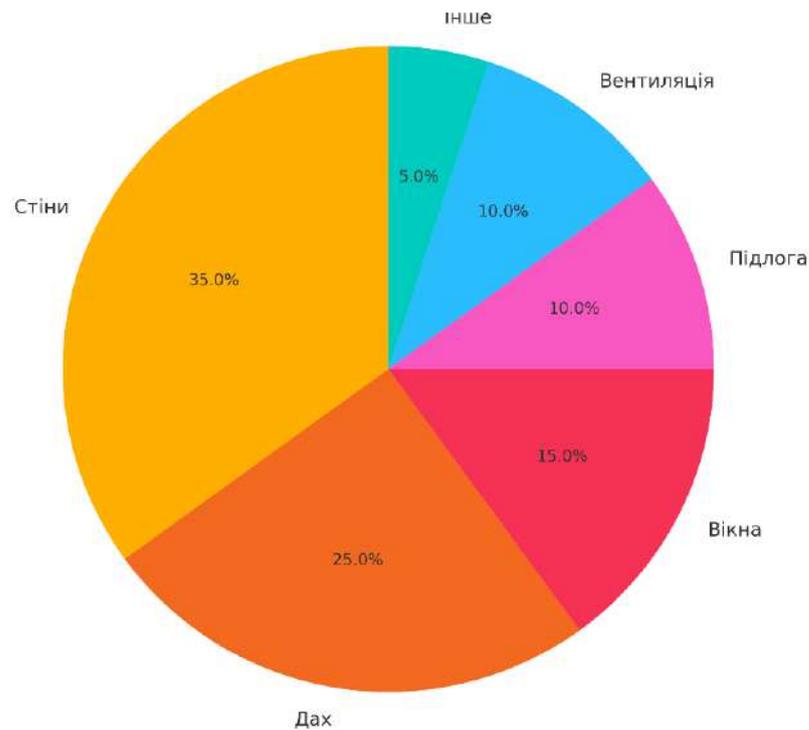


Рисунок 1.1 – Розподіл тепловтрат у типовому малоповерховому будинку

1.2 Основні напрямки підвищення енергоефективності

Зменшення енергоспоживання у малоповерхових житлових будинках можливе шляхом реалізації комплексу рішень, які можна згрупувати за такими напрямками [2-4]:

I. Оптимізація архітектурно-планувальних рішень:

- компактність об'єму (менше зовнішніх поверхонь – менше тепловтрат);
- орієнтація будівлі за сторонами світу (збільшення надходження сонячної енергії);

– мінімізація площі вікон на північному фасаді.

II. Вдосконалення огорожувальних конструкцій:

- утеплення стін, покрівлі та фундаменту;
- усунення містків холоду;
- герметизація стиків та отворів.

III. Використання енергоефективних інженерних систем:

- теплові насоси, рекуператори, сонячні колектори;
- системи "тепла підлога";
- програмовані терморегулятори.

IV. Використання сучасних теплоізоляційних матеріалів:

- матеріали з низьким коефіцієнтом теплопровідності;
- екологічно безпечні, довговічні, водостійкі рішення.

Ефективним інструментом підвищення енергоефективності визнано теплові насоси, які дозволяють досягти до 60% економії електроенергії в умовах нашого клімату. За досвідом скандинавських країн, де понад половину малоповерхових будинків оснащено такими системами, підтверджено їхню надійність та ефективність у довгостроковій перспективі.

За оцінками експертів, впровадження повного комплексу заходів термомодернізації дозволяє знизити витрати на опалення на 50–70% при збереженні оптимального мікроклімату у приміщеннях (рис. 1.2) [1, 5].

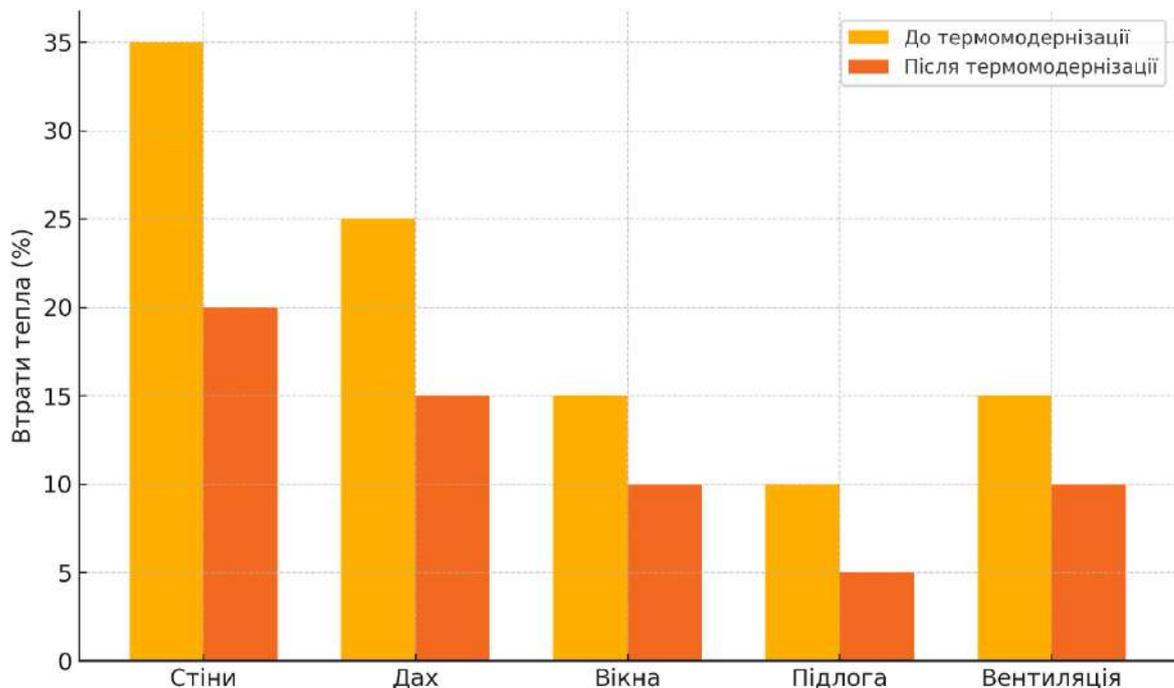


Рисунок 1.2 – Порівняння тепловтрат до та після термомодернізації

1.3 Світовий досвід підвищення енергоефективності малоповерхових житлових будівель

Проблема енергоефективності житлових будівель є актуальною для більшості країн світу, особливо з огляду на кліматичні зміни, зростання цін на енергоносії та необхідність дотримання цілей сталого розвитку. У багатьох розвинених країнах вже протягом кількох десятиліть формуються системи нормативного регулювання, економічного стимулювання та технічної підтримки проєктів з підвищення енергоефективності малоповерхового житла.

Німеччина є беззаперечним лідером у сфері впровадження енергоефективного будівництва завдяки концепції «пасивного будинку» (Passivhaus). Такий будинок характеризується мінімальними тепловтратами (до 15 кВт·год/м²/рік) та майже повною відмовою від традиційних систем опалення (рис. 1.3). Основні принципи [6, 7]:

- використання товстих теплоізоляційних шарів (до 300 мм);
- трьохшарові енергоефективні склопакети;
- повітронепроникна оболонка з рекуперативною вентиляцією;
- виключення містків холоду.



Рисунок 1.3 – Приклад «пасивного будинку» у Німеччині

Уряд Німеччини активно фінансує енергоефективне будівництво через пільгові кредити та компенсації витрат.

У Швеції, яка характеризується суворими зимами, малоповерхове житло традиційно проєктується з високим рівнем термоізоляції (опір теплопередачі стін $R > 7 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$), активним застосуванням сонячної енергії та теплових насосів типу «повітря–вода». Також широко використовується дерев'яний каркас з енергоефективним утепленням та централізованими системами рекуперації (рис. 1.4) [6-8].



Рисунок 1.4 – Пасивні еко-будинки в Швеції

У Фінляндії у 1979 році в м. Отаніємі ще у 1979 році зведено EKONO-house – експериментальну енергоефективну будівлю. Очолили проєкт архітектор Хеймо Каутонен, науковець Юха Габріельсон. Проєкт реалізувала компанія EKONO. Будівля складалася з двох секцій: одна побудована за стандартними нормами, інша – з використанням інноваційних енергозберігаючих рішень (рис. 1.5) [7, 9]. Це дозволило порівняти ефективність застосованих технологій.



Рисунок 1.5 – Загальний вигляд будівлі "EKONO-house" (праворуч – секція будівлі з енергозберігаючими рішеннями)

Ключові енергозберігаючі рішення:

- оптимізація внутрішнього об'єму для зменшення площі огорожувальних конструкцій і тепловтрат;
- високоефективна теплоізоляція та герметичність будівлі для мінімізації тепловтрат;
- висока теплоємність огорожувальних конструкцій для накопичення тепла та підвищення теплостійкості;
- використання вентилярованих вікон, що зменшують теплонадходження влітку та тепловтрати взимку (рис. 1.6);
- система акумулювання тепла сонячної радіації в основі будівлі для зниження навантаження на систему опалення;
- автоматичне управління системами кліматизації та освітлення для оптимізації споживання енергії (рис. 1.7).

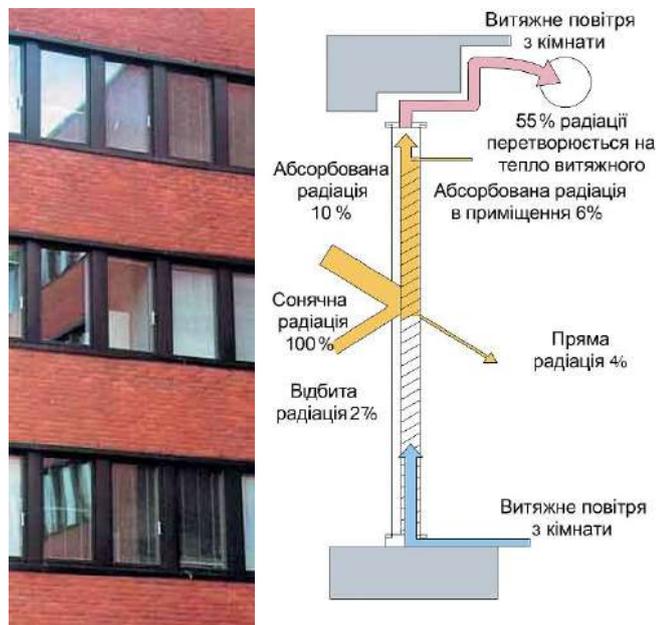


Рисунок 1.6 – Система вентилярованих вікон

Застосовані заходи дозволили знизити щорічне тепlopостачання до 70 кВт·год/м², що на 50% менше порівняно з типовими адміністративними будівлями того часу. Проєкт EKONO-house став важливим кроком у розвитку

енергоефективного будівництва та демонструє ефективність комплексного підходу до збереження енергії.

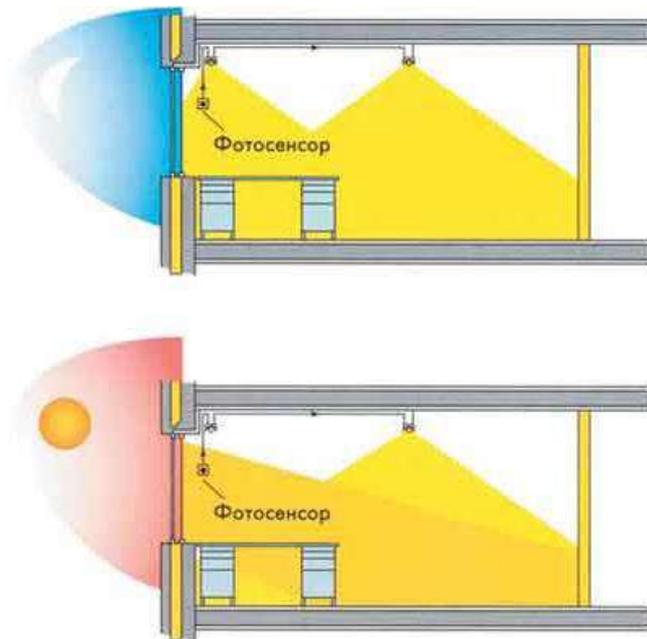


Рисунок 1.7 – Організація освітлення будівлі “EKONO-house” у вечірні та денні години

Еко-Viikki – це експериментальний житловий район у місті Гельсінкі (Фінляндія), створений у 1990-х роках як зразок екологічного та енергоефективного міського планування (рис. 1.8). Основна мета проєкту полягала у впровадженні комплексних заходів сталого розвитку, зокрема енергозбереження, ощадного використання ресурсів та залучення мешканців до формування комфортного середовища [7, 10].

Одним із ключових рішень стало запровадження обов’язкових екологічних критеріїв для забудовників, що охоплювали питання зниження забруднення, економії енергетичних і водних ресурсів, охорони здоров’я, біорізноманіття, а також використання територій для міського фермерства. Всі проєкти підлягали екологічному аудиту за принципом системи оцінювання PIMWAG, а розподіл ділянок відбувався з урахуванням досягнутого екологічного балу, що стимулювало конкуренцію на користь сталих рішень.

Понад половину житлових будинків було оснащено сонячними колекторами, що забезпечували до 50% потреб у гарячій воді (рис. 1.8) [10]. Це дозволило істотно зменшити навантаження на центральні системи тепlopостачання. Для підвищення енергоефективності були застосовані низькотемпературні системи опалення, теплообмінники з рекуперацією та автоматичне управління опаленням і вентиляцією. Будівлі зводились з урахуванням високих показників теплоізоляції та щільності конструкцій.



Рисунок 1.8 – Експериментальний енергоефективний житловий район Vihkka, Гельсінкі, Фінляндія

Окрему увагу приділили системам водозбереження: реалізовано збір дощової води для побутових потреб, влаштовано зелені зони утилізації стоків,

а також запроваджено водоощадну сантехніку. Все це дозволило знизити споживання води та навантаження на каналізаційну мережу.

У межах планування району закладено принципи пріоритету пішохідного і велосипедного руху, обмеження приватного автотранспорту та створення зручного доступу до громадського транспорту. Така організація пересування сприяла зменшенню викидів CO₂ та шумового навантаження.

Важливою складовою концепції стало створення умов для соціальної інтеграції. Проєкт передбачав активну участь мешканців у формуванні та обслуговуванні спільних просторів – дворів, садів, ігрових майданчиків, що сприяло зміцненню соціальних зв'язків у громаді та підвищенню рівня задоволеності від проживання.

Проєкт Еко-Viikki довів, що інтеграція екологічних, технічних та соціальних підходів у планування і реалізацію житлових територій може забезпечити не лише енергоощадність, а й високий рівень якості життя. Він став прикладом для інших країн і отримав широке міжнародне визнання як модель для розвитку сталих міських районів.

У США та Канаді впроваджено програми ENERGY STAR та LEED for Homes, які оцінюють житлові будівлі за енергоефективністю, водоспоживанням, якістю повітря та екологічністю матеріалів [7, 11]. У північних регіонах широко використовуються SIP-панелі (структурно-ізоляційні панелі), що поєднують високу термоізоляцію з жорсткістю конструкції (рис. 1.9).



Рисунок 1.9 – Будинок із SIP-панелей, США

Окремо варто відзначити розвиток так званих «нульових будинків» (Net-Zero Energy Homes), які за рік виробляють стільки ж енергії, скільки споживають, за рахунок поєднання утеплення, пасивного дизайну та фотоелектричних систем [12].

Після вступу до ЄС такі країни, як Польща, Чехія, країни Балтії, масово перейшли на нові нормативи енергоефективності. Зокрема, Польща активно впроваджує утеплення фасадів багатошаровими системами, а також модернізує житловий фонд за рахунок державних субсидій (рис. 1.10) [7, 13-15]. У Литві за рахунок міжнародних програм фінансуються комплексні реконструкції малоповерхових будівель з утепленням, модернізацією систем опалення та вентиляції.



Рисунок 1.10 – Модернізація житлових будівель в Польщі

У Японії політика енергозбереження активно розвивається з 1973 року. Основні зусилля спрямовані на зменшення енергоємності будівель шляхом удосконалення їх конструкцій, що дозволяє скоротити витрати на опалення та кондиціонування. Значну увагу приділяють формуванню свідомого ставлення населення до побутового енергоспоживання. Зокрема, заохочуються прості повсякденні практики: обмеження використання пультів дистанційного керування, відмова від нічного підігріву води з метою економії енергії в ранковий час, періодичне вимикання кондиціонерів у спекотні дні.

Експеримент, проведений серед 200 сімей, показав зниження енергоспоживання на 14,2% у порівнянні зі звичайним режимом.

Особливе місце в енергетичній стратегії Японії займає розвиток геліоенергетики. Використання сонячних панелей дозволяє значно зменшити витрати на електроенергію. Уряд стимулює встановлення сонячних батарей, компенсуючи до третини їх вартості.

В умовах високої сейсмічної активності в Японії основну увагу приділяють легким збірним конструкціям з високоефективними теплоізоляційними шарами. Широко застосовуються інтелектуальні системи управління мікрокліматом та опаленням, що знижують енергоспоживання на 30–40% порівняно з традиційними системами.

Фудзісава – це інноваційне «розумне місто» в Японії, офіційно відкрите у 2014 році в префектурі Канагава, поблизу Токіо (рис. 1.11) [16]. Проект реалізовано під керівництвом корпорації Panasonic у співпраці з іншими компаніями в рамках консорціуму Fujisawa SST Council. Метою було створення екологічно чистого міського середовища, що використовує альтернативні джерела енергії та сучасні технології для забезпечення сталого розвитку.



Рисунок 1.11 – “Розумне місто” Фудзісава, Японія

Більше 30% електроенергії місто отримує з поновлюваних джерел, переважно завдяки сонячним батареям, що дозволяє скоротити вуглецевий слід на 70%.

Комплекс займає площу 19 гектарів і включає близько 1000 приватних будинків, комерційні та інфраструктурні об'єкти, а також культурно-гуманітарні заклади, такі як кафе, кулінарні студії, приміщення для майстер-класів та еко-освітні семінари. Для мешканців доступна мережа екологічно чистих електрокарів, які можна орендувати, що сприяє зменшенню використання приватних автомобілів. У разі землетрусу або припинення електропостачання місто здатне забезпечити мешканців електроенергією, зв'язком і гарячою водою протягом трьох діб.

Отже, усі країни впроваджують комплексний підхід, поєднуючи утеплення, енергоефективне проектування і «розумні» системи. Найвищий рівень стандартизації має Німеччина, що є орієнтиром для країн Східної Європи. Японія вирізняється високою технологічністю та пристосованістю до природних загроз. США та Канада активно розвивають Net-Zero концепції з енергонезалежними будинками.

Порівняння світового досвіду підвищення енергоефективності малоповерхових житлових будівель у різних країнах наведено в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Порівняльна характеристика практик енергоефективного малоповерхового житла у світі

Країна	Технології утеплення	Інженерні системи	Стандарти	Державна підтримка
Німеччина	Пасивні будинки, мінеральна вата	Рекуперація, сонячні колектори	Passivhaus (≤ 15 кВт·год/м ² /рік)	KfW-кредити, субсидії
Швеція	Мінеральна вата, багатошарові конструкції	Теплові насоси, рекуперація	$R \geq 7$ м ² ·К/Вт	Податкові пільги, Boverket
США	SIP-панелі, пінополіуретан	Інтелектуальні термостати, фотоелектрика	ENERGY STAR, LEED	Федеральні програми HUD/DOE
Польща	ETICS-системи фасадів	Газові котли, електроопалення	WT 2021 (≤ 70 кВт·год/м ² /рік)	ЄС-гранти, муніципальні дотації
Японія	Легкі збірні каркасні конструкції	Автоматизоване управління кліматом	Top Runner Program	Субсидії, компенсація інвестицій

Таким чином, світовий досвід показує, що підвищення енергоефективності малоповерхового житла можливе лише за умов:

- комплексного підходу до проектування (від планувальних рішень до типу опалення);
- використання високоякісних теплоізоляційних матеріалів;
- впровадження відновлюваних джерел енергії;
- наявності державних і муніципальних програм підтримки термомодернізації.

Україні доцільно адаптувати перевірені моделі (наприклад, німецьку концепцію Passivhaus або канадську технологію SIP) з урахуванням кліматичних умов, наявних ресурсів та економічних реалій.

1.4 Вітчизняні підходи до енергоефективного малоповерхового будівництва, проблеми та перспективи

Сучасні українські дослідження у сфері енергоефективності малоповерхових житлових будівель підтверджують доцільність впровадження комплексних рішень, які поєднують конструктивну оптимізацію, застосування інноваційних матеріалів та автономних інженерних систем [1, 17, 18]. Зокрема, увага приділяється не лише зменшенню тепловтрат, а й досягненню більшого комфорту проживання за умов економного енергоспоживання.

Одним із найважливіших напрямів є впровадження матеріалів з наднизьким коефіцієнтом теплопровідності, таких як аерогелі, вакуумні теплоізоляційні панелі та піноскло (табл. 1.2). Завдяки цим рішенням тепловтрати через огорожувальні конструкції знижуються на 30–50% у порівнянні з традиційними утеплювачами. Крім того, значний ефект дає застосування систем рекуперації повітря, які зменшують енергетичні витрати на вентиляцію до 40% [3].

Однією з найефективніших та найпоширеніших технологій підвищення енергоефективності малоповерхових будівель є система зовнішнього утеплення фасадів з використанням скріпленої теплоізоляції (ETICS – External Thermal Insulation Composite Systems). Ця технологія передбачає послідовне нанесення на зовнішні стіни теплоізоляційного шару, армуючої сітки, спеціального захисного розчину та фінішного декоративного покриття. Завдяки цьому формується суцільний теплоізоляційний контур будівлі, який запобігає виникненню «містків холоду» та істотно покращує термічну стабільність огорожувальних конструкцій.

Система ETICS виконує одразу кілька важливих функцій: забезпечує захист будівлі від впливу зовнішніх атмосферних чинників (вологи, вітру, ультрафіолету), підвищує естетичну привабливість фасадів та водночас значно знижує тепловтрати. У структурному складі такої системи зазвичай застосовуються [19]:

- утеплювачі – пінополістирол або мінераловатні плити, що характеризуються низькою теплопровідністю;
- клейова суміш і армуючий розчин на основі цементно-полімерних компонентів;
- армувальна склосітка, що підвищує механічну міцність покриття;
- фінішне оздоблення у вигляді декоративної штукатурки або фасадної фарби з атмосферостійкими властивостями.

До основних переваг систем скріпленої теплоізоляції належать:

- зменшення тепловтрат через огорожувальні конструкції до 50%, що забезпечує суттєву економію енергоресурсів;
- підвищення температури внутрішньої поверхні стін, що знижує ризик утворення конденсату та грибку;
- додатковий захист несучих конструкцій від деструктивного впливу низьких температур;

- технологічна простота та швидкість монтажу, що дозволяє виконувати утеплення без необхідності евакуації мешканців;
- відносно невисока вартість у порівнянні з іншими системами термомодернізації;
- довготривалий термін експлуатації – понад 30 років – за умов дотримання технології нанесення.

Таким чином, системи ETICS поєднують у собі енергоефективність, функціональність і привабливий зовнішній вигляд, що робить їх одним із найбільш доцільних рішень для модернізації фасадів у житловому будівництві України.

Таблиця 1.2 – Порівняльні характеристики матеріалів для теплоізоляції

№	Матеріал	Теплопровідність, Вт/(м·К)	Зменшення тепловтрат, %
1	Аерогель	0,015	50%
2	Вакуумні панелі	0,020	45%
3	Піноскло	0,035	30%
4	Базальтова вата	0,040	25%

Українська нормативна база також зазнає суттєвих змін. Закон України «Про енергетичну ефективність будівель» – впроваджує сертифікацію будівель за класами енергоефективності [20]. У контексті європейської інтеграції, в Україні поступово впроваджуються стандарти, наближені до положень Директиви ЄС 2010/31/EU, що регламентує створення майже нульових будівель (NZEB). Так, ДБН В.2.6-31:2021 [21] встановлює жорсткіші вимоги до теплоізоляції фасадів – мінімальна товщина утеплювача збільшена до 150 мм. Крім того, зростає увага до альтернативних джерел енергії, передусім до сонячних панелей, які дають змогу знизити залежність від традиційних енергоносіїв.

Попри наявні успіхи, в Україні існує низка проблем, що гальмують широке впровадження енергоефективних рішень. Серед них – висока

початкова вартість інноваційних технологій, недостатня інформованість населення, слабка державна підтримка, орієнтація на застарілі проектні підходи та дефіцит кваліфікованих кадрів у сфері енергоощадного проєктування та будівництва.

Загалом, вітчизняний досвід демонструє позитивні тенденції розвитку енергоефективного будівництва, однак потребує системного підходу, що охоплюватиме як технічну, так і освітньо-інституційну складову. Розробка доступних, ефективних і адаптивних до кліматичних умов України рішень має стати пріоритетом на найближчі роки.

Ринок енергоефективного будівництва в Україні має великий потенціал, однак на практиці стикається з низкою системних проблем, що уповільнюють темпи його розвитку. Ці проблеми мають як нормативно-правову, так і техніко-економічну природу. Розглянемо ключові перешкоди масовому впровадженню енергоощадних технологій у малоповерховому житловому будівництві.

1. Недостатня державна підтримка. Попри наявність ряду нормативних документів, таких як Закон України «Про енергетичну ефективність будівель» та Національний план дій з енергоефективності, державна політика в галузі енергозбереження часто є декларативною. Програми компенсації витрат на утеплення, пільгове кредитування або субсидування впроваджуються вибірково, мають обмежене фінансування або складну процедуру оформлення.

2. Висока вартість впровадження інноваційних технологій. Сучасні теплоізоляційні матеріали, енергоефективні вікна, вентиляційні системи з рекуперацією повітря або альтернативні джерела енергії (сонячні панелі, теплові насоси) мають високу вартість для кінцевого споживача. Це знижує доступність таких рішень, особливо для приватних забудовників у сільських або малозабезпечених регіонах.

3. Недостатній рівень поінформованості населення. Багато власників житла не усвідомлюють масштабів тепловтрат своїх будівель або не мають

уявлення про можливі способи їх зменшення. Відсутність доступних консультаційних сервісів, демонстраційних проєктів та освітніх кампаній уповільнює прийняття рішень про термомодернізацію будинків.

4. Відсутність якісної підготовки фахівців. Будівельні компанії не завжди мають належну кваліфікацію у проєктуванні та монтажі енергоефективних систем. Це стосується як інженерів, так і виконавців робіт. Помилки в проєктуванні або недотримання технологій утеплення можуть призвести до конденсації вологи, грибка, втрати теплоізоляційних властивостей або пожежної небезпеки.

5. Ризики фальсифікації матеріалів. На ринку присутня значна кількість теплоізоляційних матеріалів, що не відповідають заявленим технічним характеристикам або виготовлені з порушенням норм. Це знижує довіру споживачів до інноваційних рішень і може призвести до неефективного використання коштів.

6. Застаріла забудова та обмеження реконструкції. Багато існуючих малоповерхових будівель зведені ще у радянський період і мають низький енергетичний потенціал. Однак реконструкція таких будівель ускладнюється юридичними, фінансовими або технічними чинниками: правом власності, відсутністю проєктної документації, обмеженим доступом до стін тощо.

7. Відсутність економічної мотивації. Через нерегульований ринок енергоресурсів та повільний перехід на облік за фактичним споживанням, багато власників не зацікавлені в скороченні витрат. Відсутність стимулів до зменшення споживання теплової енергії гальмує інвестиції в утеплення будівель.

Отже, для стимулювання розвитку енергоефективного будівництва в Україні необхідне комплексне вирішення вищезазначених проблем. Важливо поєднувати технічні інновації з державним регулюванням, економічним стимулюванням, освітніми ініціативами та розвитком кваліфікованого кадрового потенціалу.

1.5 Ефективність впровадження рішень з підвищення енергоефективності у малоповерхову житловому будівництві

Країни з холодним кліматом, такі як Норвегія, Канада та Швеція, характеризуються найвищими початковими показниками тепловтрат, які досягають 90–100 Вт/м². Це обумовлено значною різницею між температурою зовнішнього повітря та внутрішнім мікрокліматом у холодний період року. Водночас саме в цих країнах впроваджуються найсучасніші технології теплоізоляції, що дозволяє знизити рівень втрат тепла в середньому на 40%. Наприклад, у Норвегії завдяки впровадженню системного утеплення тепловтрати скорочуються зі 100 до 60 Вт/м², а у Швеції – з 90 до 52 Вт/м² [22, 23]. Такий результат досягається завдяки поєднанню традицій високої якості будівництва з інноваційним підходом до використання будівельних матеріалів.

У країнах з помірним кліматом – Німеччині, Франції та Польщі – вихідні показники тепловтрат є дещо нижчими й коливаються в межах 78–85 Вт/м². Це зумовлено як сприятливішими кліматичними умовами, так і багаторічною державною політикою у сфері енергозбереження, яка передбачає дотримання сучасних стандартів будівництва. Після реалізації енергоефективних заходів рівень втрат тепла в цих країнах знижується до 48–52 Вт/м², що підтверджує високу результативність утеплення фасадів, дахів та модернізації систем вентиляції з рекуперацією [22, 23].

Україна, попри наявність помірного клімату, демонструє високі початкові показники тепловтрат – приблизно 75 Вт/м² [1]. Це пояснюється, передусім, застарілістю житлового фонду, низькими стандартами будівництва попередніх десятиліть та слабкою впровадженістю системного утеплення. Водночас, після проведення енергоефективних заходів, рівень втрат тепла скорочується до 45 Вт/м² [2, 5]. Це свідчить про значний потенціал термомодернізації, зокрема через утеплення фасадів, дахів, заміну віконних блоків та оптимізацію роботи систем опалення.

Графік, представлений на рисунку 1.12, відображає порівняльну характеристику рівня тепловтрат у малоповерховому житловому фонді семи країн – Норвегії, Канади, Німеччини, України, Франції, Польщі та Швеції – до і після впровадження енергоощадних технологій. Наведені дані демонструють ефективність сучасних рішень з термомодернізації, зокрема комплексного утеплення огорожувальних конструкцій, встановлення енергоефективних вікон, застосування новітніх матеріалів та модернізації інженерних систем.

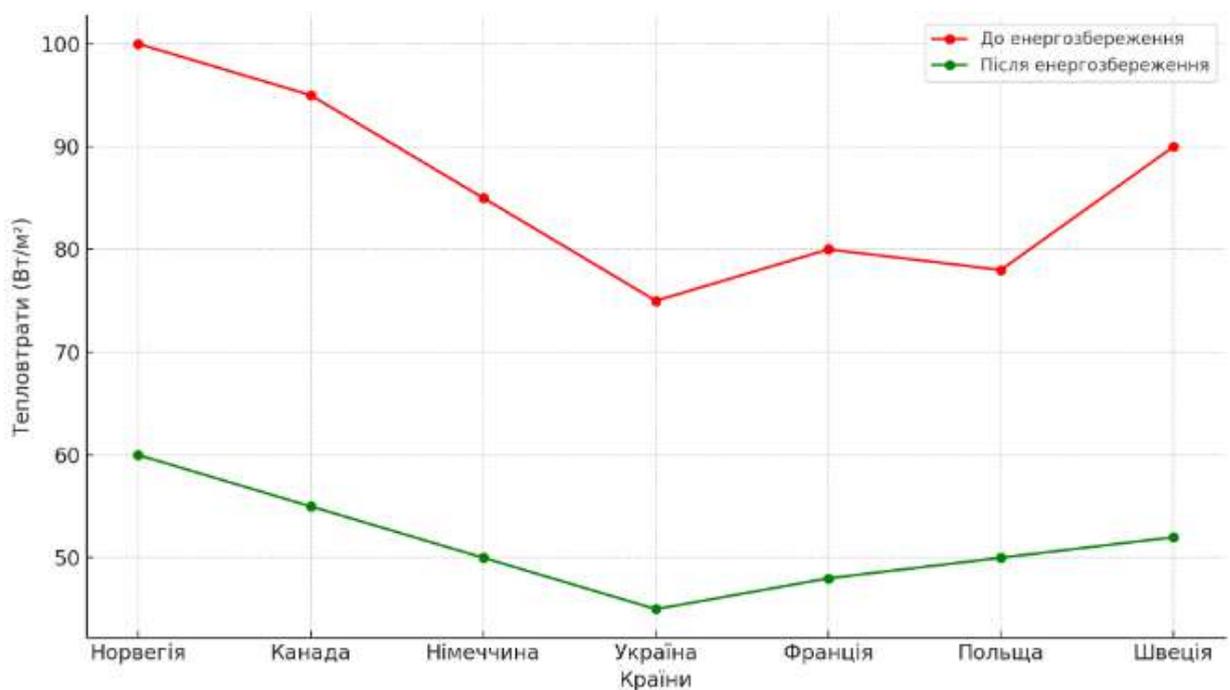


Рисунок 1.12 – Графік зміни тепловтрат в малоповерховому будівництві до і після впровадження заходів з енергозбереження

Аналіз даних свідчить, що у всіх розглянутих країнах заходи з енергозбереження забезпечують зниження тепловтрат у середньому на 35–45%. Це не лише зменшує експлуатаційні витрати мешканців, але й сприяє зменшенню навантаження на енергетичну інфраструктуру та скороченню викидів парникових газів, що є актуальним у контексті глобальних кліматичних змін та сучасних екологічних викликів.

Висновки до розділу 1

Проведений аналіз світового та вітчизняного досвіду підвищення енергоефективності у сфері малоповерхового житлового будівництва дозволяє зробити низку важливих висновків щодо технічних, економічних та організаційних аспектів впровадження енергоощадних рішень.

Порівняльна оцінка показала, що у країнах з холодним кліматом (Норвегія, Канада, Швеція) рівень тепловтрат у будівлях до модернізації сягає 90–100 Вт/м², але завдяки впровадженню високоякісного утеплення, ефективних вікон і вентиляції з рекуперацією, ці показники знижуються до 50–60 Вт/м², тобто на 40–45%. У країнах з помірним кліматом (Німеччина, Франція, Польща) втрати зменшуються з 80–85 Вт/м² до 48–52 Вт/м². В Україні, де початкові втрати складають в середньому 75 Вт/м², їх можна знизити до 45 Вт/м² при комплексній термомодернізації.

На технічному рівні найбільш ефективним виявилось застосування систем скріпленої теплоізоляції фасадів (ETICS), які забезпечують суцільний теплоізоляційний контур та знижують втрати тепла через зовнішні стіни до 50%. Стандартна конструкція такої системи передбачає:

- теплоізоляційний шар товщиною 100–150 мм (пінополістирол або мінеральна вата з коефіцієнтом теплопровідності $\lambda = 0,032–0,041$ Вт/(м·К));
- цементно-полімерні суміші для клею та армування;
- склосітку щільністю 145–160 г/м²;
- декоративне оздоблення (штукатурка або фарба).

Оцінка теплозахисних характеристик огорожувальних конструкцій показала, що після модернізації термічний опір зовнішніх стін (при товщині утеплювача 120 мм) може досягати $R = 3,5–4,2$ м²·К/Вт, що відповідає вимогам ДБН В.2.6-31:2021. У комплексі з теплоізоляцією перекриттів, вікон (з $U \leq 1,1$ Вт/м²·К) та сучасною вентиляцією, загальна економія витрат на опалення становить до 30–35% на рік.

Крім технічних характеристик, важливим є економічний аспект. Утеплення фасаду площею 150 м² системою ETICS обійдеться у \approx 1500–1800 грн/м², що при річній економії енергії на рівні 2000–3000 кВт·год дає строк окупності 4–6 років, залежно від тарифів та матеріалів.

Таким чином, результати дослідження свідчать про доцільність впровадження енергоефективних заходів у малоповерхових житлових будівлях, зокрема утеплення фасадів, модернізації вікон та систем опалення. Світовий досвід доводить, що системний підхід до енергозбереження дозволяє досягати значних результатів як з точки зору комфорту та довговічності, так і в контексті скорочення витрат на енергоресурси та зменшення викидів CO₂.

РОЗДІЛ 2

КОМПЛЕКС ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ РІШЕНЬ ДЛЯ МАЛОПОВЕРХОВИХ ЖИТЛОВИХ БУДИНКІВ

2.1 Особливості архітектурно-планувальних рішень для енергоефективного будинку

Раціональне проектування будівлі з урахуванням принципів енергоефективності передбачає не лише вибір сучасних інженерних систем, але насамперед – створення продуманих архітектурно-планувальних рішень. Архітектурна форма, орієнтація відносно сторін світу, конфігурація приміщень, площа зовнішніх огорожувальних конструкцій, інсоляція – всі ці фактори безпосередньо впливають на величину тепловтрат, споживання енергії та рівень комфорту.

Орієнтація будівлі на ділянці є одним із базових факторів енергозбереження. У північній півкулі житлові приміщення доцільно орієнтувати на південь, південний схід або південний захід. Це дозволяє максимально використовувати сонячне тепло в осінньо-зимовий період.

Широтне або меридіональне розміщення впливає на коефіцієнт інсоляції: у середніх широтах розміщення будинку за довгою стороною у напрямку схід–захід дозволяє зменшити тепловтрати і знизити навантаження на систему опалення. Для спекотного клімату, навпаки, доречніше уникати надмірного сонячного перегріву і мінімізувати застління на південному фасаді.

Компактність та геометрія будівлі. Важливим критерієм є співвідношення площі зовнішніх огорожень до об'єму будівлі. Чим простіша і компактніша форма – тим менше поверхня тепловіддачі (рис. 2.1) [24].

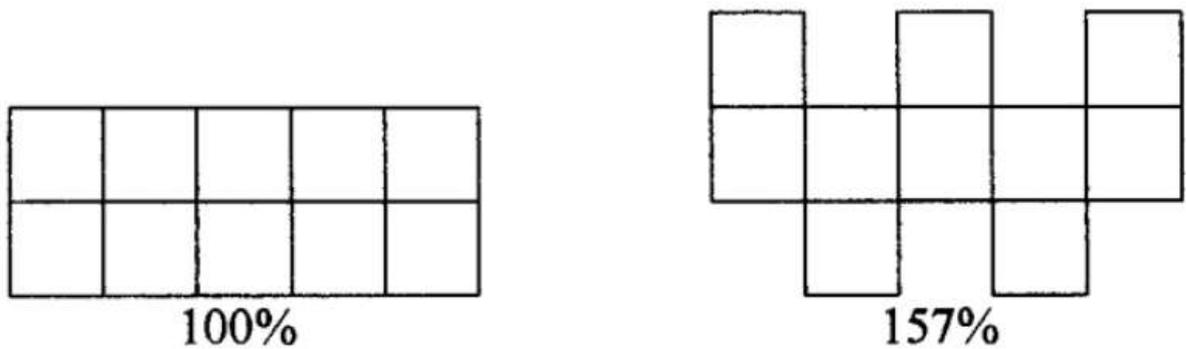


Рисунок 2.1 – Зростання тепловтрат в залежності від складності форми

Найменшими тепловтратами характеризуються прямокутні або кубоподібні форми (рис. 2.1-2.2) [25]:

- високий рівень теплотехнічної ефективності забезпечують будинки у формі паралелепіпеда або куба, без виступів, еркерів, лоджій;
- складні архітектурні форми (мансарди, балкони, відкриті тераси) підвищують тепловтрати через збільшення зовнішньої площі.

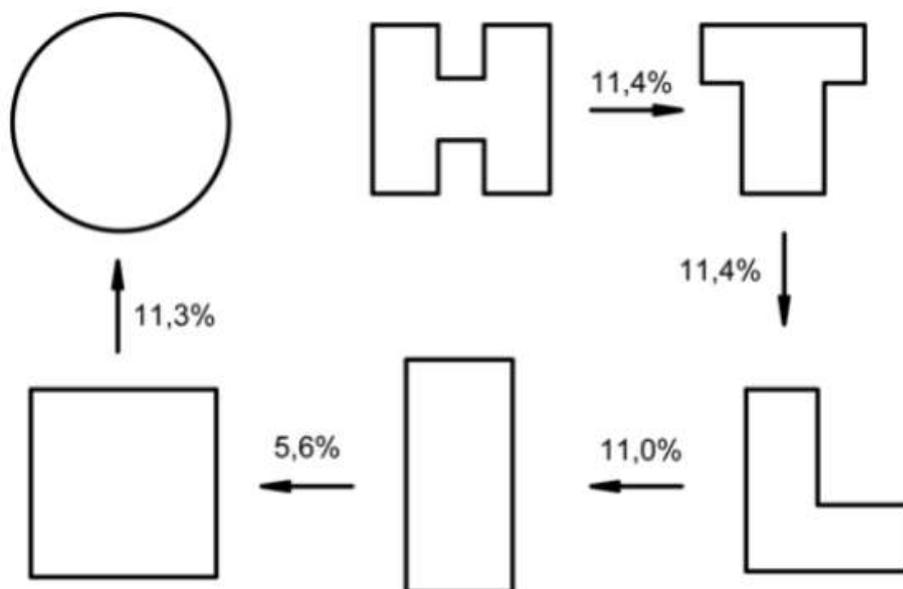


Рисунок 2.2 – Вплив конфігурації плану будівлі на його енергоспоживання (стрілкою показано напрямок зростання енергоефективності)

Зонування простору дозволяє створити теплові буфери [26, 27]:

- гараж, підвал, веранда або комора, розміщені на північному фасаді, зменшують контакт житлових кімнат із зовнішнім середовищем;

- за рахунок непрямих теплових втрат через буферну зону внутрішні приміщення зберігають стабільніший мікроклімат;
- буфери також відіграють роль «термосмуг» у разі різкої зміни температур зовнішнього повітря (рис. 2.3).

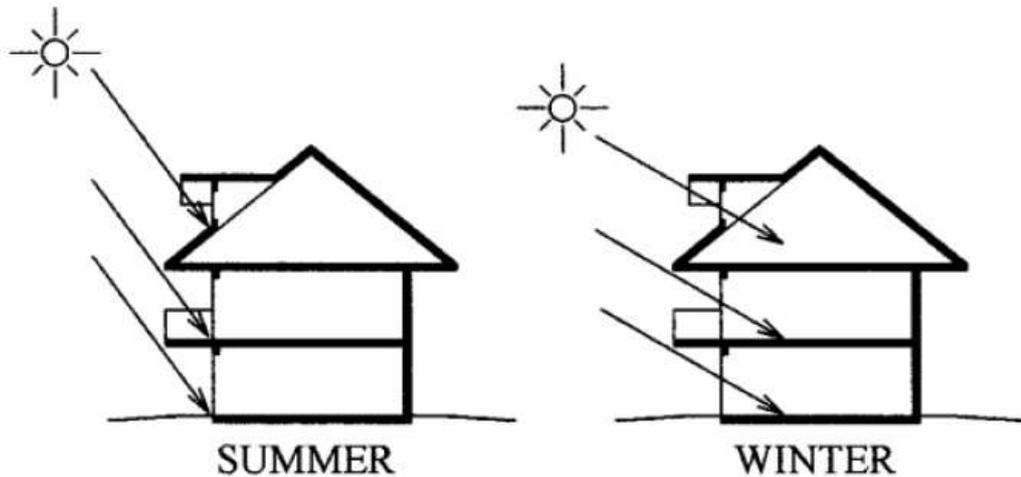


Рисунок 2.3 – Пасивний захист будівлі від різкої зміни температур зовнішнього повітря

Раціональне денне освітлення дозволяє зменшити потребу в штучному світлі та сприяє пасивному сонячному нагріву приміщень:

- житлові кімнати (вітальня, дитяча, кухня) доцільно розміщувати з південного боку;
- службові приміщення (санвузол, кладова, котельня) – з північного;
- слід оптимізувати площу вікон, щоб досягти балансу між тепловтратами та природним освітленням. Встановлення світлових труб – ефективне рішення для внутрішніх зон без прямого доступу до вікон (рис. 2.4) [28]. Вони передають сонячне світло через світловідбивний канал і розсіюють його в приміщенні, зменшуючи потребу у штучному освітленні.



Рисунок 2.4 – Приклад використання світлових труб

Тип даху також впливає на теплові втрати. Перевагу віддають двосхилим або шатровим дахам простої форми, які мають менше тепловтрат і краще утримують сніг взимку, створюючи природний утеплювач.

Уникання складних ламаних форм даху дозволяє зменшити кількість теплових містків [24].

Ефективне планування передбачає зменшення площі нежитлових зон, які опалюються, але не використовуються постійно:

- оптимізація площі коридорів;
- створення відкритого простору з мінімумом перегородок для кращого розподілу тепла;
- використання теплих підлог або пасивних систем накопичення тепла (кам'яні підлоги, теплові акумулятори в масивних стінах).

Таким чином, енергоефективність будинку починається ще на етапі проектування. Грамотна архітектурно-планувальна концепція дозволяє зменшити експлуатаційні витрати до 30–50% без додаткових витрат на інженерні системи. Ретельне врахування кліматичних особливостей, орієнтації, форми і функціонального зонування будівлі є основою досягнення сталого енергетичного балансу.

2.2 Каркасні будинки на основі SIP-панелей як енергоефективне конструктивне рішення

Серед сучасних підходів до проєктування малоповерхових житлових будівель особливу увагу привертає технологія будівництва з SIP-панелей (структурно-ізоляційних панелей). Її головною перевагою є висока теплоефективність при мінімальній товщині конструкцій, що дозволяє суттєво зменшити тепловтрати та витрати на опалення (рис. 2.5) [29].

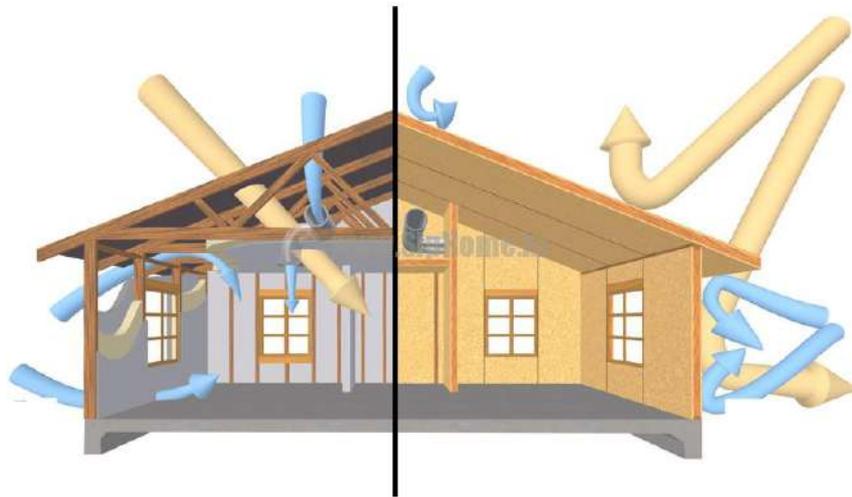


Рисунок 2.5 – Втрати тепла через конструкції із SIP-панелей (справа)

Конструкція SIP-панелі передбачає наявність двох орієнтовано-стружкових плит (ОСП), між якими розташовано шар теплоізоляційного матеріалу – зазвичай пінополістиролу (рис. 2.6) [30]. Така тришарова структура забезпечує високу жорсткість, монолітність і герметичність усєї огорожувальної оболонки будинку. За теплотехнічними характеристиками SIP-панель товщиною 150–160 мм може бути еквівалентною двометровій стіні з повнотілої силікатної цегли. Завдяки цьому конструкції на основі SIP-панелей характеризуються опором теплопередачі $R \approx 4,5\text{--}5,0 \text{ м}^2\cdot\text{К}/\text{Вт}$, що значно перевищує нормативні вимоги для житлових будівель в Україні.

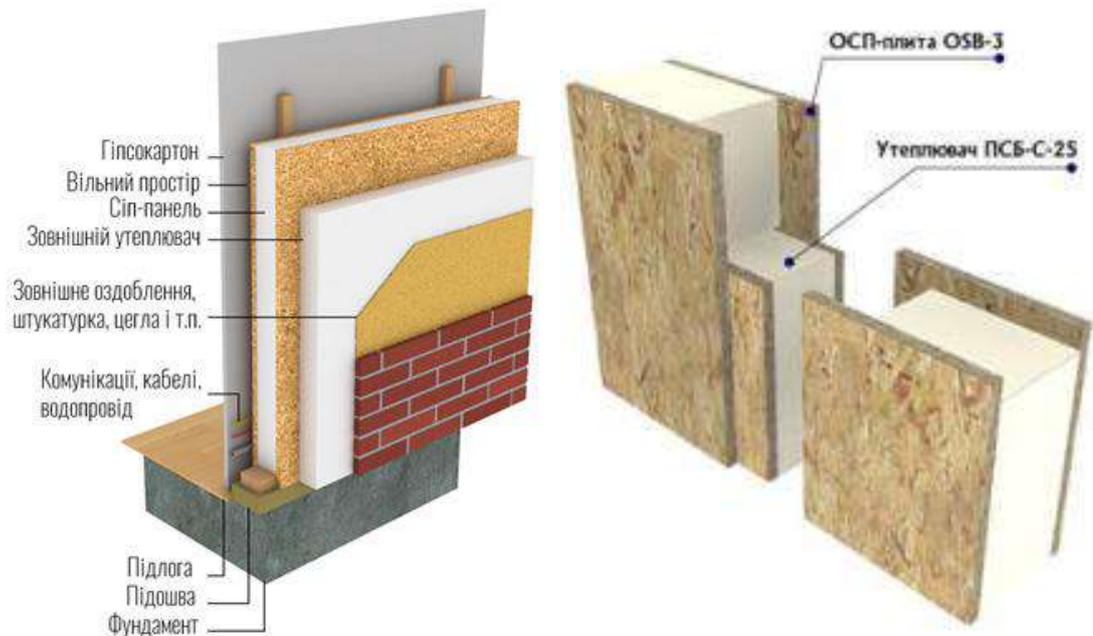


Рисунок 2.6 – Конструкція стіни із SIP-панелями

Крім високої теплоізоляції, каркасно-панельні системи забезпечують швидкість зведення будинку: монтаж коробки з покрівлею триває від двох до чотирьох тижнів навіть у зимовий період, що робить цю технологію привабливою для приватного сектору.

Суттєвим фактором, який знижує вартість будівництва, є мала вага конструкції. Завдяки цьому можливе використання полегшених фундаментів, зокрема гвинтових палів або мілкозаглиблених стрічкових, без втрати надійності. Щільність стінових панелей дає змогу уникати додаткового утеплення, а рівна поверхня дозволяє без попередньої підготовки монтувати внутрішнє і зовнішнє оздоблення.

Втім, як і будь-яка технологія, SIP-система має певні обмеження. Однією з найбільш обговорюваних проблем є горючість теплоізоляційного шару. Хоча сучасні матеріали просочуються антипіренами, а конструкції проходять обробку вогнестійкими сумішами, необхідність забезпечення відповідного класу пожежної безпеки є обов'язковою. Ще однією вразливою ланкою є герметичність конструкції: вона, з одного боку, сприяє зменшенню інфільтрації повітря, але, з іншого – вимагає організації якісної системи

вентиляції. Без неї в приміщенні зростає вологість, що створює ризик утворення цвілі та грибків.

Окрім цього, певну увагу потрібно приділяти механічній стійкості стін: у випадку ударного пошкодження зовнішньої плити цілісність панелі порушується, що вимагає ремонту або заміни елемента. Ще один аспект – це вразливість до гризунів. Хоча за належного монтажу й відсутності щілин ризик мінімальний, можливість локального ушкодження утеплювача потребує превентивного захисту стиків.

Особливості монтажу SIP-будинків полягають у тому, що з'єднання панелей обробляються монтажною піною, що забезпечує суцільну герметизацію конструкцій. Для інженерних систем передбачаються штроби або спеціальні канали у панелях. Електропроводка, вентиляція, системи опалення монтуються з урахуванням технологічних отворів ще до закриття конструкцій. Найбільш поширеними джерелами тепла у таких будівлях є електроконвектори, теплові панелі або системи «тепла підлога», які добре працюють у поєднанні з герметичними огороженнями.

Розрахунки показують, що стіна з SIP-панелі завтовшки 160 мм із коефіцієнтом теплопровідності пінополістиролу $0,035 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$ має опір теплопередачі близько $4,57 \text{ м}^2\cdot\text{К/Вт}$, що є більш ніж достатнім навіть для північних регіонів України. Це дозволяє розглядати технологію SIP як раціональний вибір для будівництва енергоефективного приватного житла з помірними інвестиціями та високими результатами з точки зору експлуатаційних витрат, комфортності та термічного захисту.

2.3 Теплоізоляція огорожувальних конструкцій у контексті енергоефективного домобудівництва

Ефективна теплоізоляція є ключовою умовою забезпечення енергоефективності будівель. Для малоповерхових житлових будинків, особливо в умовах децентралізованого електричного опалення, зниження

тепловтрат через огорожувальні конструкції набуває особливого значення. Найбільші втрати тепла відбуваються через стіни, покрівлю, віконні отвори та конструкції підлоги першого поверху. Теплова ізоляція повинна бути неперервною по всьому контуру будівлі та відповідати кліматичним умовам регіону.

Стіни, що становлять до 40% загальних тепловтрат, зазвичай утеплюють за допомогою багатошарових систем з використанням мінеральної вати або екструдованого пінополістиролу. Розрізняють два основні способи утеплення – «мокрый фасад» та вентильовані системи. У першому випадку утеплювач фіксується клеєм і дюбелями до основи, далі накладається армуючий шар і декоративна штукатурка. У вентильованих фасадах теплоізоляція монтується всередині обрешітки, а зверху прикривається облицювальними панелями, залишаючи вентиляційний зазор (рис. 2.7) [3, 17]. Це забезпечує додатковий захист від вологи та зменшує теплові навантаження.

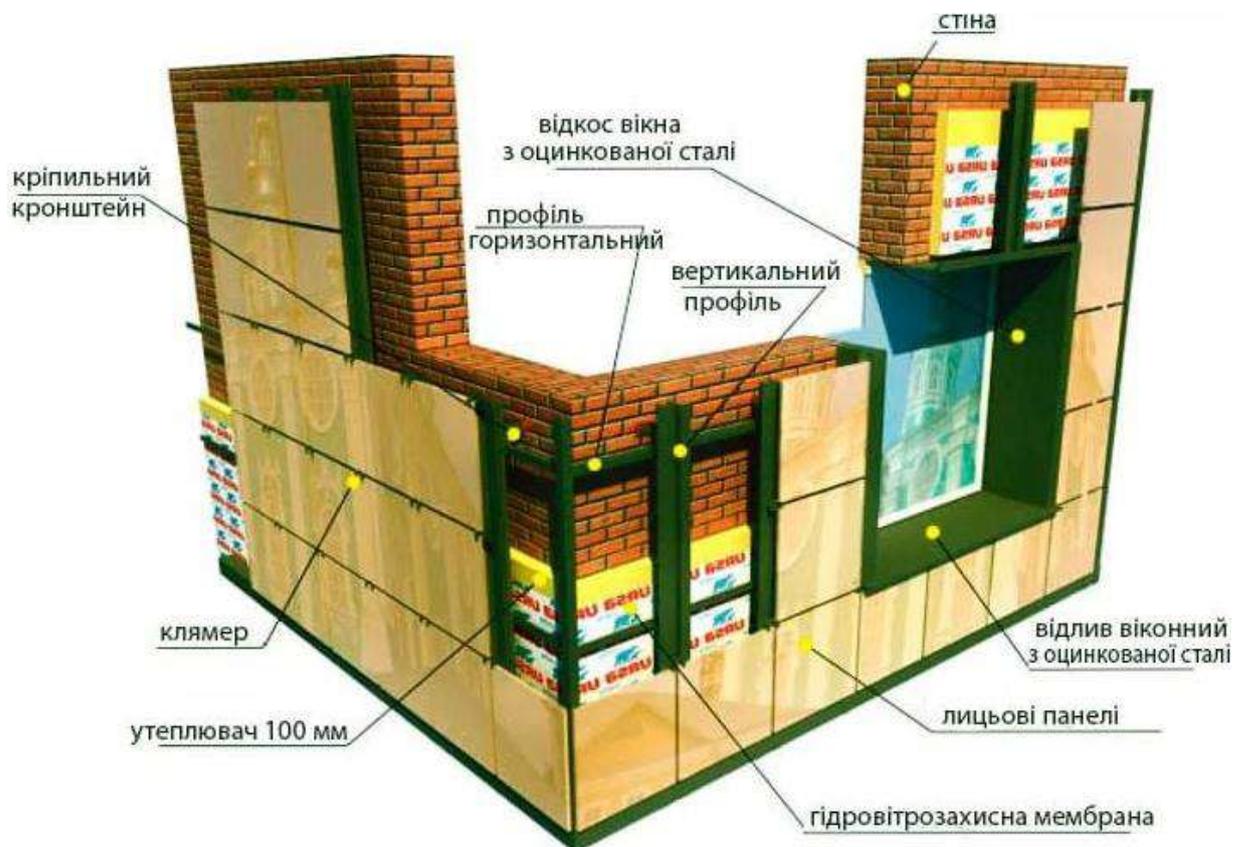


Рисунок 2.7 – Влаштування «вентильованого» фасаду

Покрівля, через яку втрачається до 20% тепла, потребує якісного утеплення мінеральною ватою товщиною не менше 200 мм. При цьому особливу увагу слід приділяти пароізоляції з боку теплого приміщення та вітрозахисту з боку зовнішнього середовища. Вікна, які займають до 15–20% площі зовнішніх огорожень, також можуть бути джерелом значних втрат. Для енергоефективного будинку доцільно використовувати склопакети із селективним покриттям та інертним газом у камерах (рис. 2.8) [3, 17]. Таке скління здатне затримувати довгохвильове інфрачервоне випромінювання, яке утворюється в приміщенні, та мінімізувати втрати через конвекцію.

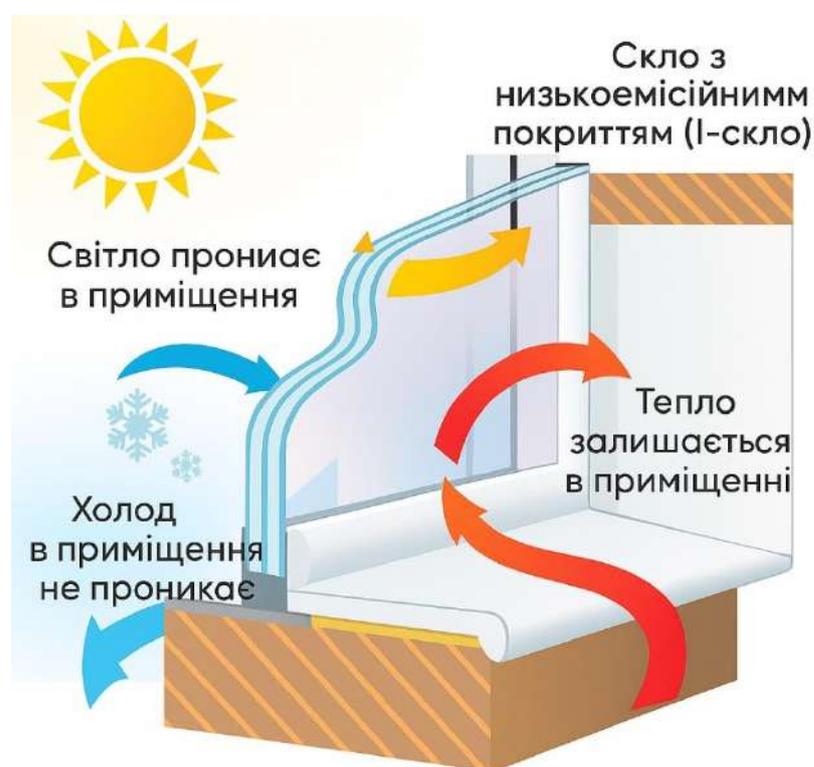


Рисунок 2.8 – Принцип роботи селективного скла

Підлога над неопалюваним підвалом або на ґрунті є ще одним шляхом втрат, що часто недооцінюється. Її утеплення зазвичай здійснюється за допомогою щільних плит пінополістиролу або піноскла, а у випадку наявності підвалу – через ізоляцію перекриття над ним. Важливо забезпечити повну

відсутність теплових «містків» у місцях стику конструкцій, що потребує комплексного опрацювання вузлів.

Таким чином, теплоізоляція будівлі повинна бути суцільною системою з чітким дотриманням послідовності шарів, які включають власне утеплювач, пароізоляцію, гідрозахист і оздоблення. Лише інтегрований підхід до ізоляції всіх огорожувальних елементів дозволяє досягти дійсно високих показників енергоефективності та створити умови для сталого функціонування будинку з мінімальними витратами на опалення.

2.4 Використання рекуперації тепла у вентиляційних системах приватного будинку

Забезпечення комфортного мікроклімату в приміщеннях вимагає постійного припливу свіжого повітря та видалення відпрацьованого. У традиційних вентиляційних системах це призводить до значних тепловтрат: тепле повітря видаляється з приміщення, а холодне надходить ззовні, що збільшує навантаження на систему опалення. В умовах енергоефективного домобудівництва ця проблема вирішується шляхом впровадження вентиляційних систем з рекуперацією тепла.

Рекуператор – це теплообмінник, що інтегрується в приточно-витяжну систему (рис. 2.9). Він забезпечує передачу тепла від теплого відпрацьованого повітря свіжому припливному, не змішуючи при цьому повітряні потоки [31]. Таким чином, повітря, яке надходить до житлового простору, має температуру, близьку до кімнатної, а отже – знижуються витрати на його нагрів.

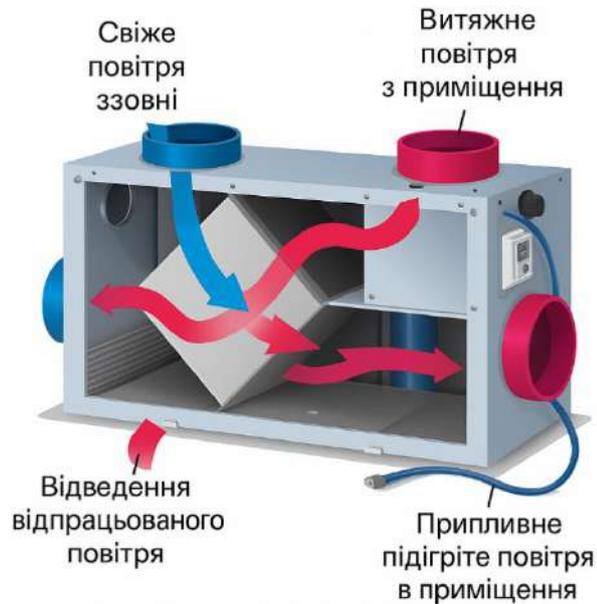


Рисунок 2.9 – Принцип роботи рекуператора

Для будинків з високим рівнем герметичності (як у випадку з SIP-конструкціями) наявність рекуператора є обов'язковою умовою підтримки повітрообміну. Крім зменшення тепловтрат, така система забезпечує контроль вологості, запобігає утворенню конденсату і поліпшує якість повітря, особливо у приміщеннях із підвищеним вмістом CO₂.

Існує кілька типів рекуператорів – пластинчасті, роторні, трубчасті. Найбільш розповсюджені у житловому будівництві – це пластинчасті перехресного типу з коефіцієнтом рекуперації до 85%. Вони прості в обслуговуванні, не потребують електричного живлення для обміну тепла і мають тривалий ресурс експлуатації. Крім того, можливе розташування повітрозабірного каналу під землею, що забезпечує попереднє підігрівання (взимку) або охолодження (влітку) припливного повітря за рахунок температури ґрунту [31].

Використання рекуперації дозволяє знизити загальні енергетичні витрати будинку на 15–25% залежно від регіону та конфігурації системи [31]. Таким чином, рекуператор не лише забезпечує вентиляцію без втрат, але й інтегрується в загальну енергетичну концепцію будівлі, сприяючи підвищенню її енергоефективності.

2.5 Роль системи «розумний будинок» в оптимізації енергоспоживання

Інтеграція технологій автоматизації управління інженерними системами стає невід'ємною складовою концепції енергоефективного житла. Система «розумний будинок» дозволяє гнучко керувати освітленням, опаленням, вентиляцією, електроприладами та іншими функціями в залежності від поточних умов і потреб користувача (рис. 2.10) [32]. У контексті енергозбереження ключовим фактором є динамічна адаптація параметрів функціонування систем до реального способу життя мешканців.

Однією з основних функцій є автоматичне регулювання температури в окремих приміщеннях. Система здатна знижувати температуру в кімнатах, що не використовуються, або навпаки, підтримувати заданий комфортний рівень у спальнях у нічний час. Завдяки сценаріям енергозбереження температура в будинку може автоматично знижуватися, наприклад, у робочий час, коли нікого немає вдома, і підвищуватися перед поверненням мешканців.



Рисунок 2.10 – Управління системами «розумний будинок»

Контроль освітлення також значно впливає на енергоспоживання. Застосування датчиків руху та освітленості дозволяє вмикати світло лише за

потреби, а також автоматично знижувати інтенсивність освітлення в умовах достатнього природного світла. У системі «розумного будинку» можливе централізоване або дистанційне вимкнення всіх приладів, що залишаються у режимі очікування, чим досягається зменшення непомітних, але стабільних втрат електроенергії [33].

Важливу роль відіграє управління вентиляцією та провітрюванням. Залежно від рівня вологості, концентрації CO₂ чи температури система може автоматично відкривати вікна або запускати вентиляційну установку. Те саме стосується автоматизованих жалюзі, які реагують на рівень сонячної радіації, тим самим запобігаючи перегріву або сприяючи пасивному обігріву.

Таким чином, система «розумного будинку» стає не просто зручною інновацією, а інструментом сталого управління енергоресурсами. У сукупності з ефективною теплоізоляцією, вентиляцією з рекуперацією та сучасними системами опалення, вона формує єдину енергетично збалансовану модель функціонування будівлі, де витрати мінімізуються без зниження рівня комфорту.

2.6 Опалення та гаряче водопостачання в енергоефективному малоповерховому житловому будинку

Раціональне вирішення питань опалення та гарячого водопостачання (ГВП) у малоповерхових житлових будинках є ключовим аспектом загальної енергоефективності споруди. Особливо актуальним це стає у випадках, коли будівля розташована в зоні без централізованих інженерних мереж, що вимагає автономних або напівавтономних рішень з використанням електроенергії чи альтернативних джерел енергії.

Одним із найперспективніших напрямів у сфері автономного теплозабезпечення є використання сонячних геліосистем, які дозволяють частково або повністю забезпечувати потребу будівлі у теплі та гарячій воді за рахунок сонячної енергії. У типовій конфігурації така система складається з

сонячного колектора, циркуляційного контуру з теплоносієм, теплообмінника і бака-акумулятора, де зберігається нагріта вода (рис. 2.11) [34].

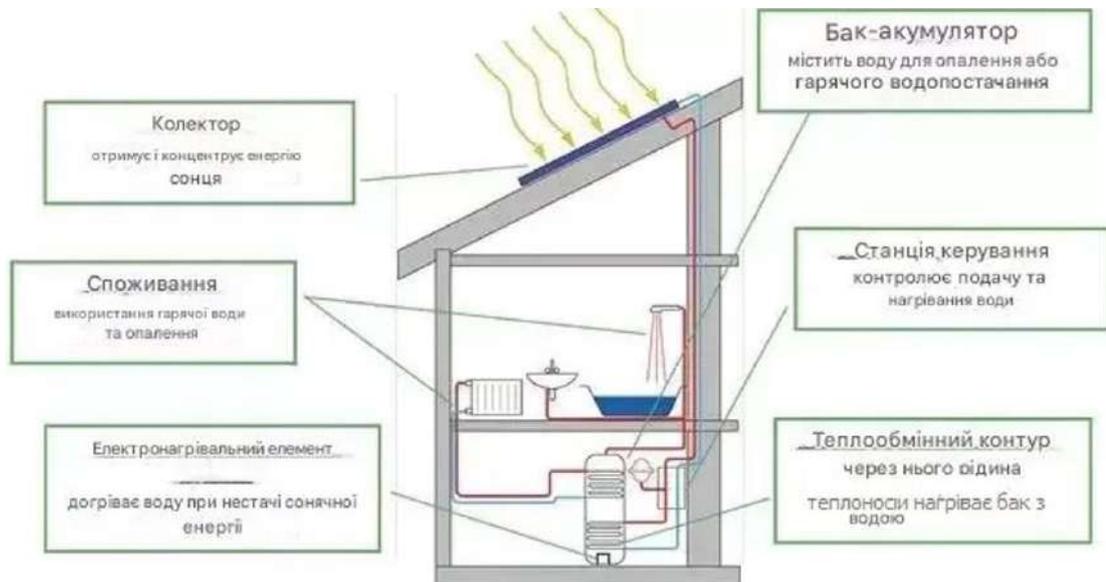


Рисунок 2.11 – Приклад роботи сонячного колектора

За сприятливих умов (весняно-літній період) геліосистема може покривати до 60–80% річного обсягу потреб у ГВП. Для забезпечення надійності за несприятливих погодних умов у систему інтегрується резервний електронагрівач або інше джерело тепла.

Альтернативним або додатковим джерелом тепла можуть бути теплові насоси (рис. 2.12). Ці пристрої використовують низькопотенційну теплову енергію навколишнього середовища – ґрунту, повітря чи води – і перетворюють її в теплову енергію високої якості, придатну для опалення.

Теплові насоси типу «повітря–вода» або «ґрунт–вода» є високоефективними в умовах помірного клімату і демонструють коефіцієнт перетворення (COP) на рівні 3,0–4,5, що означає: на кожен витрачений кіловат електроенергії виробляється 3–4,5 кВт тепла [35].

У поєднанні з низькотемпературними системами опалення, зокрема «теплыми підлогами», теплові насоси дозволяють суттєво скоротити енергоспоживання при збереженні комфортного мікроклімату.

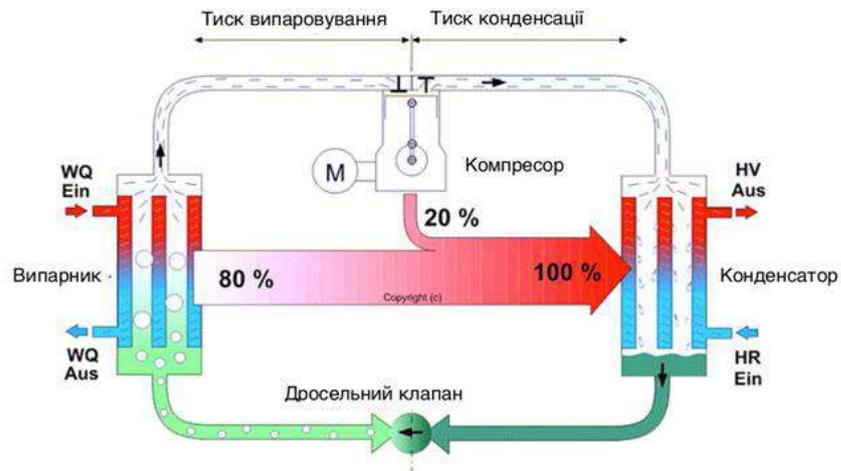


Рисунок 2.12 – Принцип роботи теплового насосу

У регіонах, де доступне газопостачання, одним з найефективніших варіантів є використання конденсаційних газових котлів (рис. 1.13) [36]. Ці котли, на відміну від традиційних, утилізують не лише явне тепло згоряння газу, а й приховану теплоту парів води у димових газах, що дозволяє досягати загального ККД понад 100% у нижчій теплоті згоряння. Такий підхід дозволяє зменшити витрати газу до 15–20% у порівнянні зі звичайними системами.

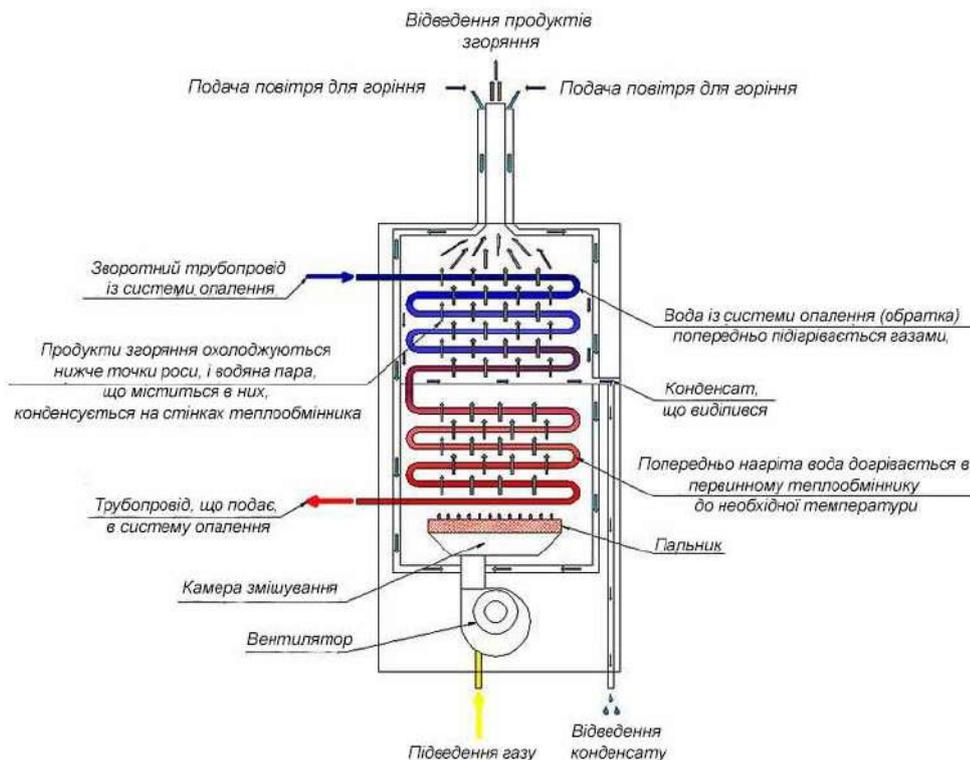


Рисунок 2.13 – Схема роботи конденсаційного газового котла

У випадку, коли є надлишок біомаси або органічних відходів сільського господарства, можливо впровадження біогазових установок, які перетворюють органічну речовину у метан та інші горючі гази шляхом анаеробного бродіння (рис. 2.14). Вироблений біогаз може використовуватись для опалення або підігріву води, а побічний продукт – осад – є цінним органічним добривом [37].

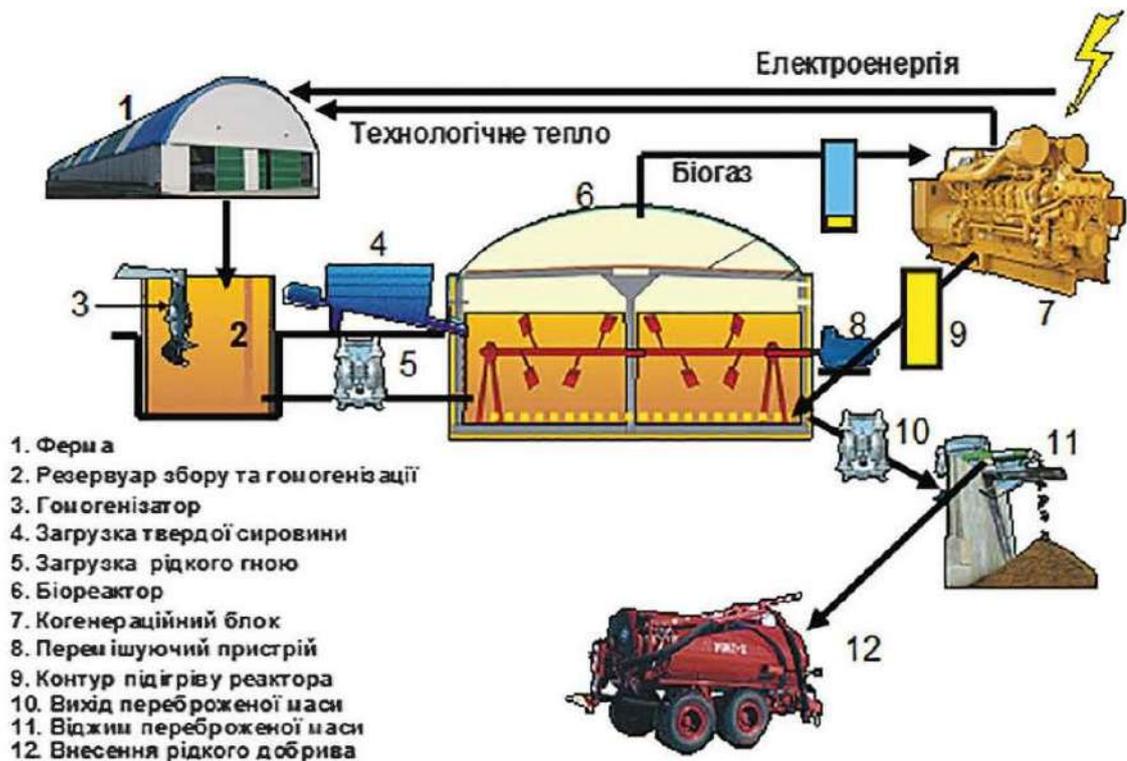


Рисунок 2.14 – Прицип роботи біореактора

Окремої уваги заслуговують електричні системи опалення, які, незважаючи на високі витрати при класичному використанні, можуть стати конкурентоспроможними за рахунок інноваційних технологій. До таких належать інфрачервоні стельові панелі, кварцові акумуляційні обігрівачі, а також системи підлогового нагріву з точковим керуванням і оптимізацією добових циклів споживання електроенергії. Ефективне зонування і підключення до системи «розумного будинку» дає змогу автоматизувати

роботу опалення, обмежуючи споживання у періоди відсутності мешканців або в нежилых приміщеннях.

Підвищення ефективності опалювальних систем також пов'язано із використанням акумуляційних баків для зберігання тепла, що дозволяють згладжувати пікові навантаження і збільшити ефективність роботи джерел тепла, особливо якщо мова йде про теплові насоси або сонячні колектори. Баки-акумулятори інтегруються до гідравлічної схеми опалення і забезпечують стабільність температури у системі навіть при коливаннях зовнішніх умов або споживання.

Для кращого порозуміння доцільності використання кожного з варіантів доцільно розглянути їхні порівняльні характеристики (табл. 2.1).

Таблиця 2.1 – Порівняння основних джерел тепла для малоповерхових житлових будинків

Система	ККД / COP	Автономність	Інвестиції	Окупність / Ефективність
Сонячні колектори	70–90% (реальне використання)	Низька (залежить від погоди)	Високі	6–10 років
Тепловий насос (повітря–вода)	COP 3,5–4,5	Середня (залежить від температури повітря)	Високі	5–8 років
Конденсаційний газовий котел	до 108% (у нижчій теплоті згорання)	Висока (при наявності газу)	Середні	3–5 років
Біогазова установка	≈ 60–65%	Висока (при власному ресурсі)	Високі	8–12 років
Електроконвектори	≈ 95–100%	Повна (при наявності електроенергії)	Низькі	1–2 роки
Кварцові акумуляційні обігрівачі	≈ 95–98%	Повна (при наявності електроенергії)	Середні	2–4 роки

Таблиця 2.1 демонструє, що найбільш інвестиційно доступним і швидкоокупним варіантом для невеликих приватних будинків є електричні обігрівачі з системою автоматизації, тоді як сонячні й біогазові системи дають найбільший ефект за умови довгострокового використання і потребують

значних початкових витрат. Найбільш збалансованими з точки зору витрат та ефективності є теплові насоси, які, хоча й потребують початкових вкладень, здатні забезпечити високий рівень енергоефективності.

Таким чином, вибір джерела тепла для конкретного будинку залежить від локальних умов, доступності енергоресурсів, фінансових можливостей замовника та вимог до ступеня автономності. При цьому оптимальним рішенням у більшості випадків виявляється саме комбінована система з можливістю переходу між джерелами енергії та акумуляцією тепла – що підтверджує її доцільність у контексті сучасного енергоефективного проектування.

Усі вищезгадані системи можуть використовуватись як окремо, так і в комбінаціях. Наприклад, найчастіше зустрічається гібридна модель: сонячні колектори + електричний резервний котел або тепловий насос + конвектори з термостатичним керуванням. Вибір оптимального рішення залежить від регіональних особливостей, фінансових можливостей забудовника, ступеня автономності будинку та наявності інженерної інфраструктури (табл. 2.2).

Таблиця 2.2 – Порівняння систем опалення та ГВП

Система	ККД / COP	Автономність	Інвестиції (орієнтовно)	Окупність / Ефективність
Сонячні колектори	70–90% (реальне використання)	Низька (залежить від погоди)	Високі	6–10 років
Тепловий насос (повітря-вода)	COP 3,5–4,5	Середня (залежить від температури повітря)	Високі	5–8 років
Конденсаційний газовий котел	до 108% (у нижчій теплоті згорання)	Висока (при наявності газу)	Середні	3–5 років
Біогазова установка	≈ 60–65%	Висока (при власному ресурсі)	Високі	8–12 років
Електроконвектори	≈ 95–100%	Повна (при наявності електрики)	Низькі	1–2 роки
Кварцові акумуляційні обігрівачі	≈ 95–98%	Повна (при наявності електрики)	Середні	2–4 роки

Таким чином, раціональний підхід до організації систем опалення і ГВП полягає не лише в технічному виборі обладнання з високим ККД, але й у його інтеграції в загальну архітектурно-інженерну концепцію енергоефективного житла, що дозволяє забезпечити мінімальні експлуатаційні витрати без шкоди для комфорту та надійності.

2.7 Альтернативна електроенергія як джерело забезпечення енергонезалежності житлового будинку

У сучасних умовах енергетичної нестабільності, високих тарифів та відсутності централізованого енергопостачання у нових житлових масивах особливої актуальності набуває використання відновлюваних джерел електроенергії. Впровадження автономних або гібридних енергосистем дозволяє не лише зменшити енергозалежність будинку, а й забезпечити довгострокову економію ресурсів. Найпоширенішими джерелами альтернативної електроенергії в приватному малоповерховому будівництві є сонячні фотоелектричні системи та вітрогенератори, що можуть працювати окремо або у складі комбінованої системи з блоками акумуляції та перетворення.

Сонячні панелі, встановлені на даху або окремій конструкції, перетворюють сонячне випромінювання у постійний електричний струм, який за допомогою інвертора трансформується в змінний, придатний до використання у побутових приладах (рис. 2.15) [37].

Ефективність сучасних панелей досягає 18–22%, що за умов правильної орієнтації та кута нахилу дозволяє отримувати в середньому 120–160 кВт·год електроенергії з 1 кВт встановленої потужності щомісяця в літній період. У зимовий період виробіток зменшується, тому для забезпечення безперервного живлення важливих споживачів система має бути доповнена акумуляторними батареями. Їхній підбір здійснюється за сукупною потужністю споживання та бажаним періодом автономної роботи.

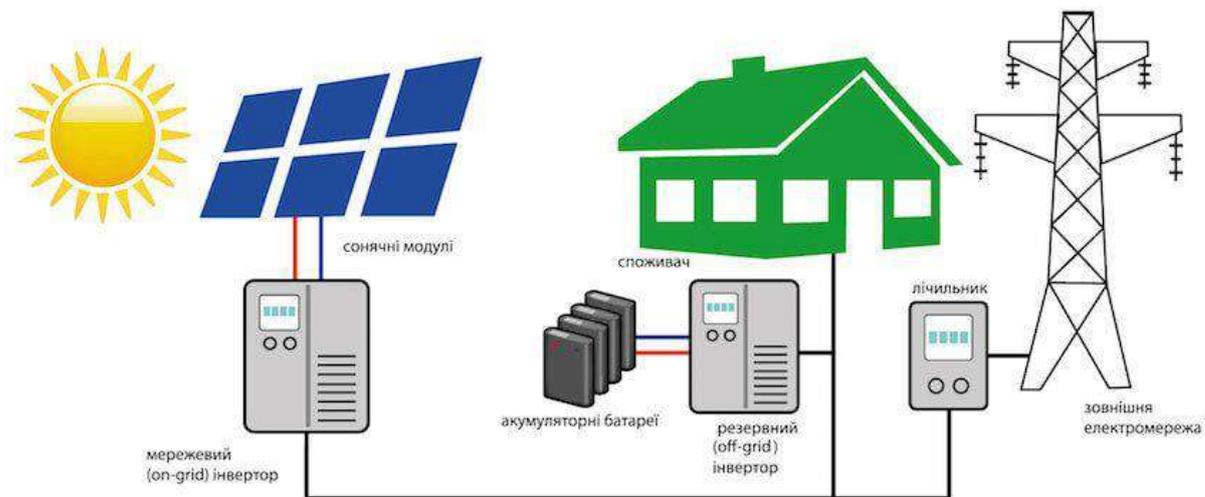


Рисунок 2.15 – Принцип роботи сонячної електростанції в будинку

Вітрові генератори мають сенс у відкритій місцевості, де середня річна швидкість вітру перевищує 4 м/с. У таких умовах установка малопотужного вертикального або горизонтального вітрогенератора дає змогу компенсувати нестачу електроенергії в нічний час або в похмуру погоду, коли продуктивність сонячних модулів знижується. У поєднанні з контролером заряду, інвертором і акумулятором формується комплексна енергосистема, здатна повністю або частково забезпечувати потреби будинку в електроенергії (рис. 2.16) [38, 39].



Рисунок 2.16 – Принцип роботи вітрогенератора

Важливо зазначити, що ключовим елементом таких систем є система управління та моніторингу. Вона дозволяє в реальному часі контролювати рівень зарядженості акумуляторів, обмежувати навантаження та автоматично перемикає джерела живлення залежно від умов. У разі пікового навантаження або повного розряду акумуляторів можливо використання резервного живлення від мережі або дизель-генератора.

Отже, використання альтернативної електроенергії створює передумови для формування енергонезалежного та екологічного будинку, який здатний функціонувати автономно навіть за умов повної відсутності зовнішніх джерел живлення. При цьому інтеграція сонячних або вітрових систем у загальну архітектурно-інженерну концепцію дозволяє ефективно поєднувати економію з підвищенням рівня комфортності та безпеки мешканців.

2.8 Системи водопостачання та каналізації в енергоефективному житлі

У малоповерховому житловому будівництві, особливо в умовах відсутності централізованих інженерних мереж, ефективне планування систем водопостачання і водовідведення має не менш важливе значення, ніж теплозабезпечення. Раціональне використання водних ресурсів, повторне застосування стоків, а також використання сучасних біологічних очисних технологій дозволяє не лише зменшити навантаження на довкілля, а й скоротити витрати на експлуатацію будинку (табл. 2.3).

Таблиця 2.3 витрат та енерговигоди для централізованого і автономного водопостачання показує ключові параметри, зокрема інвестиції, рівень автономності, енергоспоживання та окупність [40-42].

Таблиця 2.3 – Порівняння систем водопостачання

Параметр	Централізоване водопостачання	Автономне водопостачання (свердловина + фільтри + сірі води)
Початкові інвестиції	Низькі (підключення до мережі)	Високі (буріння, насос, фільтри)
Щорічні витрати на обслуговування	Середні	Низькі
Економія на оплаті централізованих послуг	Немає	≈ 8 000–12 000 грн/рік
Період окупності	Не застосовується	4–6 років
Рівень автономності	Низький	Високий
Енергоспоживання системи	Низьке	Помірне (до 1 кВт/добу)
Енергозбереження через повторне використання	Відсутнє	До 30–50% споживання менше

Організація автономного водопостачання зазвичай здійснюється шляхом буріння свердловини з подальшим встановленням насосної станції, гідроакумулятора та фільтраційного блоку. Для підвищення ефективності можливо впровадження систем контролю тиску, які автоматично коригують режим роботи насоса залежно від поточних потреб мешканців. Додатково система може бути оснащена датчиками витoku, що дозволяє оперативно виявляти несправності й уникати аварійних ситуацій.

Значного потенціалу для енергозбереження має повторне використання так званих сірих вод – стічних вод з умивальників, ванн, душових, які пройшли фільтрацію. Ця вода може бути використана повторно, наприклад, для технічних потреб: змиву в туалетах, поливу ділянки або миття підлоги. Таким чином досягається зменшення споживання чистої води до 30–50% [40]. У таких системах передбачаються два незалежні контури водопостачання: для питної та технічної води.

У частині водовідведення дедалі частіше використовуються локальні біологічні очисні установки, які дозволяють досягати високого ступеня очищення без централізованої каналізації. Найпоширеніші системи включають септик, біофільтр, аераційні камери та резервуари для доочищеної води. Очищена вода може бути використана для технічних потреб або

безпечно відведена у фільтраційні поля. Установка таких систем значно знижує навантаження на ґрунтові води, зменшує забруднення та забезпечує повну автономність об'єкта.

Крім того, перспективним напрямом є рекуперація тепла стічних вод. Сучасні теплообмінні установки дозволяють відбирати частину тепла з каналізаційних стоків та використовувати його для попереднього підігріву води у бойлері. Це забезпечує додаткове скорочення енергоспоживання на 10–15% при незначних капітальних витратах [42].

Таким чином, ефективна система водопостачання та водовідведення у приватному будинку не лише забезпечує комфорт і санітарно-гігієнічні умови, а й слугує важливою складовою загальної енергетичної моделі будівлі, де знижуються експлуатаційні витрати та підвищується рівень автономності.

Висновки до розділу 2

Розділ присвячено аналізу ефективних архітектурних, конструктивних та інженерних рішень, що забезпечують енергоефективність малоповерхових житлових будинків. Встановлено, що правильна орієнтація будинку, компактна форма, зонування та раціональне природне освітлення дозволяють зменшити енергоспоживання на етапі експлуатації до 30–50% без складних технічних засобів.

Використання SIP-панелей як конструктивної основи забезпечує високі показники теплозбереження при мінімальній товщині огорожувальних конструкцій. Якісна теплоізоляція фасадів, даху, підлоги й вікон формує неперервний теплозахисний контур. Вентиляція з рекуперацією тепла знижує тепловтрати на 15–25%, а система «розумний будинок» дозволяє автоматично регулювати інженерні процеси, підвищуючи енергоефективність без втрати комфорту.

Аналіз джерел опалення показав доцільність комбінованих систем – зокрема теплових насосів у поєднанні з сонячними колекторами та резервними

електрообігрівачами. Впровадження альтернативної електроенергії (сонячної чи вітрової) сприяє енергонезалежності будинку. Ефективні рішення у водопостачанні – свердловини, повторне використання стоків, локальні очисні споруди – забезпечують автономність і зменшують витрати на обслуговування.

Загалом доведено, що системний підхід до проєктування та комплектації будинку дає змогу створити високоефективне, незалежне та екологічно збалансоване житло.

РОЗДІЛ 3

МОДЕЛЮВАННЯ ТЕПЛОВТРАТ МАЛОПОВОВЕРХОВОГО ЖИТЛОВОГО БУДИНКУ

3.1 Розробка моделі для дослідження теплотехнічних параметрів будівлі

Теплотехнічний розрахунок передбачає визначення температурного режиму будівельних конструкцій у часі та просторі на основі початкових і граничних умов.

Початкові умови – це значення температури всередині об'єкта на початку аналізованого періоду. Наприклад, якщо вважається, що тіло на початку має рівномірну температуру, то це описується функцією виду [43]:

$$t(x, y, z, \tau_0) = t_0 = \text{const}, \quad (3.1)$$

де τ_0 – початковий момент часу.

Однак у багатьох випадках, особливо для тривалих періодів аналізу, вплив початкових умов втрачає значення. Через деякий час система переходить до квазісталого стану, де розподіл температур залежить переважно від умов на межах.

Граничні умови відображають теплообмін між твердим тілом і навколишнім середовищем, і поділяються на кілька типів [43]:

1) Граничні умови I роду (умова Діріхле)

Температура на поверхні тіла задана як функція координат і часу:

$$t_F(x, y, z, \tau) = \varphi(x, y, z, \tau). \quad (3.2)$$

Це найпростіший випадок, коли температура поверхні точно відома. Такий тип умов застосовується при дуже інтенсивному теплообміні або у випадках, коли поверхня підтримується при постійній температурі.

2) Граничні умови II роду (умова Неймана)

Задається тепловий потік через поверхню:

$$q_F = \psi(x, y, z, \tau). \quad (3.3)$$

У відповідності до закону Фур'є це записується як:

$$-\lambda(\partial t / \partial n) = \psi(x, y, z, \tau), \quad (3.4)$$

де λ – коефіцієнт теплопровідності;

n – внутрішня нормаль до поверхні F ;

$\partial t / \partial n$ – похідна температури в напрямку нормалі до поверхні. Якщо тепловий потік сталий у просторі та часі, то він приймає вигляд $q_F = q_0 = \text{const}$.

3) Граничні умови III роду (умова Ньютона)

Залежність теплового потоку від різниці температур між тілом та навколишнім середовищем визначається як:

$$q_F = \pm \alpha(T_F - T_C); \quad (3.5)$$

або у формі балансу енергії:

$$-\lambda(\partial t / \partial n)_F = \alpha(T_F - T_C), \quad (3.6)$$

де α – коефіцієнт теплообміну, що враховує спільний вплив теплопровідності, конвекції та геометрії поверхні. Він залежить від матеріалу, швидкості повітря, стану поверхні тощо.

4) Граничні умови IV роду (контакт двох тіл)

Ці умови застосовуються, коли відбувається теплообмін між двома тілами, що мають контакт. В такому разі забезпечується рівність теплових потоків, що проходять через контактну поверхню:

$$\lambda_1(\partial t/\partial n)_1 = \lambda_2(\partial t/\partial n)_2. \quad (3.7)$$

Умови однозначності – щоб диференціальне рівняння теплопровідності мало єдине рішення, необхідно задати:

- геометричні умови (форма і розміри тіла),
- фізичні параметри (теплопровідність, теплоємність, густина),
- початкові умови (t_0),
- граничні умови (типи I–IV).

Систематизуємо граничні умови (табл. 3.1, рис. 3.1).

Таблиця 3.1 – Способи задання граничних умов

№	Тип граничної умови	Суть умови
1	I роду (Діріхле)	Задана температура на межі тіла
2	II роду (Неймана)	Заданий тепловий потік на межі
3	III роду (Ньютона)	Залежність потоку від різниці температур
4	IV роду	Умова теплового контакту між двома середовищами

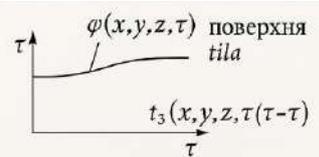
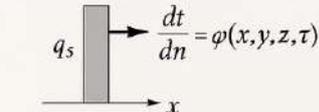
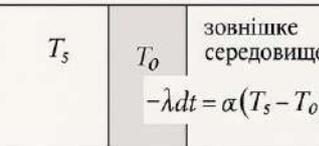
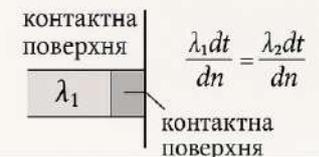
I роду (Діріхле)		Задана температура на межі тіла
II роду (Неймана)		Заданий тепловий потік на межі
III роду (Ньютона)		Залежність потоку від різниці температур
IV роду		Умова теплового контакту між двома середовищами

Рисунок 3.1 – Систематизація граничних умов

3.2 Вплив розміщення опалювального приладу під віконним прорізом на тепловтрати

Світлопрозорі огорожувальні конструкції (вікна) завжди були найбільш вразливою частиною будівлі з точки зору тепловтрат. Особливо важливо враховувати поведінку повітряних потоків поблизу вікон при проектуванні систем опалення. Одним із найпоширеніших архітектурних та інженерних рішень є розміщення опалювального приладу безпосередньо під віконним прорізом. Така конфігурація впливає як на ефективність обігріву приміщення, так і на величину тепловтрат.

3.2.1 Формування зон повітряного потоку біля вікна

При наявності джерела тепла під вікном формується складна система взаємодії повітря (рис. 3.2) [44, 45]:

- холодна зона – вертикальний потік холодного повітря, який спадає вниз уздовж внутрішньої поверхні скління внаслідок охолодження віконним полотном. Виникає через теплообмін із зовнішнім середовищем через віконне скління;

- тепла зона – висхідний теплий потік, який утворюється над опалювальним приладом через явища природної конвекції. Цей потік прямує вздовж внутрішньої поверхні вікна і виконує функцію «теплової завіси», що зменшує тепловтрати;

- вихрова зона – область, де зливаються обидва потоки (теплий і холодний), що створює турбулентність і нерівномірність температурного поля. Це є причиною потенційних додаткових втрат тепла.

Через складність точної ідентифікації меж вихрової зони, у практиці проектування використовують спрощену модель, яка передбачає умовну точку перетину потоків на певній висоті x_v , де:

- від $x=0$ до $x=x_v$ – переважає висхідний теплий потік;
- від $x=x_v$ до $x=h$ (висота скління вікна) – спадає холодне повітря.

Ця умовна межа дозволяє розрахувати інтенсивність теплообміну між повітрям і віконною поверхнею, а також оцінити додаткові втрати тепла.

На схемі на рис. 3.2 зображено умовний розріз через огорожувальну конструкцію зі світлопрозорим елементом (вікном), під яким розміщено опалювальний прилад. Червоні стрілки – висхідний потік теплого повітря, сині стрілки – спадна течія охолодженого повітря.

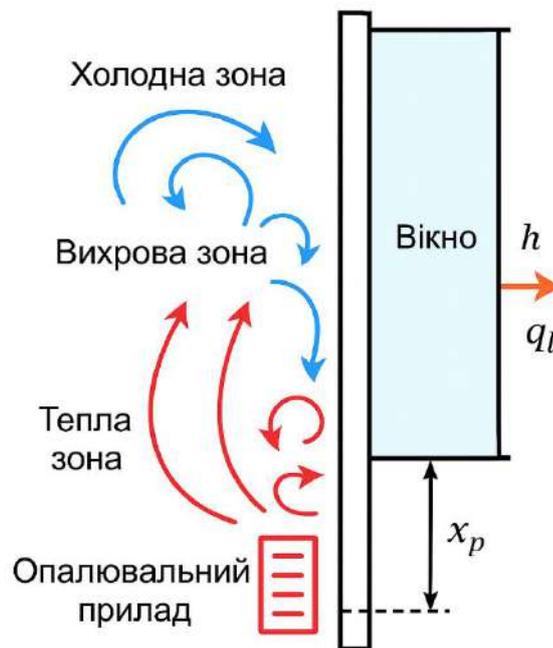


Рисунок 3.2 – Схема повітряних потоків біля вікна

Графік на рис. 3.3 демонструє зміну величини тепловтрат через вікно в залежності від відстані розташування опалювального приладу: Аналіз кривої показує:

- Найменші втрати (близько 45 Вт/м^2) фіксуються при відстані 250 мм. У цьому положенні теплий потік повністю перекриває охолоджену поверхню скла, утворюючи ефективну теплову завісу.

- При зменшенні відстані до 100 мм або збільшенні понад 400 мм тепловтрати починають зростати – до $58\text{--}60 \text{ Вт/м}^2$. Це пов'язано або з неповним перекриттям потоку, або з його розсіюванням.

Таким чином, оптимальна зона розташування опалювального приладу становить 200–300 мм від площини скління.

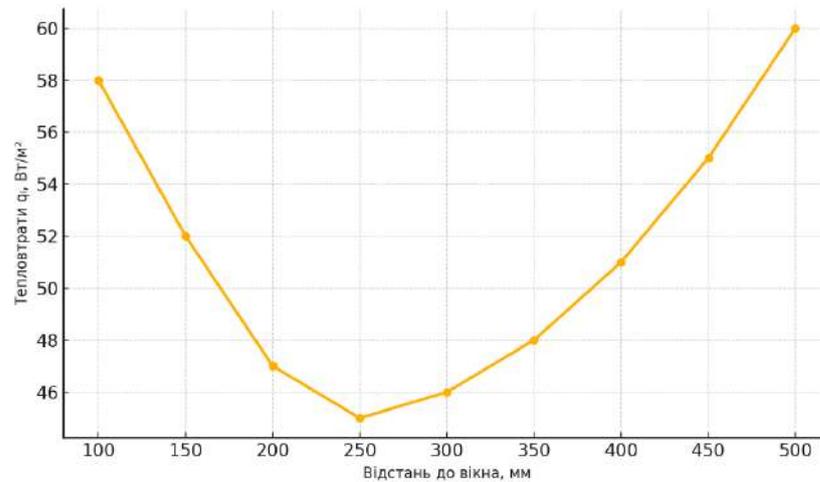


Рисунок 3.3 – Графік тепловтрат залежно від відстані опалювального приладу до вікна

3.2.2 Чисельне моделювання у середовищі Comsol Multiphysics

Для кількісної оцінки впливу різного розміщення опалювального приладу було виконано комп'ютерне моделювання за допомогою програмного комплексу Comsol Multiphysics [46-50]. Було змодельовано житлове приміщення каркасного будинку типу Barnhaus наступними параметрами (рис. 3.4): ширина – 8 м; глибина – 11 м; висота – 4 м; скління – повна площа фронтальної стіни, на всю висоту і ширину; опалення – вбудований у підлогу конвектор.



Рисунок 3.4 – Каркасний будинок типу Barnhaus

Умови моделювання прийнято для міста Київ (табл. 3.2).

Таблиця 3.2 – Загальні кліматичні параметри (за ДБН В.2.6-31:2021)

Параметр	Значення
Розрахункова температура зовнішнього повітря (розрахункова зимова 5-тиденка)	-22 °С
Середня температура опалювального періоду	-1,9 °С
Тривалість опалювального періоду	160 діб
Середня температура внутрішнього повітря	+20 °С

Конструкції огороження:

- стіни із каркасної панелі із деревини з мінераловатним утепленням ($R=4,0 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$);
- покрівля: утеплена ($R = 5,0 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$);
- підлога: утеплена ($R = 3,5 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$);
- вікно: двокамерний склопакет ($R = 0,6 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$).

Опалювальний прилад: вбудований у підлогу конвектор з номінальною тепловою потужністю – 750–800 Вт на 1 м² площі вікна. Коефіцієнт теплообміну внутрішньої поверхні скла: 8 Вт/(м²·°С). Коефіцієнт теплообміну зовнішньої поверхні скла: 23 Вт/(м²·°С).

Граничні умови для моделювання (розрахунок у Comsol Multiphysics):

- 1) Температура внутрішніх поверхонь (стіни, стеля, підлога): +20 °С.
- 2) Температура зовнішнього середовища: -22 °С (розрахункова температура для Київської області) [51].
- 3) Нормоване приведенне опір теплопередачі світлопрозорих огорожень: $R_0 = 0,6 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт}$ [21].
- 4) Тип граничних умов [43]:
 - стеля, підлога, стіни: гранична умова III роду (теплообмін з повітрям);
 - вікно: гранична умова III роду з параметрами теплопередачі скла;
 - вхідний повітряний потік від опалювального приладу моделюється як тепловий джерело з розподіленою потужністю.

Інші параметри залишаються близькими до умов моделі у Comsol, типова висота остіклення – $h = 4$ м, температура всередині – $t_B = 20$ °С, температура нагрівальної поверхні – $t_0 = 82,5$ °С [45].

Цілі моделювання:

- оцінити розподіл температурних полів у приміщенні поблизу вікна;
- дослідити ефективність утворення теплової завіси залежно від відстані приладу до скління;
- визначити величину тепловтрат через вікно за різних конфігурацій;
- змодельовати виникнення зони вихрового повітряного потоку та її вплив на тепловий баланс.

Розрахунок для кліматичних умов Київської області з урахуванням діючих в Україні норм, зокрема:

1. Температура на внутрішній поверхні скління:

$$\tau_B' = t_B - \frac{(t_B - t_3)}{\alpha_B \cdot R_0} = 20 - \frac{(20 - (-22))}{8 \cdot 0,6} = 11,25^\circ \text{C}. \quad (3.8)$$

2. Питомі тепловтрати через скління:

$$Q_{num.}' = \frac{1}{R_0} (t_B - t_3) \cdot h = \frac{1}{0,6} \cdot (20 - (-22)) \cdot 4 = 280 \text{Вт} / \text{м}. \quad (3.9)$$

3. Частка конвективного теплового потоку:

$$\beta_K' = 2,9335 - 9,3056 \cdot R_0 + 12,638 \cdot R_0^2 - 5,68969 \cdot R_0^3; \quad (3.10)$$

$$\beta_K' = 2,9335 - 9,3056 \cdot 0,6 + 12,638 \cdot 0,36 - 5,68969 \cdot 0,216 = 0,712;$$

$$Q_{num.к.}' = 280 \cdot 0,712 = 199,36 \text{Вт} / \text{м}.$$

4. Еквівалентний діаметр конвектора:

$$d_e = 0,151 \cdot Q'_{num.k}{}^{1,333} \cdot (t_0 - t_g)^{-1,667}, \text{ м}, \quad (3.11)$$

$$d_e = 0,151 \cdot 199,36 \cdot (82,5 - 20)^{-1,667} = 0,376 \text{ м}.$$

5. Критерій Грасгофа:

$$G_{ro} = \frac{g \cdot (t_0 - t_B) \cdot d_e^3}{(273 + t_0) \cdot (\nu)^2} = \frac{9,81 \cdot 62,5 \cdot 0,376^3}{(273 + 82,5) \cdot (15,06 \cdot 10^{-6})^2} = 5,86 \cdot 10^7. \quad (3.12)$$

6. Координата зустрічі теплих і холодних потоків:

$$n = 8 \cdot \left(\frac{82,5 - 20}{82,5 - 11,25} \right)^{10} = 0,973, \quad (3.13)$$

$$X'_B = 0,2 \cdot 0,376 \cdot \left(\frac{62,5}{8,75} \right)^{1,25} \cdot \left(\frac{71,25}{62,5} \right)^{1,25 \cdot 0,973} \approx 0,693 \text{ м}.$$

7. Середній коефіцієнт теплообміну (Нуссельт, α):

$$\bar{X}_B = \frac{X'_B}{d_e} = \frac{0,693}{0,376} = 1,84;$$

$$Nu'_0 = 0,33 \cdot Gr_0^{0,333} \cdot (\bar{X}_B^{0,73} - 0,27) \cdot \bar{X}_B^{-1} \approx 203,5; \quad (3.14)$$

$$\alpha'_K = \frac{Nu'_0 \cdot \lambda_B}{d_e} = \frac{203,5 \cdot 0,0259}{0,376} = 14,01 \text{ Вт / (м}^2 \cdot \text{°C)}.$$

8. Середній температурний опір:

$$(t_m - \tau'_B) = 0,64 \cdot \frac{t_0 - \tau'_B}{\bar{X}_B} + 1,4 \cdot \frac{t_0 - \tau'_B}{\bar{X}_B} \cdot \left(\frac{t_0 - \tau'_B}{t_0 - t_B} \right)^n \cdot (\bar{X}_B^{0,2} - 1); \quad (3.15)$$

$$(t_m - 11,25) = 0,64 \cdot \frac{71,25}{1,84} + \dots \approx 37,85 \text{ °C}; \quad t_m \approx 49,1 \text{ °C}.$$

9. Загальний коефіцієнт теплообміну:

$$\alpha'_{Л} = 5 \cdot \frac{1}{t_B - \tau'_B} \cdot \left(\left(\frac{273 + t_B}{100} \right)^4 - \left(\frac{273 + \tau'_B}{100} \right)^4 \right) \approx 4,7 \text{ Вт} / (\text{м}^2 \cdot \text{°C}); \quad (3.16)$$

$$\alpha'_B = \alpha'_K + \alpha'_{Л} = 14,01 + 4,7 = 18,71 \text{ Вт} / (\text{м}^2 \cdot \text{°C}).$$

10. Уточнений термічний опір скління:

$$R'_0 = 0,6 - \left(\frac{1}{8} - \frac{1}{18,71} \right) = 0,508 \text{ м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}. \quad (3.17)$$

11. Температура на внутрішній поверхні:

$$\tau''_B = t_m - \left(\frac{t_m + t_n}{\alpha'_B \cdot R'_0} \right) = 49,1 - \frac{49,1 + 22}{18,71 \cdot 0,508} \approx 36,1 \text{°C}. \quad (3.18)$$

12. Сумарні тепловтрати:

$$Q_{\text{ит.}} = \alpha_{\text{в.н.стр.}} \cdot (t_m - \tau''_B) \cdot X_B + \alpha_B \cdot (t_B - \tau'_B) \cdot (h - X_B); \quad (3.19)$$

$$Q_{\text{ит.}} = 18,71 \cdot 13 \cdot 0,693 + 8 \cdot 8,75 \cdot (4 - 0,693) \approx 509,5 \text{ Вт} / \text{м}.$$

13. Поправочний коефіцієнт:

$$K_Q = \frac{Q_{\text{ит.}}}{Q'_{\text{ит.}}} = \frac{509,5}{280} \approx 1,82. \quad (3.20)$$

На графіку на рис. 3.5 зображено залежність коефіцієнта збільшення теплових втрат K_Q через скління від опору теплопередачі R_0 для умов м. Київ ($t_3 = -22 \text{°C}$). Видно, що зі зростанням теплозахисних властивостей вікна (R_0)

вплив конвектора зменшується: якщо для поганої ізоляції приріст втрат становить $\sim 25\%$, то для сучасного енергоефективного скління – лише $\sim 11\%$.

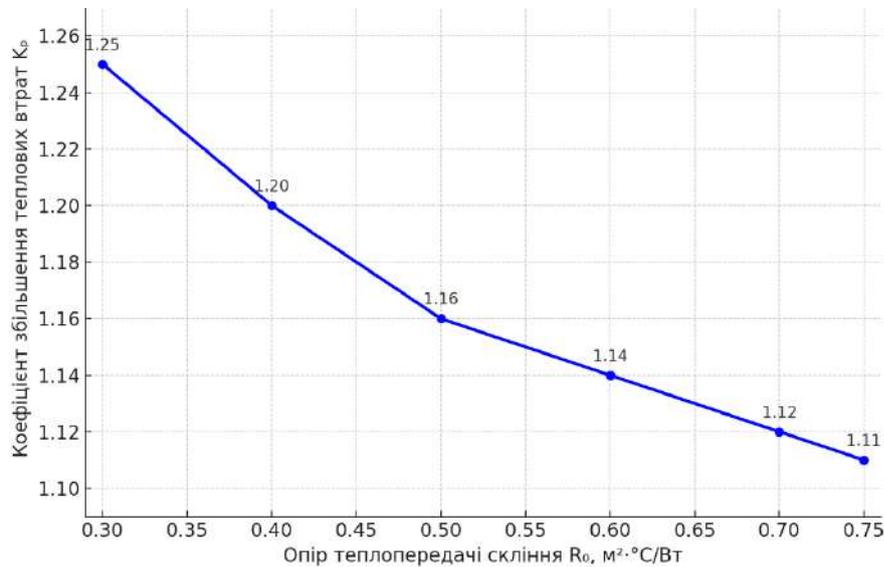


Рисунок 3.5 – Залежність коефіцієнта збільшення теплових втрат K_p від R_0 (умови м. Київ, $t_3 = -22^\circ C$)

При проектуванні систем опалення необхідно враховувати вплив конвекторів на тепловтрати через великі вікна. Отриманий коефіцієнт K_Q показує, що в умовах розрахункової зовнішньої температури $-22^\circ C$:

- для звичайного подвійного скління втрати з конвектором можуть бути $\sim 1,2-1,25$ рази більшими за розраховані нормативним методом без урахування конвекції. Тобто необхідна потужність обігріву для такого вікна збільшиться приблизно на $20-25\%$;

- для сучасного енергоефективного скління втрати зростають не так істотно (на $\sim 10\%$), оскільки саме скло пропускає мало тепла.

На практиці це означає, що за наявності довгого конвектора під високим вікном слід вносити поправку при оцінці тепловтрат. Зокрема, для панорамних вікон застосовують підвищувальні коефіцієнти $\sim 1,1-1,3$ до розрахункових втрат, залежно від якості склопакетів. Таким чином, конвектор одночасно забезпечує комфорт (ліквідує холодне падіння повітря вздовж скла, підвищує

температуру внутрішньої поверхні) і збільшує втрати тепла, що треба врахувати в проектних теплових балансах.

Висновки для умов Київської області:

- для температури $-22\text{ }^{\circ}\text{C}$ тепловтрати через скління зросли на 82 % у порівнянні з базовим значенням без урахування теплообміну.
- для надійного теплозахисту внутрішня температура скління має підтримуватись на рівні $35\text{--}37\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- еквівалентний діаметр обігрівального елемента – $\approx 0,38\text{ м}$, що допустимо для підлогового конвектора;
- висота настилання теплового потоку – $\approx 0,7\text{ м}$, що ефективно стримує холодне повітря.

На графіку на рис. 3.6 зображено температурні профілі повітря біля остіклення на висоті до 4 м:

- суцільна лінія ("З конвектором") показує рівномірне підвищення температури повітря завдяки дії підлогового конвектора;
- пунктирна лінія ("Без конвектора") демонструє різке зниження температури від стелі до підлоги, що характерно для відсутності теплоекрану.

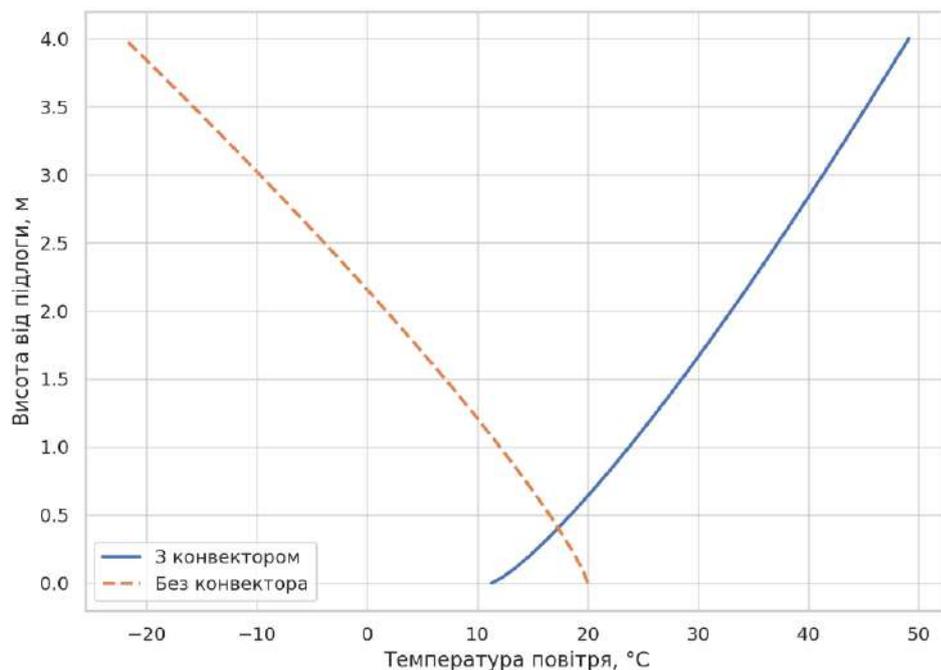


Рисунок 3.6 – Температурні профілі повітря біля скління

На рисунку 3.7 подано модель розподілу температур і напрямів повітряного потоку у кімнаті розміром 4×4 м, з огороженням у вигляді суцільного вікна (справа) та розміщеним під ним вбудованим підлоговим конвектором (внизу праворуч). Температурне поле представлено кольоровою шкалою, а напрям руху повітря – стрілками (векторним полем). Візуалізація імітує умови клімату м. Київ, при температурі зовнішнього повітря $-22\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Наявність висхідного теплового потоку вздовж вікна забезпечує локальну компенсацію теплових втрат через остіклення. Циркуляційна схема повітря в приміщенні є ознакою ефективного теплового режиму. Холодне повітря не потрапляє до зони перебування людини (до 1,5 м над рівнем підлоги), отже, тепловий комфорт гарантовано.

При значенні термічного опору скління $R_0 \geq 0,6\text{ м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$, вплив холодного потоку суттєво зменшується, і конвектор успішно блокує охолодження.

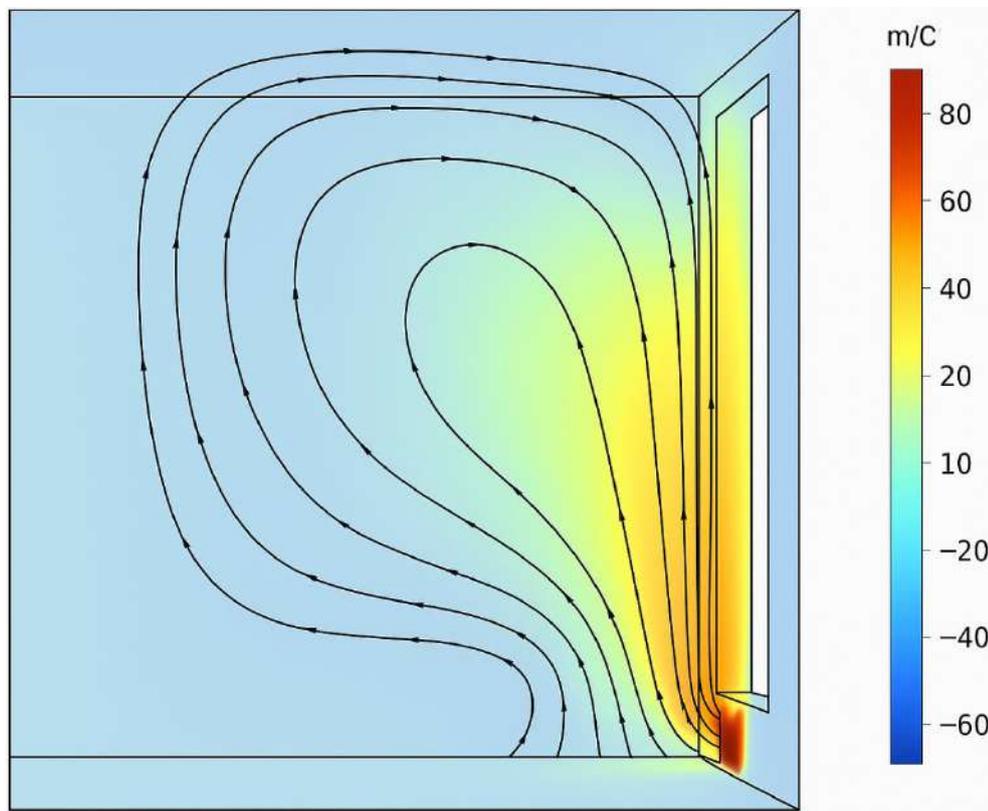


Рисунок 3.7 – Візуалізація температурного поля та повітряних потоків у кімнаті з остікленням і підлоговим конвектором

Отже, розміщення опалювальних приладів безпосередньо під вікнами має не лише традиційне, але й техніко-економічне обґрунтування. Така схема:

- мінімізує локальні тепловтрати через світлопрозорі огороження;
- сприяє підвищенню температурного комфорту у зоні перебування людей;
- забезпечує рівномірність повітряних потоків.

Таким чином, застосування теплотехнічного моделювання дозволяє на етапі проектування оптимізувати розташування опалювального обладнання й забезпечити енергоефективність експлуатації житлових будинків.

Для розрахунку системи водяного опалення в умовах міста Києва застосовано методіку теплотехнічного аналізу для приміщень із великим вертикальним склінням, де джерелом тепла є внутрішньопідлогові конвектори. Передбачено, що довжина кожного конвектора відповідає довжині скління, а його розташування – безпосередньо вздовж нижнього краю вікна.

З метою ефективного захисту приміщення від холодного повітря, що опускається вздовж внутрішньої поверхні вікна при зовнішній температурі -22°C (нормативна для Києва), внутрішньопідлогові конвектори мають розміщуватись не далі ніж на 400 мм від площини скління. За таких умов формується настилення теплого повітряного потоку вздовж вікна, що зменшує відчуття дискомфорту в зоні перебування людей.

Настилення теплого потоку на внутрішню поверхню вікна призводить до підвищення її температури, а отже – до інтенсифікації теплопередачі через скління. У зв'язку з цим загальні тепловтрати через вікно зростають, і цей ефект обов'язково слід враховувати при проектуванні систем опалення. За результатами моделювання, для умов Києва коефіцієнт збільшення теплових втрат становить у середньому від 1,11 до 1,25 залежно від термічного опору скління.

Для мінімізації тепловтрат і зменшення надлишкового навантаження на опалювальне обладнання доцільно застосовувати скління з підвищеним

опором теплопередачі. За проведеними розрахунками, найменші питомі втрати (з урахуванням дії конвектора) спостерігаються при $R_0 = 0,55\text{--}0,65 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$, коли коефіцієнт збільшення теплових втрат не перевищує 1,18. Саме такі показники теплоізоляції скління слід вважати оптимальними для умов клімату Києва при використанні внутрішньопідлогових конвекторів.

3.3 Розрахунок тепловтрат малоповерхового житлового будинку для кліматичних умов Київської області

У цьому розділі проведено теплотехнічний розрахунок для одноповерхового житлового будинку типу Varnhaus та будинку котеджного типу з газобетонних стін, з метою визначення загальних теплових втрат у кліматичних умовах Київської області. Цей розрахунок є основою для проектування ефективної системи опалення, яка повинна компенсувати тепловтрати через огорожувальні конструкції будівлі.

Вихідні дані:

1) Для проведення розрахунку тепловтрат використано кліматичні умови, характерні для Києва і для двох типів стін (рис. 3.8) [21, 51]:

- Розрахункова температура зовнішнього повітря: -22 °C .
- Середня температура в опалювальний період: -3 °C .
- Температура внутрішнього повітря: $+21 \text{ °C}$.
- Різниця температур ($t_{вн} - t_{зовн}$): 43 °C .
- Тривалість опалювального періоду: 180 діб.
- Градусо-добовий показник (ГДОП): $(21 - (-3)) \times 180 = 4320 \text{ °C} \cdot \text{доби}$.

2) Геометричні параметри будинку:

- Довжина – 11 м.
- Ширина – 8 м.
- Висота – 4 м.
- Площа зовнішніх стін – 120 м^2 .
- Площа вікон (панорамне скління) – 32 м^2 .

- Площа покриття (кровля) – 88 м².
- Площа підлоги над неопалюваним простором – 88 м².
- Загальна площа огорожувальних конструкцій – 240 м².

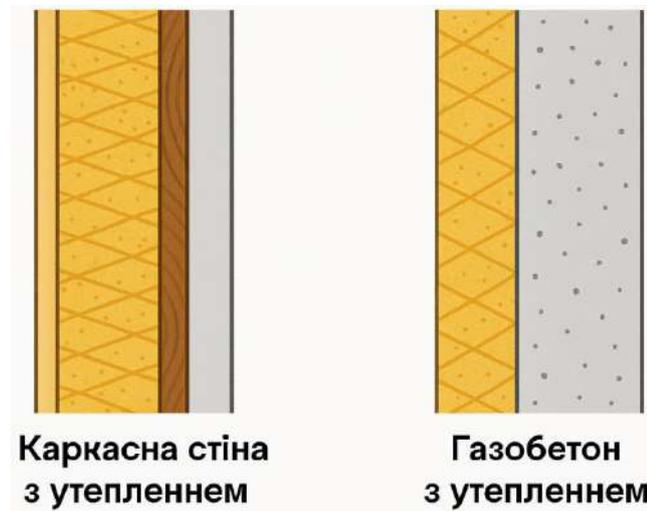


Рисунок 3.8 – Типи стін для розрахунку

Нормативні значення опору теплопередачі (за ДБН В.2.6-31:2021):

- Стіни – $R_n = 2,8 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$.
- Покриття – $R_n = 4,2 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$.
- Підлога – $R_n = 3,7 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$.
- Вікна – $R_n = 0,63 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$.

Вихідні коефіцієнти теплопередачі ($k = 1/R$):

- Вікна: $k = 1/0,63 = 1,47 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$.
- Каркасна стіна з утепленням (200 мм мінвати): $R = 5,49 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт} \rightarrow k = 0,182 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$.
- Газобетон (300 мм) з утепленням (100 мм): $R = 5,00 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт} \rightarrow k = 0,200 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$.
- Покриття та підлога (з урахуванням коеф. зниження теплопередачі 0,9): $R \approx 5,59 \rightarrow k = 0,179 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$.

Розрахунок теплових втрат

Варіант 1: Каркасний будинок

Розрахунок:

- Стіни:

$$Q = 120 \times 0,182 \times 43 = 940,6 \text{ Вт.}$$

- Вікна:

$$Q = 32 \times 1,47 \times 43 = 2017,3 \text{ Вт.}$$

- Покриття:

$$Q = 88 \times 0,179 \times 43 \times 0,9 = 607,4 \text{ Вт.}$$

- Підлога:

$$Q = 88 \times 0,179 \times 43 \times 0,9 = 607,4 \text{ Вт.}$$

Загальні тепловтрати:

$$Q_{\text{заг}} = 940,6 + 2017,3 + 607,4 + 607,4 = 4172,7 \text{ Вт.}$$

Варіант 2: Будинок з газоблоків із утепленням

Розрахунок:

- Стіни:

$$Q = 120 \times 0,200 \times 43 = 1032 \text{ Вт.}$$

- Вікна:

$$Q = 32 \times 1,47 \times 43 = 2017,3 \text{ Вт.}$$

- Покриття:

$$Q = 88 \times 0,179 \times 43 \times 0,9 = 607,4 \text{ Вт.}$$

- Підлога:

$$Q = 88 \times 0,179 \times 43 \times 0,9 = 607,4 \text{ Вт.}$$

Загальні тепловтрати:

$$Q_{\text{заг}} = 1032 + 2017,3 + 607,4 + 607,4 = 4264,1 \text{ Вт.}$$

Розрахункові тепловтрати будівлі у варіантах з каркасною стіною та газобетонною з утепленням не перевищують 4300 Вт, що дозволяє застосовувати систему низькотемпературного водяного опалення, зокрема систему теплої підлоги.

Незважаючи на дещо вищі втрати у варіанті з газоблоком, обидві конструкції забезпечують високий опір теплопередачі, що відповідає сучасним вимогам ДБН.

Дані розрахунки є основою для енергетичного моделювання об'єкта, добору елементів системи опалення та обґрунтування вибору конструктивного рішення з точки зору енергоефективності.

Варіант 1: Каркасна стіна з утепленням мінеральною ватою (200 мм)

За результатами моделювання температурних полів у програмному середовищі *Comsol Multiphysics* розраховано опір теплопередачі:

$$R=5,49\text{ м}^2\cdot\text{°C}/\text{Вт} \Rightarrow k=1/R\approx 0,182\text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{°C})$$

$$R = 5,49\text{ м}^2\cdot\text{°C}/\text{Вт} \Rightarrow k=1/R\approx 0,182\text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{°C}).$$

Варіант 2: Газобетонна стіна з утепленням (газобетон 300 мм + мінвата 100 мм):

$$R=5,00\text{ м}^2\cdot\text{°C}/\text{Вт} \Rightarrow k\approx 0,200\text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{°C})$$

$$R = 5,00\text{ м}^2\cdot\text{°C}/\text{Вт} \Rightarrow k\approx 0,200\text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{°C}).$$

Інші конструкції:

- Покриття: $R \approx 5,59 \rightarrow k \approx 0,179\text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{°C})$;
- Підлога: $R \approx 5,59 \rightarrow k \approx 0,179\text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{°C})$;
- Вікна (двокамерний енергозберігаючий склопакет):
 $R = 0,68 \rightarrow k \approx 1,47\text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{°C})$.

Формула для визначення тепловтрат [52]:

$$Q=k\cdot A\cdot\Delta t \tag{3.21}$$

де Q – тепловтрати, Вт;

k – коефіцієнт теплопередачі, $\text{Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{°C})$;

A – площа конструкції, м^2 ;

Δt – різниця температур між внутрішнім і зовнішнім середовищем, °C .

Розрахунок для кожного варіанта

Варіант 1: Каркасний будинок

- Стіни:

$$Q_{\text{стіна}} = 120 \times 0,182 \times 43 = 940,6\text{ Вт}.$$

- Вікна:

$$Q_{\text{вікна}} = 32 \times 1,47 \times 43 = 2017,3 \text{ Вт.}$$

- Покриття:

$$Q_{\text{дах}} = 88 \times 0,179 \times 43 \times 0,9 = 607,4 \text{ Вт.}$$

- Підлога:

$$Q_{\text{підлога}} = 88 \times 0,179 \times 43 \times 0,9 = 607,4 \text{ Вт.}$$

- Загальні втрати:

$$Q_{\text{заг}} \approx 4172,7 \text{ Вт.}$$

Варіант 2: Газобетон з утепленням

- Стіни:

$$Q_{\text{стіна}} = 120 \times 0,200 \times 43 = 1032,0 \text{ Вт.}$$

- Вікна: 2017,3 Вт.
- Покриття: 607,4 Вт.
- Підлога: 607,4 Вт.
- Загальні втрати:
- $Q_{\text{заг}} \approx 4264,1 \text{ Вт.}$

Таблиця 3.3 – Порівняльний аналіз

Параметр	Каркасна стіна	Газобетон + утеплення
Опір теплопередачі, R (м ² ·°C/Вт)	5,49	5,00
Коефіцієнт теплопередачі, k	0,182	0,200
Втрати через стіни, Вт	940,6	1032,0
Загальні втрати, Вт	4172,7	4264,1

Результати розрахунків засвідчують, що обидва варіанти будівель забезпечують високий рівень теплозахисту та повністю відповідають нормативним вимогам до енергоефективності. Тепловтрати не перевищують 4300 Вт, що дозволяє ефективно компенсувати їх за допомогою системи низькотемпературного водяного опалення, такої як «тепла підлога». Незначна

різниця між варіантами обумовлена більшою теплоємністю масивних матеріалів у конструкції з газобетону, однак каркасна стіна демонструє вищий питомий опір тепловтрат.

Ці результати є основою для подальшого енергетичного моделювання, визначення необхідної потужності джерела тепла, вибору обладнання та оцінки витрат на опалення протягом сезону.

Ось розраховані значення теплотехнічних параметрів для двох типів стін, показаних на схемі:

Каркасна стіна з утепленням (200 мм вата + 50 мм деревини)

- Опір теплопередачі $R \approx 6,05 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$.
- Коефіцієнт теплопередачі $k \approx 0,165 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$.
- Втрати тепла через стіни ($A = 120 \text{ м}^2$, $\Delta t = 43 \text{ °C}$): $Q = 853 \text{ Вт}$.

Газобетон з утепленням (газобетон 300 мм + вата 100 мм)

- Опір теплопередачі $R \approx 4,44 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$.
- Коефіцієнт теплопередачі $k \approx 0,225 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$.
- Втрати тепла через стіни ($A = 120 \text{ м}^2$, $\Delta t = 43 \text{ °C}$): $Q = 1163 \text{ Вт}$.

Таким чином, каркасна стіна з 200 мм утепленням має кращі теплозахисні характеристики, забезпечуючи зменшення втрат тепла приблизно на 310 Вт, що становить $\sim 27\%$ економії лише на зовнішніх стінах.

Результати розрахунку тепловтрат через інші огорожувальні конструкції будинку:

- Вікна (32 м^2) – 2023,5 Вт.
- Підлога (88 м^2) – 609,2 Вт.
- Покрівля (88 м^2) – 609,2 Вт.

Ці значення використовуються для підсумкового розрахунку загальних тепловтрат будинку.

Загальні тепловтрати будинку при температурній різниці 43 °C :

- Каркасний будинок з утепленням 200 мм + деревина 50 мм:

$Q_{\text{загальне}} \approx 4095 \text{ Вт}$.

- Будинок з газобетону 300 мм + утеплення 100 мм:

$Q_{\text{загальне}} \approx 4405 \text{ Вт.}$

Таким чином, каркасний будинок має менші загальні втрати тепла на $\approx 310 \text{ Вт}$, що еквівалентно $\sim 7\%$ зниження потреби в тепlopостачанні.

Порівняльні графіки та діаграми тепловтрат для каркасного будинку та будинку з газобетону за конструктивними елементами наведено в аркушах ГЧ.

3.4 Розрахунок часу охолодження будівлі без опалення для умов Києва

Критична температура внутрішнього повітря: $+8^\circ\text{C}$.

Початкова температура внутрішнього повітря: $+21^\circ\text{C}$.

Температура зовнішнього повітря (розрахункова для Києва): -22°C .

Для розрахунку використовується формула [52]:

$$z = \beta \cdot \ln \left(\frac{t_1 - t_{\text{н}}}{t_2 - t_{\text{н}}} \right)$$

де β – коефіцієнт акумуляції (год);

$t_1 = 21^\circ\text{C}$ – початкова температура повітря;

$t_2 = 8^\circ\text{C}$ – температура, до якої охолоджується;

$t_{\text{н}} = -22^\circ\text{C}$ – температура зовнішнього повітря.

Варіант 1. Каркасний будинок без масивної стяжки

$\beta = 14,15 \text{ год.}$

$$z = 14,15 \cdot \ln \left(\frac{21 - (-22)}{8 - (-22)} \right) = 14,15 \cdot \ln \left(\frac{43}{30} \right) \approx 14,15 \cdot 0,372 = \underline{5,26 \text{ год}}$$

Варіант 2. Каркасний будинок з масивною стяжкою з теплим водяним підлогою:

$\beta = 33,86 \text{ год.}$

$$z = 33,86 \cdot \ln \left(\frac{43}{30} \right) \approx 33,86 \cdot 0,372 = \underline{12,59 \text{ год}}$$

Варіант 3. Газобетонний будинок з утепленням (150 мм мінвата)

$\beta = 66,2 \text{ год}$

$$z = 66,2 \cdot \ln \left(\frac{43}{30} \right) \approx 66,2 \cdot 0,372 = \underline{24,63 \text{ год}}$$

Таблиця 3.4 – Порівняльна таблиця результатів для Києва

Тип конструкції	Коеф. акумуляції β , год	Час охолодження до +8°C, год	Середня швидкість охолодження, °C/год
Каркасний будинок без стяжки	14,15	5,26	2,47
Каркасний будинок з масивною стяжкою	33,86	12,59	1,03
Газобетон з утепленням (0,3+0,15 м)	66,2	24,63	0,53

Графік, що показує час охолодження до +8 °С для трьох типів конструкцій будівель у кліматичних умовах Києва, та теплові розрізистін і пілог наведено в ГЧ проекту. Найдовше тепло утримує будинок з газобетону з утепленням, найменше – каркасний без масивної стяжки. На графіку зображено температурний спад у приміщенні після вимкнення опалення для різних конструкцій будівель у кліматичних умовах Києва. Чітко видно: у каркасному будинку без стяжки температура опускається нижче +8 °С вже приблизно через 5 годин. У варіанті з масивною стяжкою – орієнтовно через 12 годин. У будинку з газоблоку з утепленням безпечна температура зберігається понад 18 годин.

Висновки до підрозділу 3

У результаті теплотехнічного аналізу зовнішніх огорожувальних конструкцій для двох варіантів будівель – каркасного та з газобетону з утепленням – було встановлено наступне:

1. Каркасна стіна з утепленням товщиною 200 мм у поєднанні з дерев'яною частиною забезпечує опір теплопередачі $R \approx 6,05 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$, що відповідає високим критеріям енергоефективності, перевищуючи нормативне

значення для Київської області. Загальні втрати тепла для такого будинку становлять ≈ 4095 Вт.

2. Стіна з газобетону товщиною 300 мм з утепленням 100 мм має нижчий опір теплопередачі $R \approx 4,44 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$, що також відповідає нормативам, проте характеризується більшими тепловими втратами – ≈ 4405 Вт. Збільшення товщини утеплювача до 150 мм дозволяє знизити ці втрати до рівня ≈ 4007 Вт, що навіть менше ніж у каркасному варіанті.

3. Найбільші теплові втрати для обох типів будівель припадають на віконні конструкції – понад 2020 Вт, тобто близько 50% від загального теплового навантаження. Це свідчить про доцільність використання енергоефективних склопакетів із покращеними характеристиками.

Втрати через підлогу та покрівлю є аналогічними (по 609 Вт), оскільки конструктивні рішення для цих елементів не змінювались між варіантами.

Отже, застосування каркасної конструкції з якісним теплоізоляційним шаром забезпечує кращу теплозахисну ефективність, однак за рахунок збільшення товщини утеплювача газобетонна стіна також може демонструвати порівнянні або навіть кращі показники.

Отримані результати можуть бути використані для остаточного вибору конструктивного рішення та проєктування енергоефективної системи опалення, зокрема – низькотемпературного водяного опалення типу «тепла підлога».

5. Методика базується на теплотехнічному моделюванні приміщень з остікленням висотою 4 м та внутрішньопідлоговими конвекторами, довжина яких дорівнює довжині вікон.

Розміщення конвектора не далі ніж 400 мм від скління дозволяє сформувати ефективну теплову завісу.

Вплив теплої повітряного потоку призводить до додаткових втрат через скління, які можуть зростати до 25%.

Оптимальні значення опору теплопередачі скління для умов Києва – , при яких, що дозволяє ефективно поєднувати тепловий комфорт і енергоефективність.

Розрахунок дозволяє інтегрувати вплив конвекторів на тепловий баланс будівлі та коректно підібрати характеристики огорожень у проектуванні систем опалення для умов Києва.

РОЗДІЛ 4

ТЕХНІЧНА ЧАСТИНА

4.1 Рішення генерального плану

4.1.1 Загальна характеристика земельної ділянки

Проектована будівля розміщується на земельній ділянці площею 0,06 га (6 соток), що має прямокутну конфігурацію. Територія розташована у межах житлової забудови та має зручний під'їзд з боку вулиці. На момент проектування ділянка не забудована, що дозволяє повністю реалізувати функціонально-планувальну концепцію з дотриманням чинних норм та санітарно-будівельних відстаней.

Згідно з даними Публічної кадастрової карти України, ділянка відноситься до земель житлової та громадської забудови, цільове призначення – будівництво і обслуговування житлового будинку, господарських будівель і споруд.

Генеральний план відповідає вимогам ДБН Б.2.2-12:2019 [53] та може бути прийнятий як основа для подальшого формування робочої проектної документації.

4.1.2 Планувальна організація території

Генеральний план виконано у масштабі 1:200. Він передбачає розміщення двоповерхового житлового будинку з гаражем та зонування прилеглої території за функціональним призначенням: житлова зона, зона в'їзду, зона відпочинку, озеленення, господарська частина.

Всі відстані до меж ділянки відповідають нормативам:

- до передньої межі – 3,0 м,
- до бічних меж – не менше 1,0 м,
- до задньої межі – понад 2,0 м.

Територія ділянки умовно розподілена на такі функціональні зони:

- Житлова забудова – 99,32 м².
- Замощення (під'їзди, тераси, доріжки) – 64,88 м².
- Озеленення (газони, кущі, дерева) – 250,80 м².
- Господарська зона (сміттєвий майданчик, можливе розміщення альтанки) – ≈185 м².

Забезпечено вільний підхід до вхідної групи будинку та безпечний заїзд у гараж без конфлікту з пішохідними маршрутами.

4.1.3 Елементи благоустрою та покриття

Проектом передбачено застосування сучасних матеріалів для зовнішнього благоустрою.

Тверді покриття виконуються з фігурних елементів мощення (ФЕМ) сірого кольору.

Озеленення передбачає влаштування газонів, посадку декоративних кущів та одне-два листяних дерева середнього розміру.

Гаражний заїзд облаштовується плитами типу ПГ 6-60.

Тераса з бруківки – у внутрішньому дворі біля виходу з вітальні.

Вздовж вимощення передбачено дощову каналізацію.

Прийняті рішення генерального плану забезпечують:

- ефективне використання земельної ділянки при компактній забудові;
- чітке функціональне зонування території;
- дотримання санітарно-будівельних та протипожежних відстаней;
- безпечне та зручне розміщення будівлі з урахуванням напрямків освітлення та інсоляції;
- органічне поєднання архітектури будинку з навколишнім середовищем.

4.2 Об'ємно-планувальні рішення модульного будинку

Проектована малоповерхова житлова будівля виконана у рамках концепції раціонального, енергоефективного та функціонально гнучкого житла для однієї сім'ї. Архітектурні рішення розроблені з урахуванням природного освітлення, інсоляції, компактності забудови та взаємозв'язку внутрішніх і зовнішніх функціональних зон [54].

Об'ємно-просторове вирішення

Будівля має одноповерхову конфігурацію з загальною висотою до покрівлі +5,895 м, що підтверджено на кресленнях фасадів та розрізів (див. аркуш ГЧ, фасади 1–5, А–Г, розрізи 1–1, 2–2). Об'єм будівлі зчитується як прямолінійний, із чітко окресленим даховим каркасом та сучасною лінійною композицією отворів.

У плані будівля наближена до прямокутної форми, що дозволяє ефективно організувати внутрішнє планування та сформувати дві тераси, які створюють напівзакриті простори відпочинку.

Габаритні розміри в осях становлять $14,0 \times 220$ м, що відповідає геометрії, відображеній у плані 1-го поверху (М 1:200). Основна висота приміщень – +2,800 м.

Планувальна схема будівлі передбачає централізований коридор, що поєднує всі основні приміщення. Приміщення згруповано за функціональними блоками:

Громадська зона: кухня-вітальня – 31,71 м², сполучена з терасами; тамбур – 11,62 м²; гардеробна – 6,53 м².

Приватна (нічна) зона: спальня 1 – 12,48 м²; ванна кімната – 6,22 м².

Кожне приміщення забезпечено природним освітленням за рахунок вікон у зовнішніх стінах. Вихід на тераси передбачено з вітальні, що дозволяє інтегрувати внутрішній та зовнішній простори. Тераси мають площу 6,21 м² та 13,22 м² відповідно.

Планувальні рішення орієнтовані на зручність щоденного користування, мінімізацію площ загального користування (коридорів), ефективну організацію зонування та адаптацію під потреби сім'ї із 2–3 осіб.

Загальна площа будівлі – 107,94 м²; житлова площа – 39,55 м².

Площа забудови – 82,66 м².

Об'ємно-планувальні рішення відповідають сучасним архітектурним тенденціям енергоефективного малоповерхового житла, забезпечують функціональну зручність, просторову логіку, достатній рівень інсоляції та доступність інженерних комунікацій. Будівля спроектована з урахуванням ДБН В.2.2-15:2019, ДБН В.2.6-31:2021, що забезпечує нормативну відповідність і архітектурну якість [21, 54].

Конструктивна схема проектованої будівлі – безкаркасна, панельна, з використанням SIP-панелей (Structural Insulated Panels) як основного огорожувального та несучого конструктивного елемента [17, 29]. Таке рішення забезпечує високу швидкість зведення, енергоефективність, простоту монтажу та відповідає сучасним вимогам щодо сталого індивідуального будівництва.

Тип фундаменту – стрічковий малозаглиблений, залежно від характеристик ґрунтів.

Глибина залягання: 1,2 м (нижче рівня промерзання).

Матеріал: монолітний залізобетон класу В20 (М250), армування арматурою А400 Ø12 мм;

Ширина фундаментної стрічки: 400 мм;

Підготовка: бетонна підготовка на щебеневій подушці 150–200 мм;

Гідроізоляція: обмазувальна бітумна гідроізоляція + горизонтальна гідроізоляція по ростверку з рулонних матеріалів (типу «Гідроізол»).

Основним конструктивним елементом зовнішніх та внутрішніх стін є SIP-панелі, які поєднують у собі функцію утеплення та несучої оболонки.

Конструкція SIP-панелі:

Зовнішні шари: орієнтовано-стружкова плита (ОСП-3), товщина – 12 мм.

Середній шар: утеплювач – пінополістирол EPS-150 товщиною 200–270 мм.

Загальна товщина панелі:

- зовнішні стіни – 270 мм;
- внутрішні стіни – 200 мм.

Стикові вузли виконані за системою «шип–паз», з додатковим проклеюванням та ущільненням монтажною піною. Панелі кріпляться до ростверка через оцинкований металевий перфорований профіль.

У зонах примикань вікон та дверей передбачено монолітні або дерев'яні підсилювальні елементи, які забезпечують жорсткість та можливість монтажу відкривних систем.

Тип перекриття – дерев'яне балкове перекриття з утепленням і пароізоляцією. Конструкція:

Несучі балки: дерев'яні, переріз 150×50 мм з кроком 600 мм;

Утеплення: мінеральна вата (ISOVER, URSA або аналог), товщина 200 мм; передбачено пароізоляційна плівка + гіпсокартон по обрешітці; зверху (по перекриттю) – чорнова підлога з ОСП-3 товщиною 15 мм + декоративне покриття (ламініат/дошка).

В зонах примикань перекриття до стін передбачено анкерне кріплення та роздільна гідроізоляція.

Покрівля – односхила (або плоска), утеплена, з водозбірною системою. Основні конструктивні елементи:

- крокви: дерев'яні балки 200×50 мм;
- утеплення: мінеральна вата товщиною 200 мм між кроквами;
- гідроізоляція: мембрана типу Tyvek;
- пароізоляція: всередині – плівка типу ISOVER Vario;
- покрівельне покриття: бітумна черепиця або металопрофіль (в залежності від рішення);

- карнизні звиси: 400–500 мм з водостічною системою.

Підлога по ґрунту влаштовується як бетонна підготовка товщиною 100 мм по піщано-щебеневій подушці; утеплення – пінополістирол ПСБ-С-35 товщиною 100–150 мм, стяжка з армуванням – 50 мм, чистове покриття – ламінат, плитка або лінолеум.

Віконні прорізи – металопластикові склопакети з профілем 5-камерним, енергозберігаючим склом, коефіцієнт теплопередачі $U \leq 1,1 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$.

Дверні прорізи зовнішні – металеві з терморозривом; внутрішні – МДФ.

Перемички – вбудовані в SIP або армовані дерев'яні/металеві вставки.

Стики між панелями герметизовані та ущільнені монтажною піною.

Кріплення SIP-панелей – саморізи по дереву, оцинковані кутики, монтажна фурнітура.

Монтаж здійснюється згідно з технологічною картою виробника SIP.

Запроєктовані конструктивні рішення забезпечують:

- надійну та стабільну несучу здатність будівлі за рахунок цілісності SIP-конструкції;

- енергоефективність завдяки безперервному утепленню зовнішніх огорожень;

- швидкий монтаж, зменшення обсягів мокрих процесів;

- відповідність чинним нормам ДБН В.2.6-31:2021, ДБН В.1.1-7:2016, ДСТУ-Н Б В.2.6-212:2016 [21, 55, 56].

Застосування SIP-панелей є обґрунтованим як з конструктивної, так і з економічної точки зору, дозволяє створити довговічну і енергоощадну споруду.

4.3 Архітектурні рішення будинку з газобетонних блоків

4.3.1 Загальна характеристика об'єкта

Проєктом передбачено нове будівництво двоповерхового житлового будинку із вбудованим гаражем. Будівля призначена для постійного

проживання однієї сім'ї та спроектована з урахуванням сучасних вимог до енергоефективності, ергономіки простору, інсоляції, інклюзивності та архітектурної виразності.

Основним матеріалом для зведення зовнішніх стін обрано газобетонні блоки товщиною 300 мм, що забезпечують необхідні показники міцності, теплоізоляції та економічності.

4.3.2 Об'ємно-планувальні рішення

Будівля має компактну прямокутну форму з виступаючим об'ємом вбудованого гаража та балконом на другому поверсі. Конфігурація об'єму дозволяє оптимізувати площу забудови та забезпечити зручне функціональне зонування.

Планування передбачає:

- на першому поверсі – зону денного перебування: вітальню, кухню, санвузол, гараж, технічне приміщення, комору;
- на другому поверсі – зону нічного перебування: три спальні, хол, санвузол.

Загальна площа будівлі – 152,24 м².

Площа забудови – 99,32 м².

Поверховість – 2 поверхи.

Житлова площа – 38,22 м².

Комунікаційні зв'язки між приміщеннями є логічними та зручними. Забезпечено максимальне природне освітлення основних приміщень, що орієнтовані на південь і схід.

4.3.3 Конструктивно-архітектурні рішення

Конструктивно-архітектурні рішення розроблено відповідно до принципів раціональності, економічності, довговічності та відповідності нормативним вимогам, з урахуванням кліматичних умов регіону та характеристик обраного матеріалу – газобетонних блоків. Будівля проєктована

за безкаркасною стіною системою, де основне навантаження сприймають несучі зовнішні й внутрішні стіни.

Тип фундаменту – монолітний стрічковий залізобетонний, заглиблений нижче рівня промерзання ґрунту.

Глибина закладення: 1,80 м від рівня чистої підлоги.

Ширина стрічки: 400 мм.

Бетон: клас В20, морозостійкість F100, водонепроникність W4.

Армування: сітка із сталеві арматури класу А500С Ø12 мм у два пояси.

Від ґрунтів фундамент ізольовано гідроізоляційною плівкою та шаром бетонної підготовки на ущільненій щебеневій подушці.

Зовнішні несучі стіни з газобетонних блоків товщиною 300 мм, щільність D400. Утеплення: пінополістирол товщиною 100 мм (EPS-70).

Оздоблення: силіконова декоративна штукатурка на армуючій сітці з клеєм;

Пароізоляція: з внутрішнього боку – паробар'єр типу ISOVER Vario.

Стіни мають шарову структуру, що забезпечує високі теплозахисні показники ($R \geq 4,0 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$), що відповідає сучасним вимогам енергоефективності згідно з ДБН В.2.6-31:2021.

Внутрішні несучі стіни з газобетонних блоків товщиною 200 мм;

Штукатурка: внутрішнє оздоблення – гіпсова штукатурка по маяках.

Перегородки товщиною 100 мм.

Матеріал: газобетон або гіпсокартон по металевому каркасу (у санвузлах).

Плити перекриття збірні залізобетонні багатопустотні плити згідно. Основні марки: ПК 45-15, ПК 47-12, ПК 24-12. Опирання плит – по несучих стінах на шар розчину товщиною 20 мм. Монтаж – з дотриманням проектної нумерації, із замоноличенням швів. На перекриття укладається армована цементна стяжка товщиною 50 мм з звукоізоляційною підкладкою (URSA або аналог).

Тип покрівлі – плоска, з незначним ухилом до внутрішнього водостоку.

Покрівельний пиріг (знизу вгору):

- пароізоляція (типу Ruberoid або Delta Reflex);
- монолітна залізобетонна плита перекриття;
- утеплювач – мінеральна вата товщиною 200 мм (двошаровий монтаж);
- гідроізоляційний шар – ПВХ-мембрана;
- фінішне покриття (щебінь, гравій або бетонна стяжка).

Організовано внутрішній водовідвід через водоприймальні воронки до стояків каналізації.

Вікна – металопластикові енергозберігаючі, двокамерні склопакети з напиленням Low-E, колір профілю – сірий;

Вхідні двері металеві утеплені з терморозривом, внутрішні двері – ламіновані МДФ. Всі прорізи проармовані сіткою у шарі штукатурки, над вікнами – монолітні перемички.

Внутрішні міжповерхові сходи монолітні залізобетонні на косоурах, ширина маршу – 1,0 м; оздоблення – дерев'яні сходинки з підсвіткою підступенків.

Чиста висота 1-го та 2-го поверху – 2,80 м. Висота до покрівлі – 6,00 м. Висота цоколя – 450 мм.

Всі елементи архітектурно-конструктивного рішення погоджені з розділом інженерних мереж, враховано розміщення комунікацій, вентиляційних шахт та опалювальних приладів.

4.3.4 Оздоблення фасадів

Архітектурне рішення фасадів ґрунтується на принципах сучасного мінімалізму з поєднанням контрастних кольорів та фактур. Оздоблення передбачає:

- основне оздоблення – фасадна штукатурка світло-сірого кольору;
- акцентні зони – декоративна штукатурка бежевого кольору;
- цоколь – темно-сіра штукатурка з вологозахисною обробкою;

- вікна – металопластикові конструкції сірого кольору з енергозберігаючими склопакетами;

- огороження балкону – комбіноване: профлист і скло.

Ритмічне розміщення вікон, вертикальні і горизонтальні членування, виступаючі елементи та балкон формують архітектурну виразність об'єкта.

Будівля проєктувалася з урахуванням вимог ДБН В.2.6-31:2021 та ДБН В.2.6-33:2018 щодо енергоефективності житлових споруд. Зовнішні стіни, перекриття, покрівля та вікна відповідають класу енергоефективності не нижче "В", що забезпечує зменшення тепловтрат та економію енергоресурсів.

Для покращення теплозахисту застосовано:

- утеплення зовнішніх стін пінополістиролом 100 мм;
- використання енергозберігаючих вікон з двокамерними склопакетами;
- утеплення перекриття по покрівлі – 200 мм мінеральна вата.

4.4 Технологічна карта на влаштування електричної теплої підлоги

4.4.1 Вихідні дані

У рамках проєктного рішення передбачено влаштування електричної теплої підлоги кабельного типу в одноповерховій житловій будівлі. Тепла підлога слугуватиме основним джерелом тепла в приміщеннях загального користування. Конструктивною основою є бетонна монолітна плита, що забезпечує надійну основу під нагрівальну систему. Загальна площа монтажу системи становить 121,9 м².

Під фінішне покриття (керамічна плитка, ламінат) передбачено укладання цементно-піщаної стяжки товщиною 50 мм із армуванням. Система включає: нагрівальний кабель, терморегулятори з датчиками температури, фольгований утеплювач, армувальну сітку, маяки [57-59]. Система включає:

- нагрівальний двожильний кабель;
- терморегулятор із вбудованим датчиком температури;
- теплоізоляційний шар (пінополістирол);

- цементно-піщану стяжку товщиною 50 мм;
- армуючу сітку для підвищення жорсткості конструкції.

4.4.2 Обсяги робіт

Площа теплої підлоги – 121,9 м².

Утеплення – пінополістирол товщиною 30 мм.

Гідроізоляція – поліетиленова плівка.

Армування – сітка зі сталевого дроту з осередком 50×50 мм.

Нагрівальний кабель – 731,4 м (орієнтовно).

Кількість терморегуляторів – 5 шт (по зонах).

Стяжка – цементно-піщана, товщина 50 мм.

4.4.3 Технологічна послідовність виконання робіт

Технологічний процес влаштування електричної теплої підлоги складається з кількох послідовних етапів, які повинні виконуватись у суворій відповідності до проєктної документації та нормативно-технічних вимог норм [21, 51, 55, 56, 63-65]. Нижче подано покроковий опис кожної операції [58-62].

1. Підготовка основи включає очищення бетонної плити від пилу, бруду, залишків будівельних сумішей, видалення напливів, вирівнювання нерівностей, заповнення тріщин ремонтним розчином. За потреби – шліфування або фрезерування поверхні.

2. Грунтування основи: нанесення ґрунтовки глибокого проникнення (напр. Ceresit СТ 17) валиком або пензлем. Час висихання – згідно з інструкцією виробника (зазвичай 4–6 годин). Мета – покращення адгезії ізоляційних матеріалів до основи.

3. Влаштування гідроізоляції включає укладання поліетиленової плівки товщиною не менше 150 мкм. Плівка укладається з нахльостом не менше 100 мм і заводиться на стіни на висоту 100 мм. Стики проклеюються будівельним скотчем для герметичності.

4. Укладання теплоізоляційного шару включає монтаж пінополістирольних плит товщиною 30 мм по всій площі підлоги. Фольговану сторону (якщо є) орієнтувати вгору. Між плитами – щільне прилягання без зазорів. Влаштування демпферної стрічки по периметру приміщення.

5. Укладання армуючої сітки: монтаж сталеві сітки з осередком 50×50 мм поверх утеплювача; кріплення до основи пластиковими кліпсами або спеціальними підставками; сітка забезпечує жорсткість конструкції стяжки.

6. Розкладка нагрівального кабелю

Кабель розкладається змійкою або спіраллю відповідно до теплотехнічного розрахунку, відстань між нитками – 100–120 мм, відступ від стін та інших конструкцій – не менше 100 мм.

Кріплення до армуючої сітки пластиковими стяжками.

Заборонено перехрещення кабелів та їх перетягування.

7. Монтаж температурного датчика

Термодатчик уводиться у гофротрубку (мінімум 2 м). Один кінець труби розміщується в центрі між двома витками кабелю. Інший – під'єднується до терморегулятора, розміщеного на стіні. Обов'язкове тестування на опір і ізоляцію.

8. Встановлення маяків

Металеві маяки встановлюються на розчин через кожні 1,2–1,5 м. По маяках виставляється рівень майбутньої стяжки. Контроль горизонтальності лазерним нівеліром.

9. Влаштування цементно-піщаної стяжки

Приготування розчину з цементу М400, піску, води та пластифікатора. Укладання розчину між маяками. Розрівнювання правилом, ущільнення віброрейкою. Товщина стяжки – не менше 50 мм над кабелем.

10. Догляд за стяжкою

Покриття плівкою для захисту від пересихання. Витримка не менше 28 діб до повного набору міцності. У цей період забороняється включення теплої підлоги.

11. Підключення системи

Перевірка опору кабелю ще раз після висихання стяжки. Монтаж терморегулятора в монтажну коробку. Вмикання системи не раніше ніж через 28 діб після стяжки. Цей підрозділ відповідає ДБН В.2.6-22-2001, ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 та чинним правилам монтажу електричних систем.

4.4.4 Організаційні заходи

Ефективна організація виконання робіт із влаштування електричної теплої підлоги є невід'ємною частиною загального технологічного процесу та спрямована на досягнення високої якості кінцевого результату при дотриманні всіх вимог безпеки та будівельних норм. Основна мета організаційних заходів полягає у створенні умов для чіткої, послідовної та раціональної реалізації кожного етапу монтажу системи опалення з урахуванням просторово-технічних особливостей об'єкта та техніко-економічних обмежень.

Перед початком робіт виконується підготовка будівельного майданчика. Приміщення повністю очищується від залишків будівельного сміття, а матеріали завозяться та розміщуються у зручних для роботи ділянках приміщення з дотриманням умов зберігання. Забезпечується електроживлення напругою 220 В із захисним заземленням. У приміщенні облаштовується тимчасове робоче освітлення, що дозволяє безпечно проводити монтаж у місцях без природного світла. Усі роботи плануються так, щоб доступ до дверей, вентиляційних отворів та електричних розеток залишався відкритим.

Важливим етапом є технічне забезпечення. На об'єкті застосовуються лише сертифіковані матеріали та системи, що мають відповідну технічну документацію. Інструмент проходить технічну перевірку перед початком робіт, особливо ті, що мають електроживлення або взаємодіють із теплоізоляційними матеріалами. Бригади, що виконують монтажні операції, проходять первинний інструктаж і працюють згідно з технологічними картами та графіками, які попередньо затверджуються майстром або виконробом.

Під час організації робочих зон чітко виділяються зони для розкладки матеріалів, підготовки розчинів, зберігання інструменту. Уся робоча документація (схеми укладання кабелю, опору кабелів, карти армування) розміщується на стендах або інформаційних щитах, доступних для ознайомлення всіма учасниками процесу. Ведеться журнал авторського нагляду та журнал виконаних робіт згідно з ДСТУ-Н Б А.3.1-23:2013 [66].

Контроль якості здійснюється на кожному етапі. Перед укладанням кабелю перевіряється правильність розташування утеплювача, горизонтальність основи, щільність прилягання плівки, цілісність армувальної сітки. Кабель кріпиться з дотриманням технологічної відстані між витками, без перехрещень та механічних пошкоджень. Встановлення температурного датчика здійснюється в гофротрубці, яка забезпечує можливість його демонтажу в разі поломки. Перед заливкою стяжки обов'язково проводиться проміжне вимірювання опору кабелю та перевірка датчика температури.

Графік виконання робіт розробляється із урахуванням технічних характеристик матеріалів та тривалості набору міцності бетонної стяжки. Загальна тривалість монтажу теплої підлоги включно з витримкою стяжки становить 34 календарні дні. При цьому основні монтажні операції виконуються протягом перших п'яти діб, решта часу передбачена на тверднення та сушіння стяжки з відповідним технічним доглядом [67].

Таким чином, правильно організовані заходи забезпечують безперервність монтажного процесу, зменшують кількість помилок і простоїв, підвищують якість виконання робіт, а також гарантують безпечні умови праці відповідно до чинного законодавства України у сфері будівництва.

4.4.5 Матеріально-технічне забезпечення

Для забезпечення належного виконання технологічного процесу влаштування електричної теплої підлоги необхідно передбачити наявність повного комплексу матеріалів, виробів, інструментів та механізмів, які відповідають проєктним характеристикам і вимогам чинних стандартів.

Виходячи з загальної площі укладання 121,9 м², обсяг матеріально-технічних ресурсів розраховується відповідно до норм і технічних карт, адаптованих до українських умов будівництва.

Основу матеріального забезпечення становить система нагрівальних кабелів, що укладаються по сітці на шар утеплювача. Для утеплення використовується пінополістирольна плита товщиною 30 мм, що забезпечує необхідний тепловий бар'єр між бетонною основою та кабельною системою. Поверх неї укладається армуюча сітка зі сталевого дроту Ø3 мм із чарунками 50×50 мм. Загальна площа сітки становить не менше ніж 125 м², що забезпечує перекриття з запасом для стиків і монтажу. Нагрівальні кабелі розраховані із середньою питомою потужністю 160 Вт/м², що становить загальну потужність 19,5 кВт.

Додатково використовується температурний датчик у гофрованій трубці, електронний терморегулятор, монтажна коробка та електричні сполучні елементи. Для електробезпеки передбачається заземлення системи, захист через УЗО, а також автоматичні вимикачі на силову лінію.

Для формування цементно-піщаної стяжки товщиною 5 см передбачено використання бетону класу В15. На площу 121,9 м² при товщині шару 50 мм потрібно 6,10 м³ розчину. У разі використання суміші з готових сухих компонентів витрати складають близько 110 кг/м², тобто орієнтовно 13,41 тонни готової сухої суміші. Також передбачене використання армувального фіброволокна для зменшення ризику тріщиноутворення.

Із допоміжних матеріалів застосовуються: гідроізоляційна поліетиленова плівка (шириною 2 м, товщиною 150 мкм) – загальною площею 130 м²; демпферна стрічка по периметру – близько 55 пог. м; будівельна ґрунтовка – ≈20 л. Всі матеріали мають відповідати вимогам ДСТУ Б В.2.7-145:2008, ДСТУ Б В.2.7-64-97 та супроводжуватися сертифікатами якості.

Матеріально-технічне забезпечення передбачає також залучення необхідного інструменту: лазерного рівня для контролю горизонту, будівельного міксера, відра для приготування розчину, ручного вібратора або

віброрейки, набірною правилами, ножиць по металу, перфоратора, шуруповерта, інфрачервоного термометра, тестера опору та ІЧ-камери (за наявності). Всі інструменти повинні бути перевірені перед початком робіт, а електроінструменти – протестовані на відсутність пробую та справність кабелів живлення.

Забезпечення безперервного та ефективного процесу монтажу передбачає своєчасну доставку всіх компонентів на будівельний майданчик. При цьому здійснюється контроль кількості та якості отриманих матеріалів за актом приймання-передачі, а складські запаси ведуться за попередньо затвердженим графіком використання.

Таким чином, повноцінне матеріально-технічне забезпечення є запорукою виконання робіт у визначені строки з належним рівнем якості, безпеки та відповідності вимогам будівельних норм. Воно формує основу для подальшої реалізації об'єкта без ризиків простоїв або технологічних порушень.

4.4.6 Калькуляція матеріалів і витрат

Розрахунок кількості основних матеріалів та витрат на влаштування системи електричної теплої підлоги здійснено на основі узагальненої площі укладання 121,9 м². Калькуляція виконана відповідно до нормативних витрат матеріалів, адаптованих до умов будівництва в Україні, з урахуванням технологічних витрат і коефіцієнтів запасу [68-70].

Найбільш матеріаломістким етапом є формування цементно-піщаної стяжки, товщиною 50 мм, поверх нагрівального кабелю. Для цього необхідно приблизно 6,10 м³ бетонної суміші класу В15. У разі використання готової сухої суміші для стяжки, витрати складають близько 110 кг/м², що еквівалентно 13,41 т (≈536 мішків по 25 кг).

Гідроізоляційна поліетиленова плівка товщиною 150 мкм укладається суцільним шаром із перехльостом не менше 10 см. Загальна потреба становить приблизно 130 м². Демпферна стрічка товщиною 8–10 мм встановлюється по

периметру приміщення для компенсації температурних розширень, загальна довжина – ≈ 55 погонних метрів.

Утеплювач у вигляді пінополістирольних плит товщиною 30 мм укладається суцільно на площу 121,9 м². Для армування використовується сітка з металевого дроту Ø3 мм, з розмірами чарунок 50×50 мм. Площа армування становить ≈ 125 м² з урахуванням перетину та нахлестів.

Монтаж системи обігріву передбачає укладку нагрівального кабелю із питомою потужністю 160 Вт/м². Для площі 121,9 м² сумарна потужність складає 19,5 кВт. У комплект постачання включено терморегулятор, температурний датчик у гофрованій трубці, монтажні комплекти та інструкції. Для підключення до електромережі передбачається окремий автоматичний вимикач (типу С16), УЗО з номінальним струмом 25 А, мідний кабель ВВГнг-Лs 3×2,5 мм², довжиною ≈ 30 м.

Витрати допоміжних матеріалів включають: ґрунтовку глибокого проникнення – ≈ 20 л; фіброволокно – ≈ 3 кг (дозування 0,25 кг/м³ розчину); монтажні елементи – ≈ 2 мішки дюбелів, шурупів, кліпс.

У підсумку, наведена нижче таблиця 4.1 відображає підраховані витрати матеріалів.

Таблиця 4.1 – Витрати матеріалів

№	Найменування	Одиниця	Кількість
1	Утеплювач (пінополістирол, 30 мм)	м ²	121,9
2	Гідроізоляційна плівка (150 мкм)	м ²	130,0
3	Демпферна стрічка	м.п.	55,0
4	Армуюча сітка Ø3 мм	м ²	125,0
5	Нагрівальний кабель (160 Вт/м ²)	кВт	19,5
6	Цементно-піщана суміш	кг	13 410
7	Терморегулятор з датчиком	комплект	1
8	Фіброволокно	кг	3,0
9	Ґрунтовка глибокого проникнення	л	20,0
10	Електрокомплект (УЗО, автомат, кабель)	комплект	1
11	Кріплення (шурупи, кліпси тощо)	мішок	2

Таким чином, здійснений розрахунок дозволяє обґрунтовано сформулювати заявку на постачання матеріалів, розрахувати логістику доставки та підготувати об'єкт до монтажу без ризиків затримки чи дефіциту ресурсів. Усі розрахунки є актуальними для об'єкта з площею системи теплої підлоги 121,9 м².

4.4.7 Контроль якості виконання робіт

Забезпечення високої якості монтажу системи електричної теплої підлоги вимагає чітко налагодженого контролю на всіх етапах технологічного процесу. Контроль якості виконується відповідно до вимог ДСТУ-Н Б А.3.1-23:2013 [66] та інших чинних нормативних документів. Метою контролю є своєчасне виявлення можливих відхилень від проєктних параметрів та запобігання дефектам, що можуть вплинути на надійність і ефективність роботи системи.

Перед початком робіт виконується перевірка відповідності отриманих матеріалів проєктно-кошторисній документації. Особлива увага приділяється відповідності характеристик нагрівального кабелю, терморегулятора, теплоізоляційного матеріалу, армуючої сітки та сумішей для стяжки. Усі матеріали повинні мати сертифікати відповідності, маркування та технічні паспорти.

Після підготовки основи проводиться візуальна та інструментальна перевірка її горизонтальності, відсутності тріщин та деформацій. Перед укладанням гідроізоляційної плівки перевіряється герметичність з'єднань і перекриття швів. Укладання утеплювача та армуючої сітки здійснюється з перевіркою повного прилягання до основи та дотримання схеми укладання без зміщень або зазорів.

У процесі монтажу кабелю контролюється відстань між витками, цілісність оболонки, відсутність згинів, перехрещень та перегинів кабелю. Після укладання виконується первинне вимірювання електричного опору та ізоляції, результати якого фіксуються в журналі авторського нагляду.

Значення опору мають відповідати паспортним даним з допустимим відхиленням не більше $\pm 5\%$.

Установлення датчика температури проводиться в гофрованій трубці, що дозволяє його подальшу заміну без демонтажу системи. Після закріплення кабелю та монтажу маяків перевіряється правильність їх розміщення та загальна площинність майбутньої стяжки. Перед заливкою суміші перевіряється працездатність кабелю повторним виміром опору.

Після заливки стяжки виконується її візуальний контроль на предмет однорідності, відсутності тріщин, пустот і провалів. Під час тверднення контролюється дотримання температурно-вологісного режиму, не допускається пересихання або промерзання шару. Усі дії реєструються в журналі виконаних робіт.

Після повного набору міцності (через 28 діб) виконується пробний пуск системи з подальшим перевірянням стабільності температурного режиму на поверхні. У випадку виявлення відхилень проводиться діагностика по зонах із застосуванням інфрачервоної камери або термометра.

Таким чином, контроль якості забезпечує відповідність усіх елементів системи проєктним параметрам, нормативам безпеки та експлуатаційної надійності. Його реалізація гарантує безпечну, енергоефективну та довговічну роботу електричної теплої підлоги в житловому будинку.

4.4.8 Охорона праці та безпека під час виконання робіт

Питання охорони праці під час монтажу електричної теплої підлоги набувають особливого значення через поєднання будівельних та електротехнічних операцій. Роботи супроводжуються використанням електроінструменту, монтажем силового кабелю, контактом з цементними сумішами та виконанням операцій у закритих приміщеннях. Тому основною метою системи охорони праці є створення безпечних умов праці, запобігання нещасним випадкам і професійним захворюванням.

Відповідно до вимог Закону України «Про охорону праці» та ДСТУ ISO 45001:2019 [71], організація робіт передбачає проведення інструктажів з техніки безпеки, медичний огляд працівників, видачу засобів індивідуального захисту та контроль дотримання нормативних документів. До початку робіт усі виконавці повинні пройти вступний і первинний інструктаж на робочому місці з реєстрацією в журналі [55, 64].

На об'єкті необхідно забезпечити справний електроінструмент, заземлення всіх приладів та захист від короткого замикання за допомогою пристроїв захисного вимкнення (УЗО). Монтаж електричних кабелів дозволено виконувати лише працівникам з групою допуску не нижче II згідно з Правилами безпечної експлуатації електроустановок споживачів (ПБЕЕС). Перед початком робіт перевіряється справність ізоляції та відсутність пошкоджень кабелю [65].

Під час виконання бетонних робіт обов'язковим є використання захисного одягу (комбінезону), гумових чобіт, рукавиць, захисних окулярів і респіратора при роботі з сухими сумішами. У разі ручного замішування розчину необхідно уникати вдихання пилу та прямого контакту з цементом, який має лужну реакцію і може спричинити хімічні опіки.

Робоча зона повинна бути добре освітлена, мати належну вентиляцію, рівне покриття без сторонніх предметів і вільний прохід до евакуаційних виходів. Забороняється зберігання електричних кабелів у місцях контакту з водою чи вологою основою.

Після укладання електричних елементів і до заливки стяжки категорично забороняється вмикання системи під напругою – увімкнення проводиться лише після повного затвердіння покриття та завершення всіх монтажних робіт [65].

Контроль за виконанням вимог з охорони праці покладається на відповідальну особу, призначену наказом. Усі випадки порушень фіксуються в журналі щоденного технічного нагляду з подальшим усуненням виявлених недоліків [64].

Таким чином, дотримання вимог охорони праці забезпечує не лише безпеку учасників будівництва, а й гарантує довговічну, безаварійну експлуатацію встановленої системи електричної теплої підлоги.

Висновки до розділу 4

У даному розділі було розглянуто повний технологічний цикл виконання робіт з влаштування електричної теплої підлоги на об'єкті загальною площею 121,9 м². Детально проаналізовано технологічну послідовність монтажу, організаційні та матеріально-технічні аспекти, а також питання контролю якості та охорони праці.

На основі виконаних розрахунків встановлено, що обсяги матеріалів та трудових ресурсів відповідають нормативним вимогам і забезпечують надійність та енергоефективність системи. Вибір електричного кабелю з питомою потужністю 160 Вт/м² забезпечує комфортний рівень обігріву, а використання якісного утеплювача, гідроізоляції та армування гарантує довговічність конструктивного шару.

Розроблена технологічна карта влаштування електричної теплої підлоги дозволяє організувати процес монтажу з мінімальними технологічними ризиками, чіткою логістикою та раціональним використанням ресурсів. Схема послідовності операцій та відповідна блок-схема підтверджують логічність етапів і можливість їх оптимізації у практичній реалізації.

Особливу увагу приділено заходам з охорони праці, що є критично важливими при виконанні електромонтажних і бетонних робіт у житлових будівлях. Дотримання вимог безпеки, правильна експлуатація інструменту та організація робочого простору дозволяють мінімізувати професійні ризики та забезпечити безпечні умови праці.

РОЗДІЛ 5

ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

В економічному розділі визначено вартість будівництва будинку з влаштуванням опаленням електричними конверторами і з системою опалення – тепла підлога [68-70].

5.1 Розрахунок витрат матеріалів для варіанту – електрична тепла підлога

Для розрахунків візьмемо середній варіант: покривається 100 м² з 121,9 м² (із розрахунку площ приміщень будинку технічної частини магістерської роботи).

1. Нагрівальні мати або кабелі – готові мати (з кабелем всередині): прості в монтажі. Потужність: зазвичай 150 Вт/м².

Потрібно: $100 \text{ м}^2 \times 150 \text{ Вт} = 15\,000 \text{ Вт} = 15 \text{ кВт}$.

Можна купити комплекти матів на: 1 м², 2 м², 3 м², 5 м², 10 м² тощо.

Варіант: $5 \times 10 \text{ м}^2 \text{ матів} + 2 \times 5 \text{ м}^2 + 5 \times 2 \text{ м}^2 = 100 \text{ м}^2$

2. Терморегулятори (термостати) – кількість зон управління: залежить від планування. Рекомендовано: 1 термостат на 15–20 м².

Потрібно: 5–7 штук.

3. Теплоізоляція (для підлоги) – використовується під мати для збереження тепла. Наприклад: пінополістирол + фольгована підкладка, товщина 3–5 мм.

Потрібно: 100–110 м²

4. Монтажна сітка або стрічка (для кабелю, якщо не мати) - якщо використовуються кабелі, а не мати – їх треба кріпити. Стрічка укладається з кроком 50 см.

Потрібно: $\sim 100 \text{ м}$ (або монтажна сітка 100 м²).

5. Гофротрубка для датчика температури підлоги – зазвичай 1 м на кожен термостат.

Потрібно: 5–7 м.

6. Поліетиленова плівка – гідроізоляція під теплоізоляцію.

Потрібно: 100–110 м².

7. Стяжка або плитковий клей – якщо тепла підлога під плитку – потрібен шар клею або стяжки 1–3 см. Розхід клею: ~4–5 кг/м².

Потрібно: 400–500 кг клею (20–25 мішків).

Зведений розрахунок кількості матеріалів для будинку площею 121,9 м² представлений в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Зведений розрахунок кількості матеріалів для влаштування теплої підлоги

Матеріал	Кількість	Примітки
Нагрівальні мати (150 Вт/м ²)	100 м ² (≈15 кВт)	Краще купувати наборами
Терморегулятори	5–7 шт.	Залежно від кількості зон
Теплоізоляція	100–110 м ²	Фольгована або тонкий утеплювач
Монтажна стрічка/сітка (за потреби)	~100 м	Якщо не використовуються мати
Гофротруба для датчика	5–7 м	Для температурного сенсора
Поліетиленова плівка	100–110 м ²	Гідроізоляція
Клей або стяжка	400–500 кг	Для покриття зверху

Орієнтовна вартість станом на 2025 рік наведена в таблиці 5.2.

Загальна вартість матеріалів для влаштування теплої підлоги за результатами розрахунку таблиці 5.2 становить 78000 – 96000 грн (без вартості роботи).

Таблиця 5.2 – Кошторисна вартість матеріалів для влаштування теплої підлоги

Матеріал	Ціна за одиницю	Загальна вартість, грн
Нагрівальні мати Вт/м ²)	500–700 грн/м	60 000–70000
Терморегулятори	1500–2500 грн	10000–15000
Теплоізоляція	40–60 грн/м ²	4000–6000
Монтажна стрічка/сітка (за потреби)	3–5 грн/м	300–500
Гофротруба для датчика	10–20 грн/	100–150
Поліетиленова плівка	5–7 грн/м ²	500–700
Клей або стяжка	150–180 грн/мішок	3500–4500

Розрахунок кошторисної вартості робіт на 121,9 м² (електрична тепла підлога) із урахуванням основних етапів монтажу наведена в таблиці 5.3.

Таблиця 5.3 – Кошторисна вартість монтажу теплої підлоги

Робота	Ціна (грн/м ²)	Вартість для 100 м ²
Монтаж нагрівальних матів або кабелю	150–200 грн/м ²	15000 – 20000 грн
Монтаж теплоізоляції	30–50 грн/м ²	3000 – 5000 грн
Монтаж терморегуляторів та датчиків	500–700 грн/шт	2500 – 5000 грн (5–7 зон)
Стяжка або укладання плитки	250–400 грн/м ²	25000 – 40000 грн

Підсумкова кошторисна вартість влаштування теплої підлоги на основі проведених розрахунків в таблицях 5.2 та 5.3 представлена в таблиці 5.4.

Таблиця 5.4 – Підсумкова таблиця влаштування теплої підлоги для запроектованого будинку

Категорія	Кошторисна вартість
Матеріали	78000 – 96000 грн
Роботи (монтаж)	45000 – 70000 грн
Загалом	123000 – 166000 грн

За результатами проведених розрахунків повна кошторисна вартість електричної теплої підлоги "під ключ" на 121,9 м² становить приблизно 123 000 – 166 000 грн, залежно від: типу покриття (стяжка чи плитка), якості матеріалів, складності зонування.

5.2 Розрахунок витрат матеріалів для варіанту – влаштування електричних конвекторів

Стандартна потреба в опаленні – 100 Вт/м² для добре утепленого будинку або 120–150 Вт/м² – для гірше утеплених.

$$121,9 \text{ м}^2 \times 100 \text{ Вт} = 12\,190 \text{ Вт} \approx 12,2 \text{ кВт загальної потужності.}$$

Використовуємо 6–8 конвекторів по 1,5–2,5 кВт кожен.

Ставити по 1 конвектору на кімнату або кожні 15–20 м².

Розподіл конвекторів в залежності від площі обігріву і призначення приміщень наведений в таблиці 5.5.

Таблиця 5.5 – Розподіл конвекторів

Тип приміщення	Площа	Потужність конвектора
Вітальня	31,75 м ²	2,5 кВт
Кухня	20,85 м ²	1,5 кВт
Спальня 1	17,6 м ²	2 кВт
Спальня 2	12,79 м ²	2 кВт
Спальня 3	7,83 м ²	1,5 кВт
Ванна + санвузол	12,06 м ²	1 кВт (зазвичай – ІЧ панель)
Коридори/тамбури	5–8 м ²	0,5–1 кВт

Разом необхідно конвекторів 7–8 штук загальною потужністю ~12–13 кВт

Вартість матеріалів станом на 2025 рік наведена в таблиці 5.6

Таблиця 5.6 – Вартість електроконвекторів

Потужність	Ціна за 1 шт	Кількість	Кошторисна вартість грн
1,5 кВт	3500 – 4000	3	10500 – 12000
2 кВт	4500 – 5500	13500 – 16500	13500 – 16500
2,5 кВт	5000 – 6500	1	5000 – 6500
Інфрачервона панель/ванна	2000 – 3000	2	4000-6000
Разом			33000 – 41000

Роботи з монтажу:

Монтаж одного конвектора: 400–600 грн/шт.

Монтаж інфрачервоної панелі: 500 грн.

Проведення електрики + окремі автомати у щиток (1 зона \approx 1 000 грн).

Загалом: (7 шт \times 500 грн) + електрика \approx 3500 – 5000 грн.

Підсумкова кошторисна вартість влаштування електричних конвекторів на основі проведених розрахунків в табл. 5.5 та 5.6 представлена в табл. 5.7.

Таблиця 5.7 – Підсумкова таблиця влаштування електричних конвекторів для запроектованого будинку

Категорія	Кошторисна вартість
Матеріали	33000 – 41000 грн
Роботи (монтаж)	3500 – 5000 грн
Загалом	36500 – 46000 грн

Техніко-економічне порівняння влаштування електричних конвекторів з електричною теплою підлогою зведено в таблицю 5.8.

Таблиця 5.8 – Техніко-економічне порівняння влаштування систем опалення

Опалення	Вартість (грн)	Переваги та недоліки
Електричні конвектори	36500 – 46000	Дешеві, швидкий монтаж, легке обслуговування, менш комфортне тепло, видно в інтер'єрі
Електрична тепла підлога	123000 – 166000	Комфортне тепло, невидима система, дорожча, складний монтаж, важче ремонтувати

Висновки до розділу 5

В даному розділі виконано техніко-економічне порівняння двох варіантів влаштування систем опалення:

- варіант 1 – влаштування електричної теплої підлоги;
- варіант 2 – влаштування електричних конвекторів;

Для кожного варіанту прорахована кошторисна вартість матеріалів і вартість монтажу.

В результаті розрахунків економічним варіантом за кошторисною вартістю є варіант влаштування електричних конвекторів. Для запроектованого будинку кошторисна вартість влаштування електричних конвекторів становить 36500 – 46000 грн.

ВИСНОВКИ

У межах виконаної магістерської роботи досягнуто поставленої мети – розроблено та обґрунтовано раціональні архітектурно-конструктивні й інженерні рішення, спрямовані на підвищення енергоефективності малоповерхових житлових будівель в умовах відсутності централізованого теплопостачання та енергетичної нестабільності.

1. За результатами теоретичного аналізу сучасних тенденцій та світового досвіду встановлено, що комплексне впровадження термомодернізаційних заходів дозволяє зменшити тепловтрати у малоповерховому житлі на 35–45%. Зокрема:

- у Норвегії втрати зменшено з 100 до 60 Вт/м² (–40%);
- у Швеції – з 90 до 52 Вт/м² (–42%);
- в Україні – з 75 до 45 Вт/м² (–40%).

2. У результаті аналізу сучасних вимог до енергоефективності встановлено, що вирішальну роль у формуванні теплозахисних властивостей будівлі відіграють огорожувальні конструкції, система опалення, рівень герметичності та вентиляційного повітрообміну. Основним критерієм ефективності виступає приведений опір теплопередачі стін.

Вивчено сучасні конструктивні стінові системи, зокрема застосування SIP-панелей та газоблоків із додатковим шаром утеплювача. Установлено, що SIP-панелі забезпечують стабільну теплозахисну ефективність ($R \approx 4,57 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$) при зниженій товщині стін (174 мм), у той час як стіна з газоблоків D400 товщиною 375 мм потребує додаткового утеплення мінераловатними плитами (150 мм) для досягнення аналогічного термічного опору ($R \approx 3,5\text{--}4,2 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$). Це свідчить про перевагу SIP-технології в умовах нестабільного теплопостачання.

3. У рамках розрахунково-аналітичного моделювання здійснено порівняльну оцінку теплотехнічної поведінки будівель із різними типами стінових конструкцій. Моделювання інерційності огорожувальних

конструкцій показало, що будівля з масивними стінами (газоблок + мінеральна вата) має час остигання вдвічі більший, ніж конструкція з SIP-панелей. У разі аварійного відключення електроопалення температура в масивному будинку знижується до $+10^{\circ}\text{C}$ за 12 год, а в SIP – за 5–6 год. Це підтверджує важливість вибору системи опалення з урахуванням теплової інерції та доцільність застосування теплонакопичувальних огорожувальних конструкцій.

4. Аналіз систем опалення виявив найвищу ефективність теплових насосів типу «повітря–вода», які забезпечують економію електроенергії до 60% у порівнянні з електричними конвекторами. Установка рекупераційної вентиляції забезпечує додаткове скорочення енергоспоживання на 15–25%.

5. Економічна доцільність обраних рішень підтверджена розрахунками: утеплення фасаду площею 150 м^2 за системою ETICS коштує 1500–1800 грн/м², а строк окупності становить 4–6 років при річній економії 2000–3000 кВт·год. Це відповідає практиці термомодернізації у країнах ЄС.

Проведено техніко-економічне порівняння двох систем електричного опалення:

- електрична тепла підлога потужністю 15 кВт (на 100 м^2) потребує капіталовкладень у розмірі 123000–166000 грн (включаючи матеріали та монтаж);

- електроконвектори загальною потужністю 12,2 кВт вимагають витрат на рівні 36500–46000 грн.

У той же час, тепла підлога забезпечує кращу рівномірність розподілу температури та підвищений тепловий комфорт.

6. Практичні рекомендації, сформульовані за результатами дослідження:

- перевагу варто надавати компактним будівлям з південною орієнтацією;

- у разі обмеженого бюджету доцільно обирати SIP-панелі в поєднанні з електричним підігрівом підлоги;

- для підвищення теплостійкості рекомендується додаткове утеплення перекриттів і встановлення систем рекуперації;

- при проектуванні слід враховувати час остигання будівлі та забезпечення аварійного джерела тепла.

Таким чином, у роботі теоретично обґрунтовано та практично доведено ефективність застосування раціональних архітектурно-конструктивних рішень і технологій з метою підвищення енергоефективності малоповерхових житлових будівель. Результати дослідження можуть бути використані в інженерній практиці проектування, а також під час реконструкції існуючого житлового фонду.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Адамова О. І., Джеджула В.В. Ефективність впровадження рішень з підвищення енергоефективності у малоповерхову житловому будівництві. Матеріали LIV Всеукраїнської науково-технічної конференції факультету будівництва, цивільної та екологічної інженерії (2025), Вінниця, Вінницький національний технічний університет, 24.03.2025 – 27.03.2025 р. URL: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fbtegp/all-fbtegp-2025/paper/view/24494/20285>
2. Джеджула В. В., Єпіфанова І. Ю. Енергозбереження як напрям підвищення безпеки критичних систем житлових будинків. *Вісник Хмельницького національного університету*. 2022. №2. Т. 1. С. 72-76.
3. Мандрика А. С. Енергоефективні технології : навчальний посібник. Суми : Сумський державний університет, 2021. 330 с.
4. Пластун О. М. Технології енергоефективного будівництва для малоповерхових житлових будівель. *Вісник будівництва*. 2021. Т. 37, № 3. С. 45-49.
5. Зайко О. М., Заяць Є. І. Аналіз організаційно-технологічних рішень будівництва малоповерхових житлових будівель з урахуванням раціонального споживання енергоресурсів. *Український журнал будівництва та архітектури*. 2025. № 1 (025). С. 97-105.
6. Досвід енергозбереження в різних країнах світу. URL: <http://market.avianua.com/?p=4042>
7. Ionescu C., Baracu T., Vlad G. E., Necula H. The historical evolution of the energy efficient buildings. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. №49, 2015. P. 243–253. URL: https://www.researchgate.net/publication/276364897_The_historical_evolution_of_the_energy_efficient_buildings

8. Шведське енергетичне агентство Energimyndigheten. «Політика енергоефективності Швеції». Стокгольм: Шведське енергетичне агентство, 2020. URL: <https://www.energimyndigheten.se/>
9. Будівля “EKONO-HOUSE”, Отаніями, Фінляндія. URL: https://www.truba.ua/library/art-zdanie_ekonohouse_otaniemi
10. Експериментальний житловий район VIIKKI, Гельсінкі, Фінляндія. URL: https://www.truba.ua/library/art-eksperimentalnyj_zhiloj_rajon_viikki
11. Energy Star and LEED work together for private-sector energy efficiency. URL: <https://www.usgbc.org/articles/energy-star-and-leed-work-together-private-sector-energy-efficiency>
12. Hernandez P., Kenny P. (2010). From net energy to zero energy buildings: Defining life cycle zero energy buildings (LC-ZEB). *Energy and Buildings*. № 42(6), 2010. P. 815–821. URL: https://www.researchgate.net/publication/222215767_From_net_energy_to_zero_energy_buildings_Defining_life_cycle_zero_energy_buildings_LC-ZEB
13. Elewacje i zewnętrzna izolacja ścian-ocieplenie elewacji. URL: <https://budowa-remonty.xlx.pl/elewacje-ocieplenia>
14. Міжнародне енергетичне агентство (МЕА). Енергоефективність 2020. Париж: Публікації МЕА, 2020. URL: <https://www.iea.org/reports/energy-efficiency-2020>
15. Директива 2010/31/ЄС про енергетичну ефективність будівель. Брюссель: Європейська комісія, 2010. URL: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2010/31/oj>
16. У Японії офіційно відкрито “розумне місто” Фудзісава. URL: <https://www.ceec.com.ua/?p=1764>
17. Шишкін Е. А., Гайко Ю. І. Інноваційні планувальні та конструктивні рішення сучасних будівель і споруд : конспект лекцій для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти денної та заочної форм навчання галузі знань 19 – Архітектура та будівництво, спеціальності 192 – Будівництво та цивільна інженерія. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2022. 40 с.

18. Бікс Ю. С., Ратушняк Г. С. Термічно неоднорідні енергоощадні огорожувальні конструкції малоповерхових будівель : монографія. Вінниця : ВНТУ, 2019. 76 с.

19. Системи утеплення фасадів ETICS: високотехнологічне рішення для енергоефективних будівель. URL: <https://eurobud.ua/en/etics-facade-insulation-systems-a-high-tech-solution-for-energy-efficient-buildings/>

20. Закон України «Про енергетичну ефективність будівель». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2118-19#Text>

21. ДБН В.2.6-31:2021. Теплова ізоляція будівель та енергоефективність будівель. [Чинні від 2022-09-01]. Вид. офіц. Київ : Міністерство розвитку громад та території України, 2022. 27 с.

22. Danu E., Stănescu A., Ciupagea C. A life-cycle cost analysis of the passive house “POLITEHNICA” from Bucharest. *Energy and Buildings*. №83, 2014. P. 147–157. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378778814003703>

23. Owolabi A.B., Yahaya A, Li H.X., Suh D. Analysis of the energy performance of a retrofitted low-rise residential building after an energy audit. *Sustainability*. vol. 15, no. 16, 2023. P. 4-19. URL: https://www.researchgate.net/publication/373010817_Analysis_of_the_Energy_Performance_of_a_Retrofitted_Low-Rise_Residential_Building_after_an_Energy_Audit

24. Parasonis J., Keizikas A., et al. Architectural solutions to increase energy efficiency of buildings. *Journal of Civil Engineering and Management*. 2012. №18. P. 71.

25. Parasonis J., Keizikas A., Kalibatiene D. The relationship between the shape of a building and its energy performance. *Architectural Engineering and Design Management*. №8. 2012. P. 246.

26. Mihalakakou B. On the use of sunspace for space heating/cooling in Europe. *Renewable Energy*. №26,. 2002. P. 415.

27. Bataineh K. M., Fayez N. Analysis of thermal performance of building attached sunspace. *Energy and Buildings*. № 43. 2011. P. 1863.
28. Природне освітлення, нормування, розрахунок. URL: <https://cpo.stu.cn.ua/Oksana/posibnik/760.html>
29. Будівництво будинку по німецькій технології. URL: <http://ekobil.com.ua/budivnitstvo-budinku-po-nimetskij-tehnologiyi/>
30. Завод каркасно-панельного дерев'яного домобудівництва ЕкоДім. URL: <http://ekoohouse.com.ua/uk/karkasni-budinki/yevropeyska-tehnologiya/>
31. Переваги вентиляції з рекуперацією в приватному будинку. URL: <https://alterair.ua/stati/preimushchestva-ventilyatsii-s-rekuperatsiey-v-chastnom-dome/>
32. Mischos S., Dalagdi E., Vrakas D. Intelligent energy management systems: a review. *Artificial Intelligence Review*. №56, 2023. P. 11635–11674. DOI: 10.1007/s10462-023-10441-3.
33. Tomazzoli C., Scannapieco S., Cristani M. Internet of things and artificial intelligence enable energy efficiency. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*. 2020. P. 1–22.
34. Що таке сонячний колектор. Види і принцип роботи. URL: <https://xn-e1aamjjfht.com.ua/sonjachni-kolektory-pryncyp-roboty>
35. Принцип роботи теплового насоса. URL: <https://aquamen.com.ua/bluh/ptyntsyp-raboty-teplovoho-nasosa>
36. Конденсаційний котел: принцип роботи, переваги. URL: <https://opalennya.in.ua/kondensatsiinyi-kotel-ptyntsyp-roboty-perevahy/>
37. Ратушняк Г. С., Джеджула В. В., Анохіна К. В. Енергозберігаючі відновлювальні джерела тепlopостачання : навчальний посібник. Вінниця : ВНТУ, 2010. 170 с.
38. Вітрогенератори і обладнання для вітрових електростанцій. URL: <https://prel.prom.ua/g25695894-vitrogeneratori-obladnannya-dlya>
39. Вітрогенератори: принцип дії, типи, застосування, ефективність роботи. URL: <https://alterair.ua/stati/vetrogeneratoryi/>

40. Енергозберігаючі технології в системах водопостачання. URL: <https://conf.ztu.edu.ua/wp-content/uploads/2023/01/96.pdf>
41. Душкін С.С., Дегтяр М.В. Конспект лекцій з дисципліни «Надійність водопровідноканалізаційних систем». Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2015. 115 с.
42. Петраш В.Д., Басіст Д.В., Гераскіна Е.А. Розрахунково-експериментальна оцінка енергетичної ефективності цивільних будівель. Одеса, «ВМВ», 2020. 327 с.
43. Кулінченко В. Р., Ткаченко С. Й. Теплопередача з елементами масообміну (теорія і практика процесу). Київ. Фенікс. 2014. 917 с.
44. Клімов Р.О. Конспект лекцій по дисципліні «Опалення, вентиляція та кондиціонування повітря». Кам'янське: ДДТУ, 2016. 102 с.
45. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування. [Чинний від 01.01.2014]. Вид. офіц. К.: МінрегіонбудУкраїни, 2013. 141 с.
46. Thermal Performances of Windows. URL: <https://www.comsol.com/model/thermal-performances-of-windows-16077>
47. Fine-Tuning an HVAC System Design with Simulation. URL: <https://www.comsol.com/blogs/fine-tuning-an-hvac-system-design-with-simulation>
48. Complex Fenestration System for Energy Efficiency. URL: <https://www.comsol.com/story/complex-fenestration-system-for-energy-efficiency-84361>
49. Better Ways to Heat and Cool Buildings. URL: <https://www.comsol.com/story/better-ways-to-heat-and-cool-buildings-42751>
50. Glazing Influence on Thermal Performances of a Window. URL: <https://www.comsol.com/model/glazing-influence-on-thermal-performances-of-a-window-16075>
51. ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010. Будівельна кліматологія. [Чинний від 01.02.2011]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіонбуд України, 2011. 127 с.
52. Маляренко В. А. Будівельна теплофізика : курс лекцій. Харків : ХНАМГ, 2007. 100 с.

53. ДБН Б.2.2-12:2019. Містобудування. Планування і забудова територій. [Чинний від 2018-09-01]. Вид. офіц. Київ : Держбуд України, 2018. 175 с.

54. ДБН В.2.2-15-2019. Житлові будинки основні положення. [Чинний від 2019-12-01]. Вид. офіц. Київ : Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2019. 42 с.

55. ДБН В.1.1.7-2016. Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги. [Чинний від 2017-01-06]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіонбуд України, 2017. 35 с.

56. ДСТУ-Н Б В.2.6-212:2016. Настанова з виконання робіт із застосуванням сухих будівельних сумішей. [Чинний від 2017-04-01]. Вид. офіц. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2017. 47 с.

57. Інноваційні технології в області теплих підлог. URL: <https://ecopol.com.ua/blog/innovacijni-texnologii-v-oblasti-teplix-pidlog>

58. Монтаж електричної теплої підлоги під плитку. URL: <https://sanpol.ua/ua/library/ob-otoplenii-i-vodosnabzenii/montaj-elektricheskogo-teplogo-pola-pod-plitku/>

59. Монтаж електричної теплої підлоги. URL: <https://bud-info.net.ua/remont/tepla-pidloha/montazh-elektrychnoji-teploji-pidlohy/>

60. Монтаж та укладання теплої підлоги. Покрокова інструкція. URL: <https://gaston.com.ua/ua/blog/pro-teplje-polj/montaz-i-ukladka-teplogo-pola--posagovaja-instrukcija->

61. Технологічна карта на монтаж електричної теплої підлоги. URL: <https://isc.smartom.pro/tehnologichni-kartki/vnutrishni-roboty/tehnologichna-karta-na-montazh-elektrychnoyi-teploji-pidlogy/>

62. Технологічна карта на влаштування підлоги. URL: <https://ferozit.ua/wp-content/uploads/2018/02/PIDLOGY-FEROZIT-2019.pdf>

63. ДБН А.3.1-5:2016. Організація будівельного виробництва. URL: https://e-construction.gov.ua/laws_detail/3113373519350597353

64. ДБН А.3.2-2-2009. ССБП. Охорона праці і промислова безпека у будівництві. Основні положення. [Чинний від 2009-01-27]. Вид. офіц. К. : Мінрегіонбуд України, 2009. 116 с.

65. ДСТУ Б В.2.5-82:2016. Електробезпека в будівлях і спорудах. Вимоги до захисних заходів від ураження електричним струмом. [Чинний від 2017-04-01]. Вид. офіц. К. : ДП «УкрНДНЦ», 2016. 109 с.

66. ДСТУ-Н Б А.3.1-23:2013. Настанова щодо проведення робіт з улаштування ізоляційних, оздоблювальних, захисних покриттів стін, підлог і покрівель будівель і споруд. URL: https://dbn.co.ua/load/normativy/dstu/dstu_n_b_a_3_1_23/5-1-0-1160

67. Білецький А. А., Клімов С. В., Ольховик О. І., Роцький І. А. Організація і технологія будівельних робіт. Практикум : навч. посібник. Рівне : НУВГП, 2019. 93 с.

68. Кошторисні норми України. Ресурсні елементні кошторисні норми на будівельні роботи. Підлоги (Збірник 11). [Чинний від 2023-02-22]. Вид. офіц. Київ : Міністерство розвитку громад та територій України, 2021. 60 с.

69. ДСТУ Б Д 1.1.1-2013. Правила визначення вартості будівництва. [Чинний від 2014-01-01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2014. 97 с

70. Лялюк О.Г., Маєвська І.В. Техніко-економічне обґрунтування та економічні розрахунки в дипломних проектах будівельних спеціальностей : навчальний посібник. Вінниця : ВДТУ, 2003. 84 с.

71. ДСТУ ISO 45001:2019. Системи управління охороною здоров'я та безпекою праці. Вимоги та настанови щодо застосування (ISO 45001:2018, IDT). [Чинний від 2021-01-01]. Вид. офіц. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2019. 60 с.

ДОДАТКИ

ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Назва роботи: Рациональні рішення для підвищення енергоефективності
многоповерхових житлових будівель

Тип роботи: Магістерська кваліфікаційна робота
 (бакалаврська кваліфікаційна робота / магістерська кваліфікаційна робота)

Розділ: кафедра БМГА, ФБЦЕІ, гр. Б-23м
 (кафедра, факультет, навчальна група)

Коефіцієнт подібності текстових запозичень, виявлених у роботі системою StrikePlagiarism 1,12 %

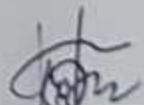
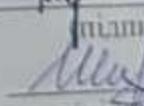
Висновок щодо перевірки кваліфікаційної роботи (відмітити потрібне)

- Запозичення, виявлені у роботі, є законними і не містять ознак плагіату, фабрикації, фальсифікації. Роботу прийняти до захисту
- У роботі не виявлено ознак плагіату, фабрикації, фальсифікації, але надмірна кількість текстових запозичень та/або наявність типових розрахунків не дозволяють прийняти рішення про оригінальність та самостійність її виконання. Роботу направити на доопрацювання.
 - У роботі виявлено ознаки плагіату та/або текстових маніпуляцій як спроб укриття плагіату, фабрикації, фальсифікації, що суперечить вимогам законодавства та нормам академічної доброчесності. Робота до захисту не приймається.

Експертна комісія:

Бікс Ю. С. доцент, гарант ОП
 (прізвище, ініціали, посада)

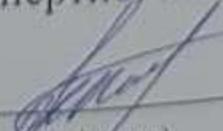
Швець В. В. доцент, зав.каф. БМГА
 (прізвище, ініціали, посада)


 (підпис)

 (підпис)

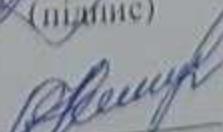
Особа, відповідальна за перевірку 
 (підпис)

Блацук Н. В.
 (прізвище, ініціали)

З висновком експертної комісії ознайомлений(-на)

Керівник 
 (підпис)

Джеджула В. В., проф.
 (прізвище, ініціали, посада)

Здобувач 
 (підпис)

Адамова О. І.
 (прізвище, ініціали)

Додаток Б

Відомість графічної частини МКР

Аркуш	Найменування	Примітки
1	Актуальність дослідження. Мета роботи. Завдання дослідження. Об'єкт дослідження. Предмет дослідження. Новизна та інноваційність	
2	Теоретичні засади енергоефективності малоповерхових житлових будівель	
3	Світовий досвід підвищення енергоефективності малоповерхових житлових будівель	
4	Порівняння практик та нормативної бази енергозбереження	
5	Комплекс енергоефективних рішень для малоповерхових житлових будинків	
6	Енергозберігаючі рішення в інженерних системах приватного будинку	
7	Моделювання тепловтрат малоповерхового житлового будинку	
8	Чисельне моделювання у середовищі Comsol Multiphysics	
9	Розрахунок часу охолодження будівлі без опалення для умов Києва	
10	План благоустрою. План першого поверху. Розріз 1-1, 2-2. Фасад в осях 1-5, 5-1, А-Г, Г-А	
11	Генеральний план. План першого поверху. План другого поверху	
12	План фундаменту; План перекриття першого поверху. План перекриття другого поверху	
13	Фасад 1-4; Фасад А-Д; Фасад 4-1; Фасад Д-А	
14	Технологічна карта на влаштування теплої підлоги	
15	Економічне порівняння систем опалення для проєктованого будинку	

Сучасні тенденції розвитку будівельної галузі спрямовані на впровадження принципів сталого розвитку, зниження споживання енергоресурсів та підвищення енергоефективності споруд. Одним із ключових напрямів у цьому процесі є забезпечення енергетичної автономності та мінімізація витрат на опалення, особливо в малоповерховому житловому секторі, який активно розвивається як у великих містах, так і в їхніх передмістях.

Актуальність дослідження. В умовах постійного зростання вартості енергоносіїв, нестабільного енергетичного ринку, а також посилення екологічних вимог, питання енергоефективності набувають пріоритетного значення. Особливої актуальності проблема набуває для України, де внаслідок повномасштабної війни з Росією суттєво постраждала енергетична інфраструктура. Постійні обстріли енергетичних об'єктів, дефіцит електроенергії в опалювальний період та необхідність забезпечення житлових будинків резервними джерелами тепла підштовхують до пошуку нових підходів у проектуванні автономного, енергоефективного житла.

Особливо це стосується малоповерхових будівель, що часто не під'єднані до централізованих систем тепlopостачання, а їх опалення здійснюється за допомогою електричних систем або котлів. Таким чином, оптимізація теплових втрат, вибір ефективних архітектурно-планувальних та конструктивних рішень, впровадження сучасних інженерних систем є нагальною потребою для покращення енергетичної незалежності країни.

Метою роботи є розробка та обґрунтування раціональних архітектурно-конструктивних і інженерних рішень для підвищення енергоефективності малоповерхових житлових будівель в умовах відсутності централізованого тепlopостачання та енергетичної нестабільності.

Завдання дослідження:

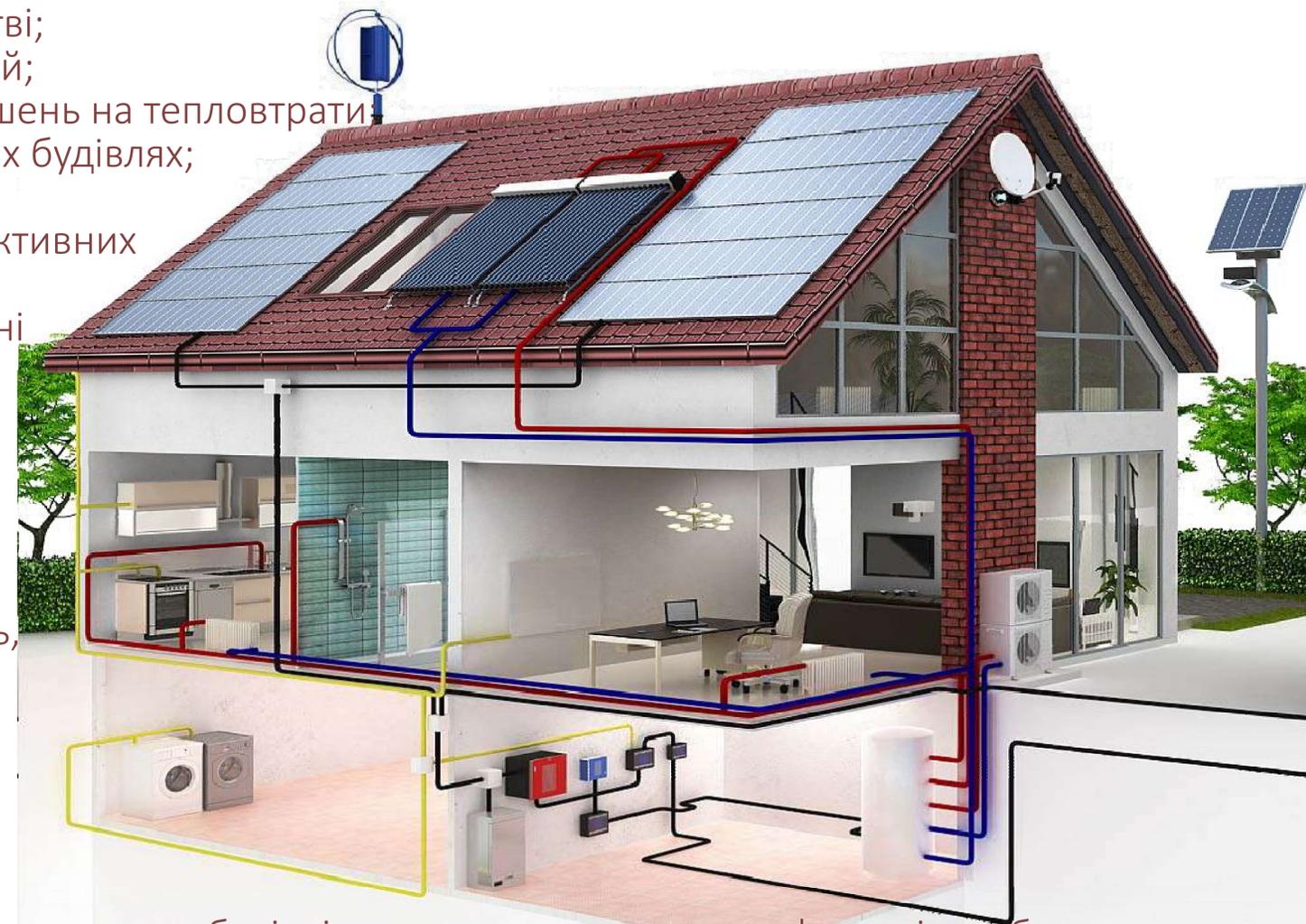
- проаналізувати сучасні тенденції в енергоефективному будівництві;
- вивчити світовий досвід впровадження енергоощадних технологій;
- дослідити вплив архітектурних, конструктивних та інженерних рішень на тепловтрати;
- порівняти ефективність різних систем опалення у малоповерхових будівлях;
- визначити економічну доцільність обраних рішень;
- розробити рекомендації щодо оптимального поєднання конструктивних і інженерних рішень.

Предмет дослідження – архітектурно-конструктивні та інженерні системи малоповерхових житлових будівель.

Об'єкт дослідження – вплив архітектурно-конструктивних рішень, систем опалення та теплоізоляції на рівень теплових втрат, енергоефективність та енергетичну надійність будівель.

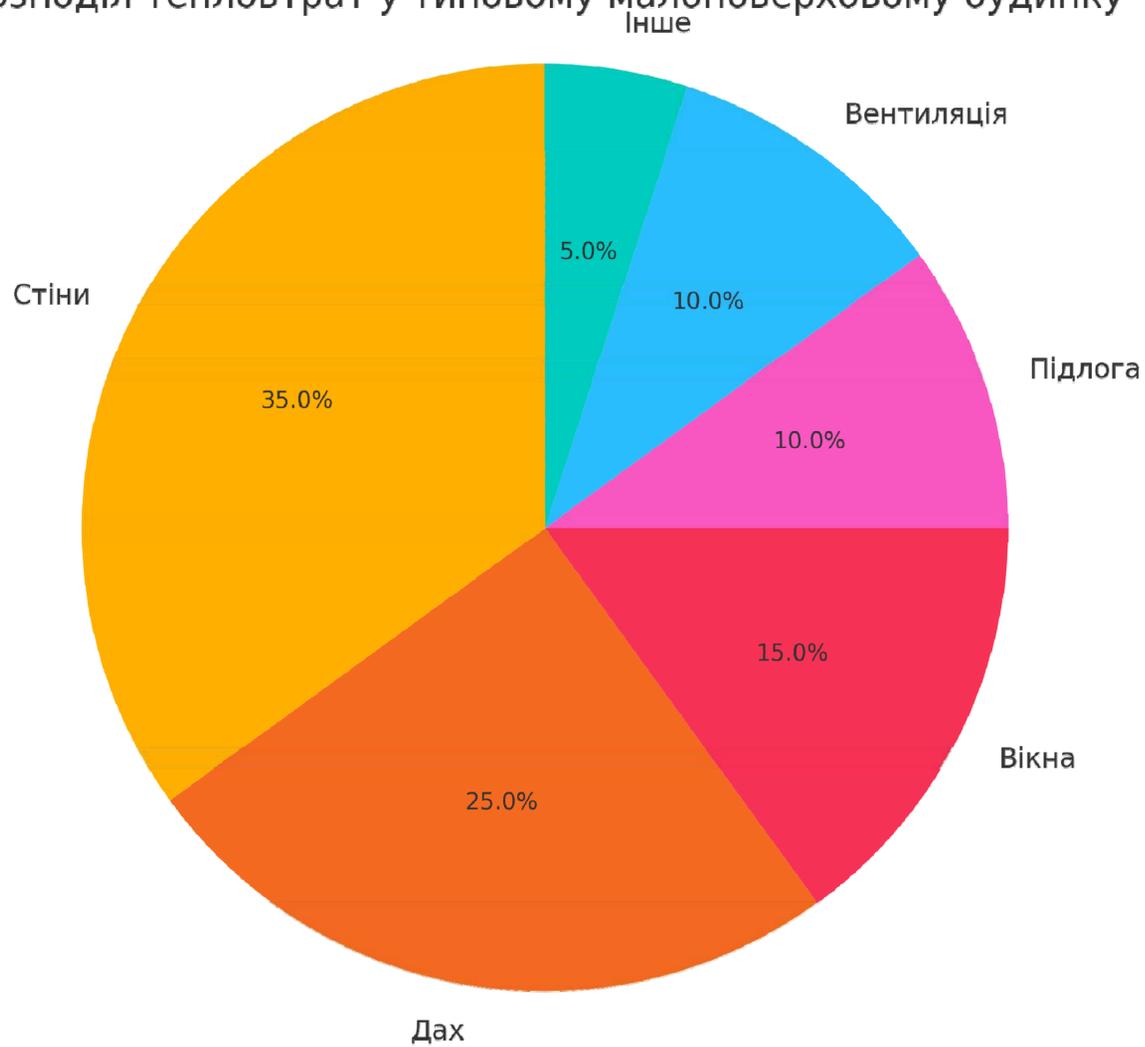
Новизна та інноваційність. Новизна роботи полягає у комплексному аналізі взаємодії архітектурно-планувальних та інженерних рішень з точки зору їх впливу на теплову інерційність, коефіцієнт акумуляції тепла та здатність будівлі зберігати комфортний мікроклімат у разі аварійного відключення електропостачання. Вперше у межах даної роботи здійснено порівняльний аналіз ефективності конструкцій із SIP-панелей і газоблоку у поєднанні з різними типами систем опалення на основі теплотехнічного моделювання та економічної оцінки.

Інноваційним аспектом роботи є застосування критерію часу остигання будівлі як одного з ключових факторів вибору системи опалення в умовах перебоїв електропостачання, що є надзвичайно актуальним для сучасної України.



1. ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ МАЛОПОВЕРХОВИХ ЖИТЛОВИХ БУДІВЕЛЬ

Розподіл тепловтрат у типовому малоповерховому будинку



Порівняння тепловтрат до та після термомодернізації

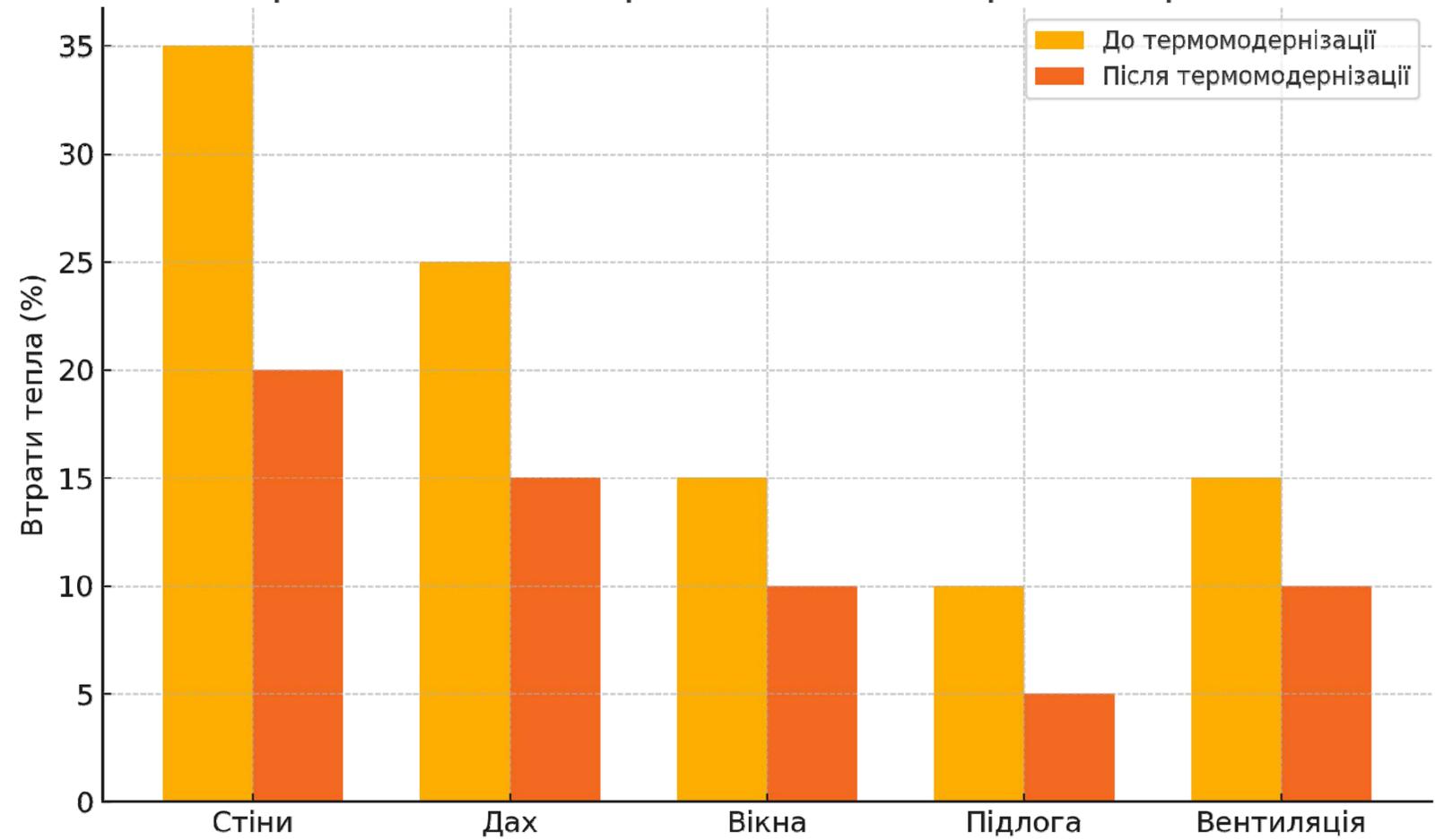


Рисунок 1.1 - Шляхи втрати тепла із житлової будівлі

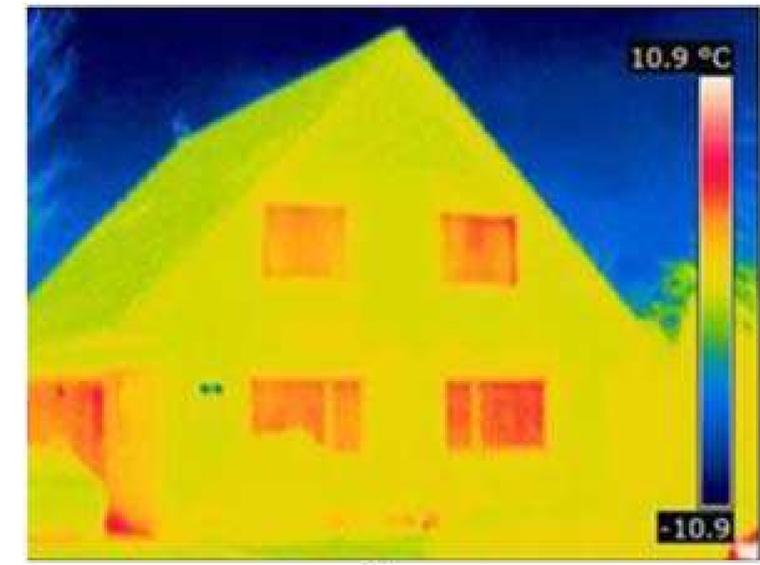
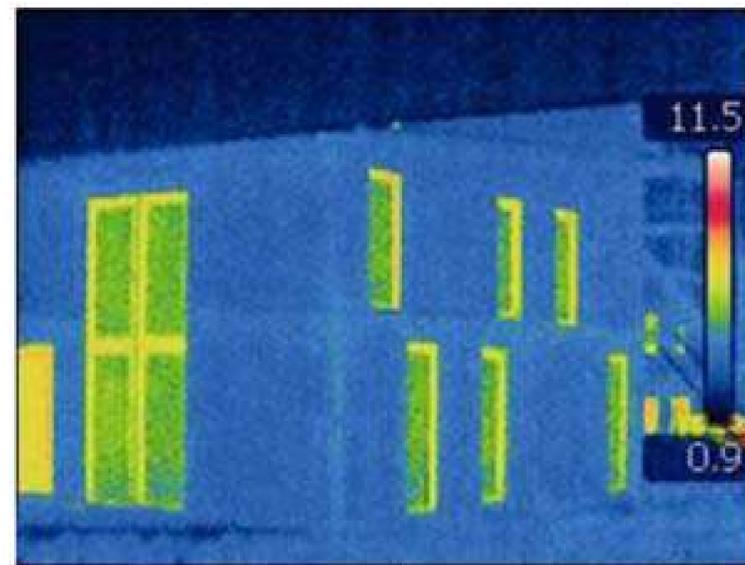


Рисунок 1.2 – Втрати тепла крізь товщу зовнішнього огородження:
 а – енергоефективна будівля;
 б – фасад з несучими стінами із силікатної цегли, не утеплений

Світовий досвід підвищення енергоефективності малоповерхових житлових будівель



Рисунок 1.3 - Приклад «пасивного будинку» у Німеччині



Рисунок 1.4 - Пасивні еко-будинки в Швеції



Рисунок 1.5 - Загальний вигляд будівлі "EKONO-house" (справа - секція будівлі з енергозберігаючими рішеннями)



Рисунок 1.6 - Система вентилятиованих вікон

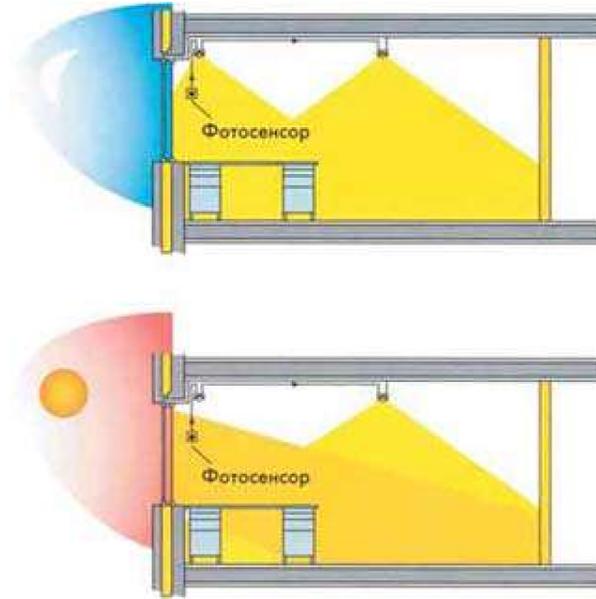
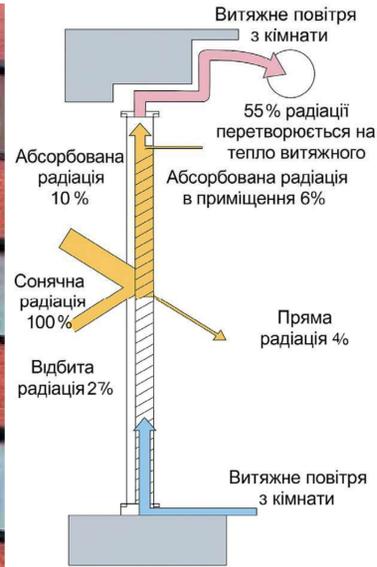


Рисунок 1.7 - Організація освітлення будівлі "EKONO-house" у вечірні та денні години

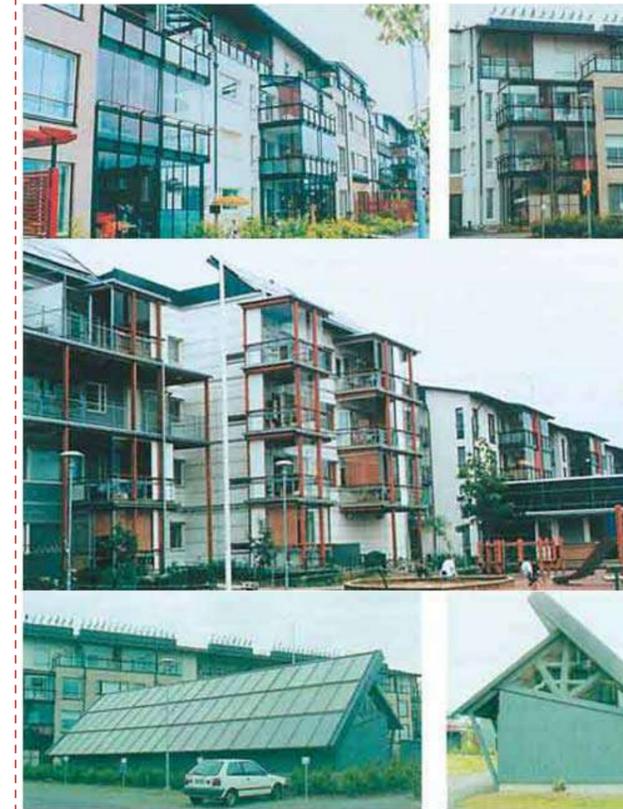


Рисунок 1.8 - Експериментальний енергоефективний житловий район VIIKKI, Гельсінкі, Фінляндія



Рисунок 1.10 - Модернізація житлових будівель в Польщі



Рисунок 1.9 - Будинок із SIP-панелей, США



Рисунок 1.11 - "Розумне місто" Фудзісава, Японія

Таблиця 1.1 – Порівняльна характеристика практик енергоефективного малоповерхового житла у світі

Країна	Технології утеплення	Інженерні системи	Стандарти	Державна підтримка
Німеччина	Пасивні будинки, мінеральна вата	Рекуперація, сонячні колектори	Passivhaus (≤ 15 кВт·год/м ² /рік)	KfW-кредити, субсидії
Швеція	Мінеральна вата, багат шарові конструкції	Теплові насоси, рекуперація	$R \geq 7$ м ² ·К/Вт	Податкові пільги, Boverket
США	SIP-панелі, пінополіуретан	Інтелектуальні термостати, фотоелектрика	ENERGY STAR, LEED	Федеральні програми HUD/DOE
Польща	ETICS-системи фасадів	Газові котли, електроопалення	WT 2021 (≤ 70 кВт·год/м ² /рік)	ЄС-гранти, муніципальні дотації
Японія	Легкі збірні каркасні конструкції	Автоматизоване управління кліматом	Top Runner Program	Субсидії, компенсація інвестицій

Таблиця 1.2 - Порівняльні характеристики матеріалів для теплоізоляції

№	Матеріал	Теплопровідність, Вт/(м·К)	Зменшення тепловтрат, %
1	Аерогель	0,015	50%
2	Вакуумні панелі	0,020	45%
3	Піноскло	0,035	30%
4	Базальтова вата	0,040	25%

Таблиця 1.3 - Проблеми впровадження енергоощадних технологій у малоповерховому житловому будівництві в Україні

№	Проблема	Наслідки
1	Висока вартість інноваційних матеріалів	Недоступність для сільських забудовників
2	Слабка державна підтримка	Відсутність стимулів, складність програм
3	Недостатня обізнаність населення	Ігнорування потенціалу термомодернізації
4	Нестача кваліфікованих кадрів у сфері монтажу	Порушення технології, зниження ефективності
5	Фальсифіковані або несертифіковані матеріали	Зниження довіри до інноваційних рішень
6	Застарілий житловий фонд та проблеми з реконструкцією	Труднощі модернізації існуючих будівель
7	Відсутність економічної мотивації для мешканців	Відсутність обліку, низька енергетична свідомість

Впровадження заходів з енергозбереження у різних країнах ілюструє ефективність термомодернізації. Зниження тепловтрат сягає:
Норвегія: з 100 до 60 Вт/м²

Канада: з 95 до 55 Вт/м²

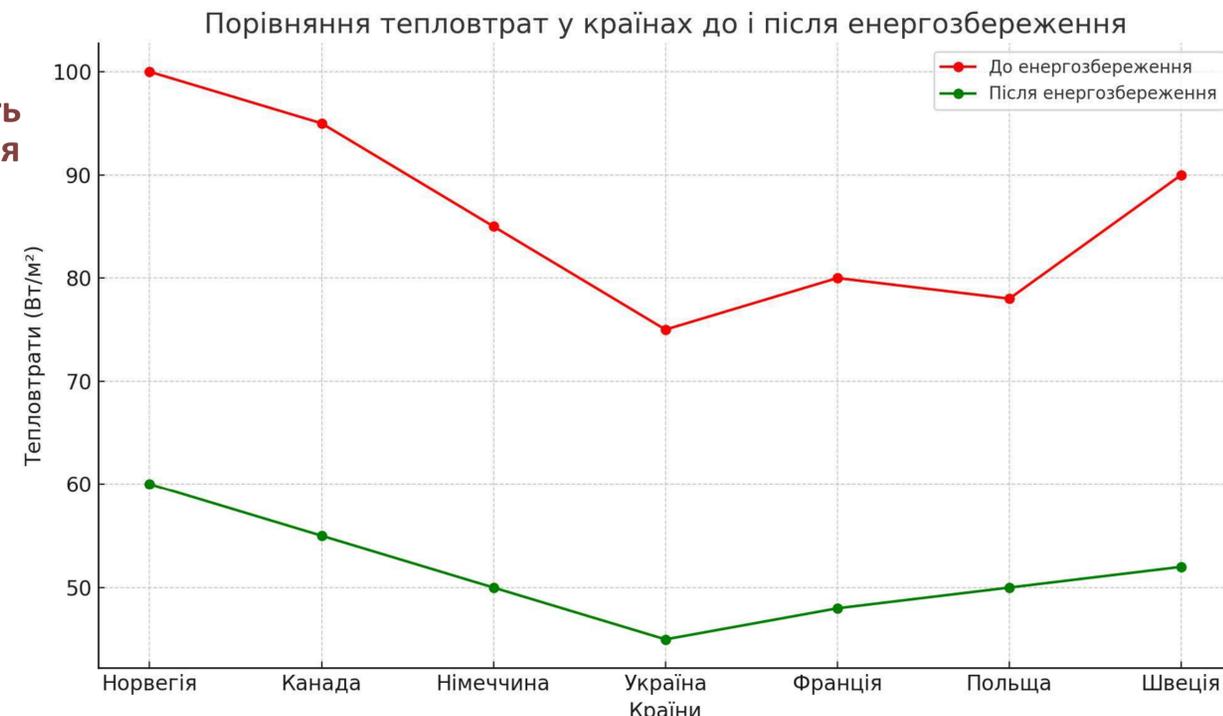
Німеччина: з 85 до 50 Вт/м²

Україна: з 75 до 45 Вт/м²

Франція: з 80 до 48 Вт/м²

Польща: з 78 до 50 Вт/м²

Швеція: з 90 до 52 Вт/м²



Загальне зменшення тепловтрат у всіх країнах складає 35–45%, що підтверджує доцільність впровадження комплексних енергоефективних заходів.

Українська нормативна база з енергоефективності



Законодавчі основи:

- + Закон України «Про енергетичну ефективність будівель»:
Запроваджено енергетичну сертифікацію будівель
- + Класи енергоефективності – від А (найвищий) до G (найнижчий)



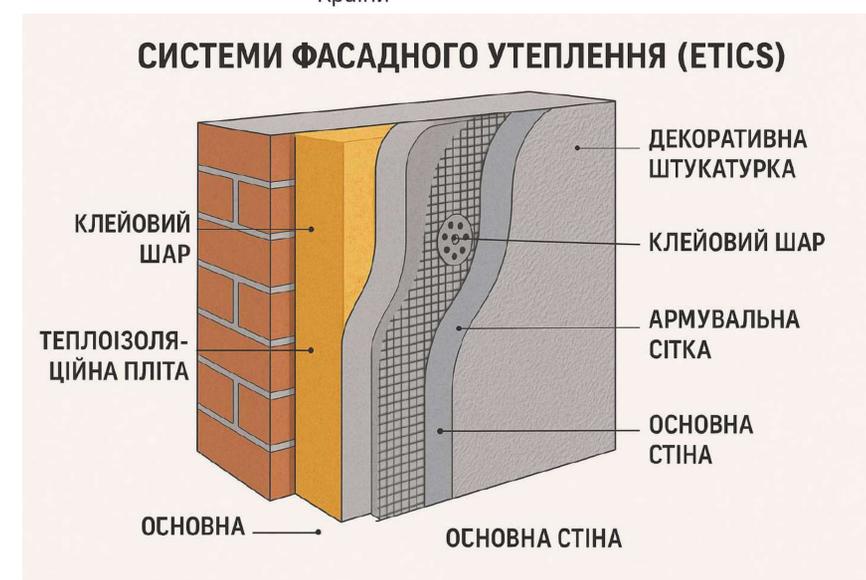
Європейська інтеграція та гармонізація стандартів:

- + Орієнтир – Директива ЄС 2010/31/EU
- + Вимога: створення майже нульових будівель (NZEB – Nearly Zero Energy Buildings)
- + У фокусі: мінімальне споживання енергії + використання поновлюваних джерел



ДБН В.2.6-31:2021:

- + Стандарти теплоізоляції суттєво посилено
- Мінімальна товщина утеплювача зовнішніх стін: ≥ 150 мм
- + Рекомендовані коефіцієнти теплопровідності $\lambda \leq 0,040$ Вт/(м·К)



Альтернативна енергетика в Україні



Встановлення сонячних панелей:

- зниження залежності від централізованого постачання
- часткове покриття потреб у теплі та електроенергії

Заходи:



теплові насоси



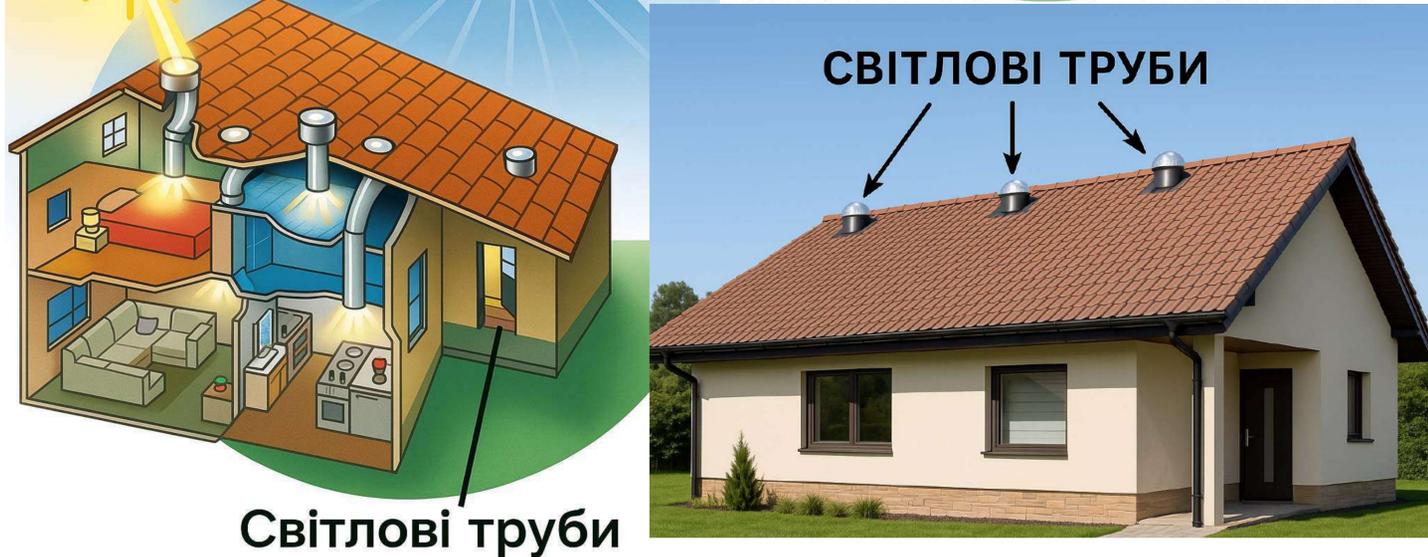
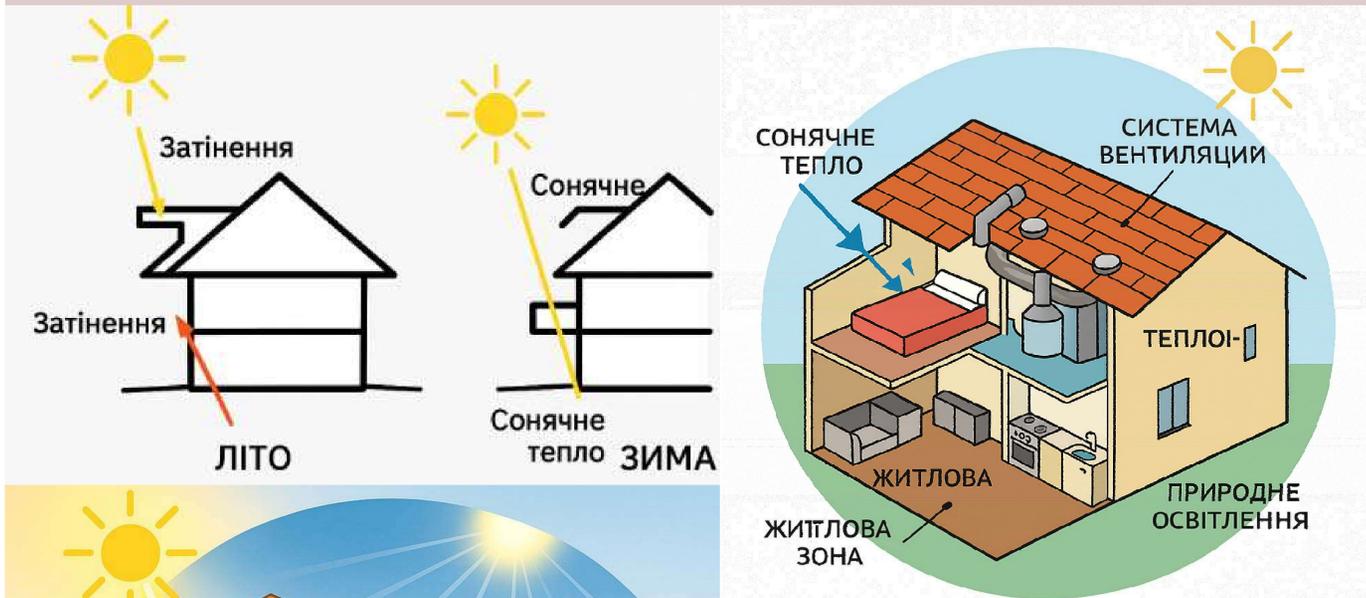
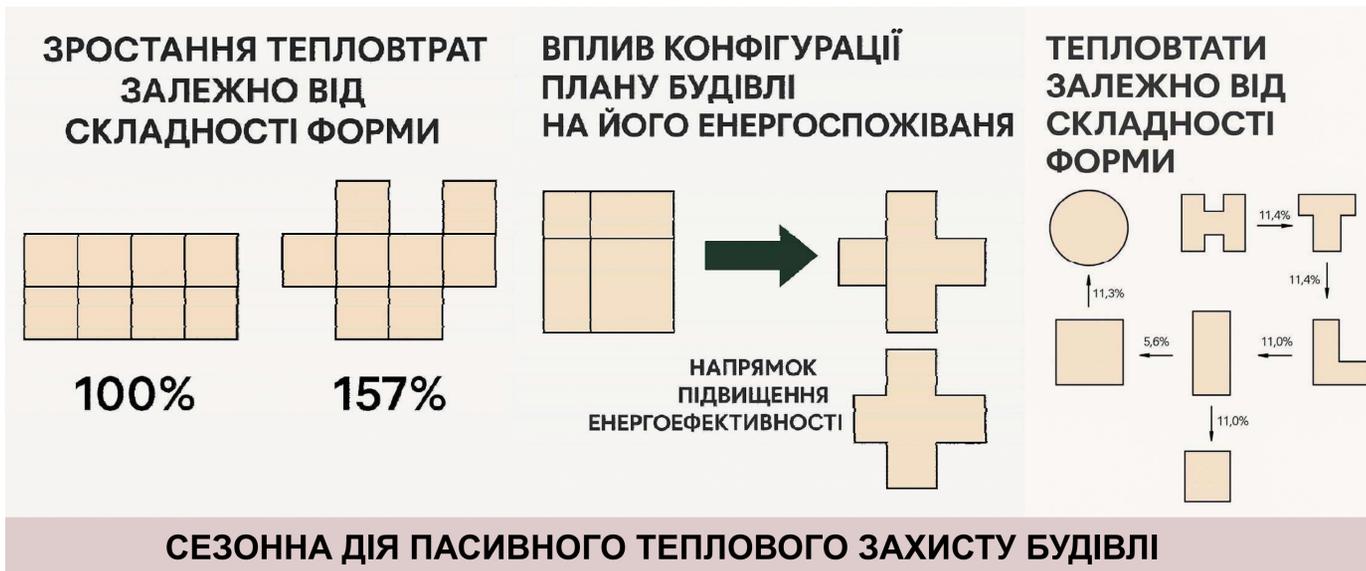
рекуперація



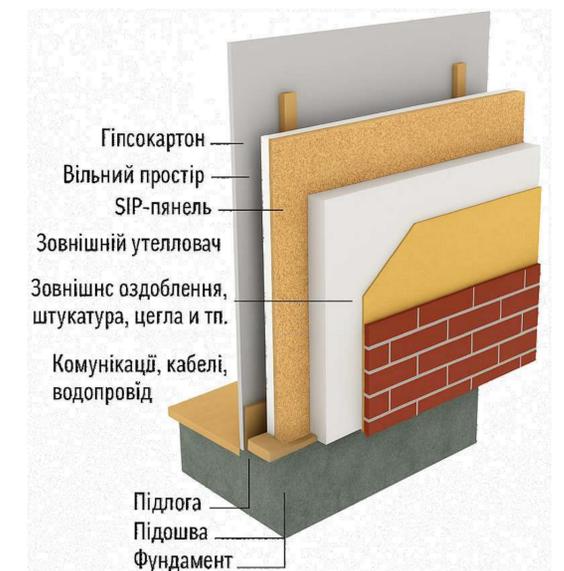
сонячні колектори

2. КОМПЛЕКС ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ РІШЕНЬ ДЛЯ МАЛОПОВЕРХОВИХ ЖИТЛОВИХ БУДИНКІВ

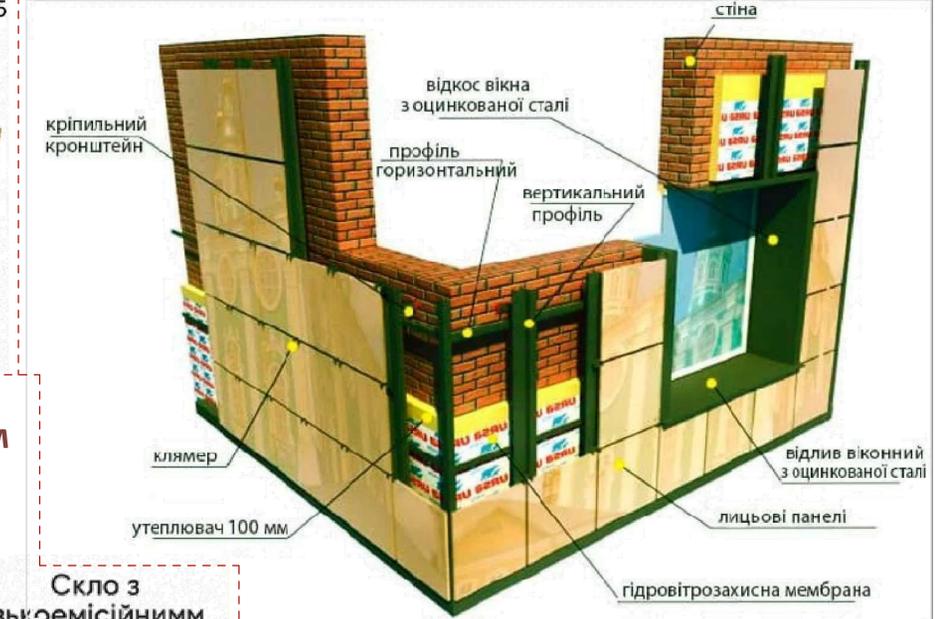
1. Архітектурно-планувальні рішення енергоефективного будинку



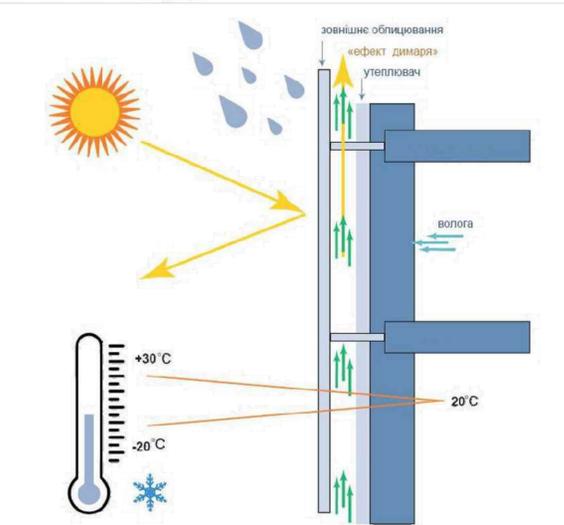
2. Каркасні будинки на основі SIP-панелей як енергоефективне конструктивне рішення



3. Влаштування «вентильованого» фасаду



4. Склопакети із селективним покриттям та інертним газом у камерах



5. Енергозберігаючі рішення в інженерних системах приватного будинку

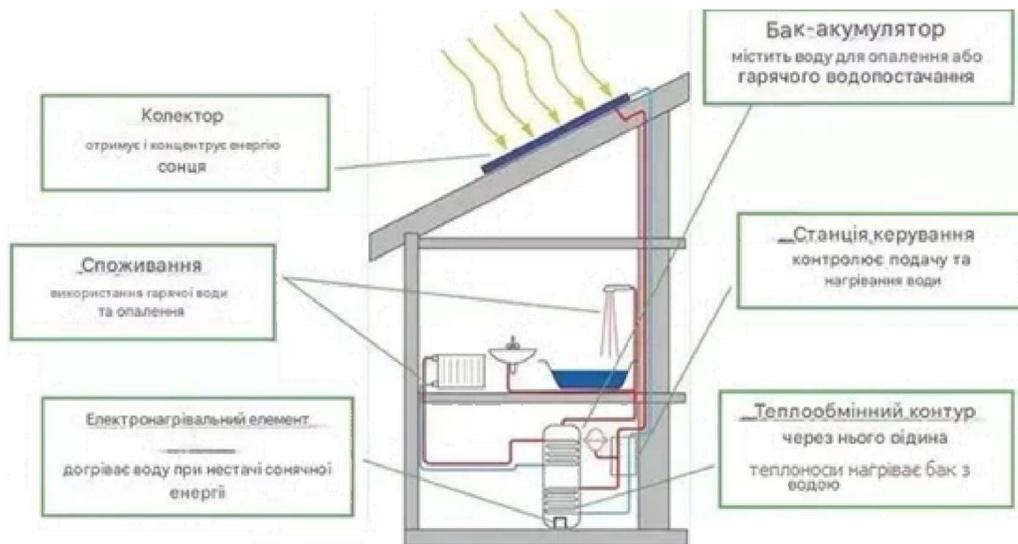
Принцип роботи рекуператора



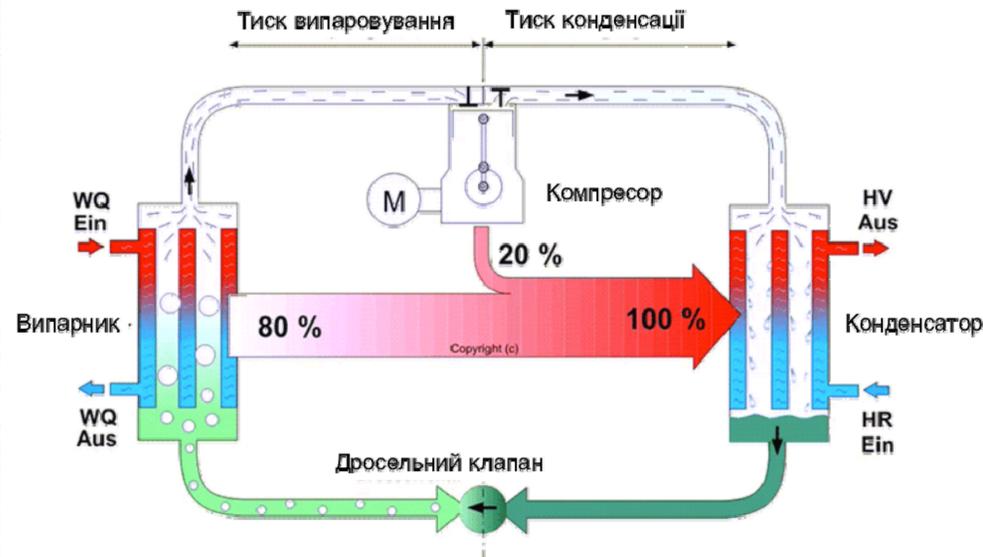
Управління системами «розумний будинок»



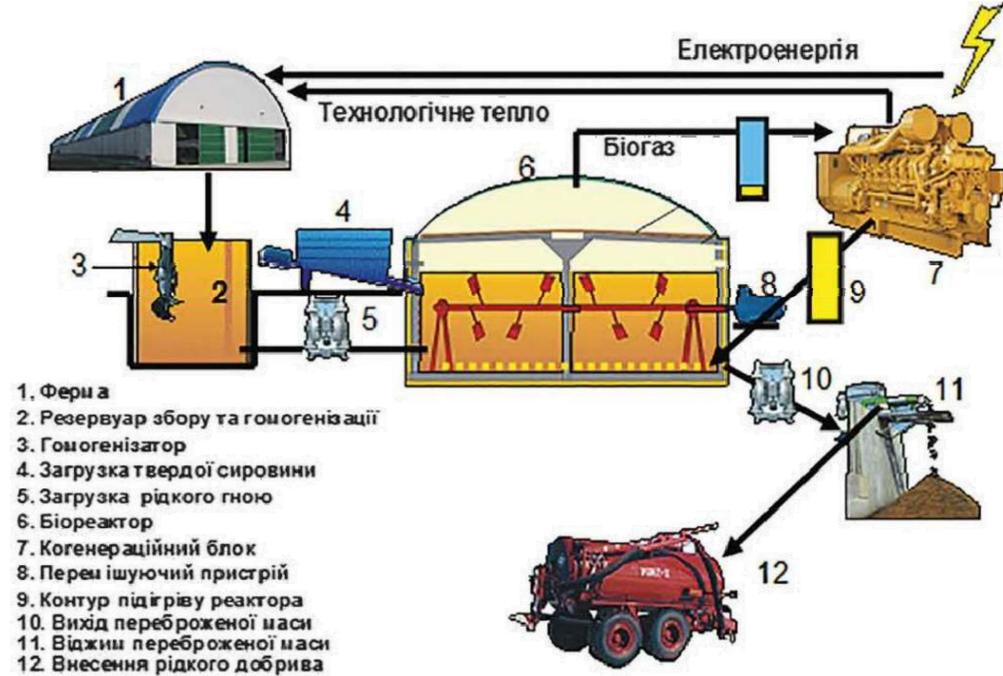
Робота сонячного колектора



Принцип роботи теплового насосу

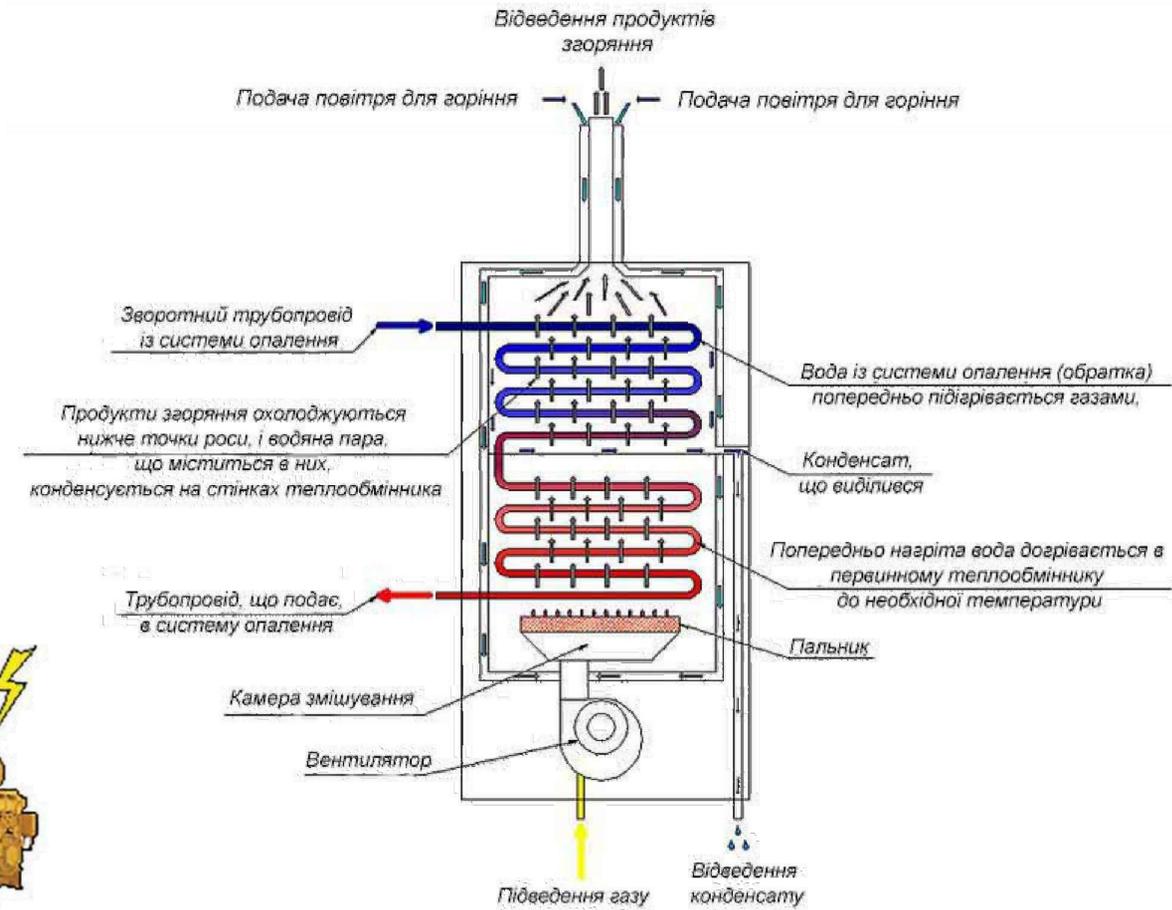


Принцип роботи біореактора

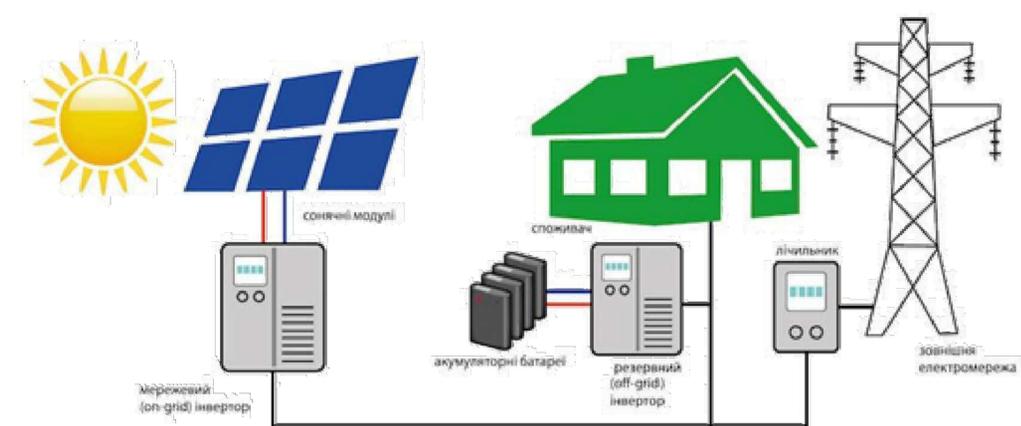


1. Ферма
2. Резервуар збору та гомогенізації
3. Гомогенізатор
4. Загрузка твердої сировини
5. Загрузка рідкого гною
6. Біореактор
7. Когенераційний блок
8. Переішуючий пристрій
9. Контур підігріву реактора
10. Вихід перебродженої маси
11. Віджим перебродженої маси
12. Внесення рідкого добрива

Схема роботи конденсаційного газового котла



Принцип роботи сонячної електростанції в будинку



Принцип роботи вітрогенератора



Таблиця 2.1 – Порівняння основних джерел тепла для малоповерхових житлових будинків

Система	ККД / COP	Автономність	Інвестиції	Окупність / Ефективність
Сонячні колектори	70–90% (реальне використання)	Низька (залежить від погоди)	Високі	6–10 років
Тепловий насос (повітря–вода)	COP 3,5–4,5	Середня (залежить від температури повітря)	Високі	5–8 років
Конденсаційний газовий котел	до 108% (у нижчій теплоті згорання)	Висока (при наявності газу)	Середні	3–5 років
Біогазова установка	≈ 60–65%	Висока (при власному ресурсі)	Високі	8–12 років
Електроконвектори	≈ 95–100%	Повна (при наявності електроенергії)	Низькі	1–2 роки
Кварцові акумуляційні обігрівачі	≈ 95–98%	Повна (при наявності електроенергії)	Середні	2–4 роки

Таблиця 2.2 – Порівняння систем опалення та ГВП

Система	ККД / COP	Автономність	Інвестиції (орієнтовно)	Окупність / Ефективність
Сонячні колектори	70–90% (реальне використання)	Низька (залежить від погоди)	Високі	6–10 років
Тепловий насос (повітря–вода)	COP 3,5–4,5	Середня (залежить від температури повітря)	Високі	5–8 років
Конденсаційний газовий котел	до 108% (у нижчій теплоті згорання)	Висока (при наявності газу)	Середні	3–5 років
Біогазова установка	≈ 60–65%	Висока (при власному ресурсі)	Високі	8–12 років
Електроконвектори	≈ 95–100%	Повна (при наявності електрики)	Низькі	1–2 роки
Кварцові акумуляційні обігрівачі	≈ 95–98%	Повна (при наявності електрики)	Середні	2–4 роки

Таблиця 2.3 - Порівняння систем водопостачання

Параметр	Централізоване водопостачання	Автономне водопостачання (свердловина + фільтри + сірі води)
Початкові інвестиції	Низькі (підключення до мережі)	Високі (буріння, насос, фільтри)
Щорічні витрати на обслуговування	Середні	Низькі
Економія на оплаті централізованих послуг	Немає	≈ 8 000–12 000 грн/рік
Період окупності	Не застосовується	4–6 років
Рівень автономності	Низький	Високий
Енергоспоживання системи	Низьке	Помірне (до 1 кВт/добу)
Енергозбереження через повторне використання	Відсутнє	До 30–50% споживання менше

3. МОДЕЛЮВАННЯ ТЕПЛОВТРАТ МАЛОПОВОЕРХОВОГО ЖИТЛОВОГО БУДИНКУ

Рівність теплових потоків, що проходять через контактну поверхню:

$$\lambda_1(\partial t/\partial n)_1 = \lambda_2(\partial t/\partial n)_2. \quad (1)$$

Умови однозначності - щоб диференціальне рівняння теплопровідності мало єдине рішення, необхідно задати:

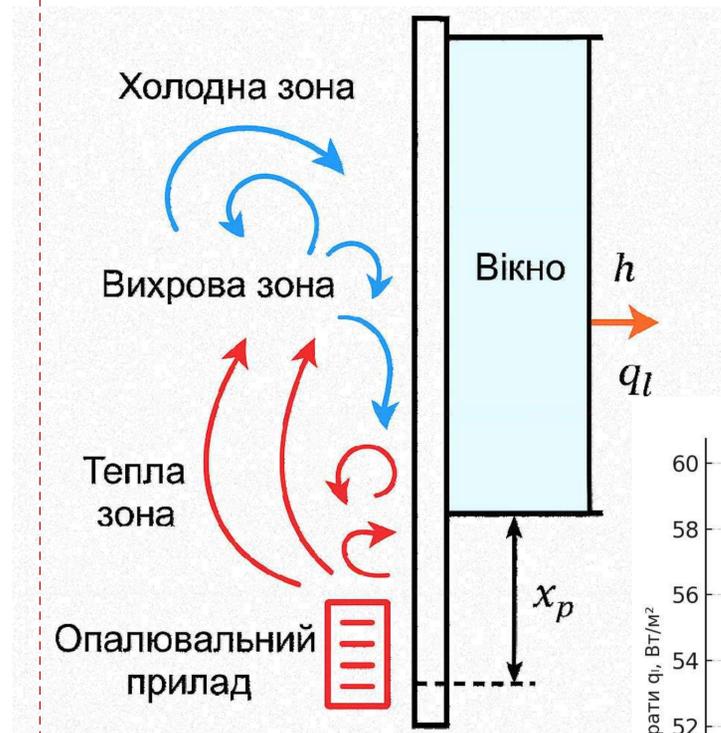
- геометричні умови (форма і розміри тіла),
- фізичні параметри (теплопровідність, теплоємність, густина),
- початкові умови (t_0),
- граничні умови (типи I-IV).

Систематизація граничних умов

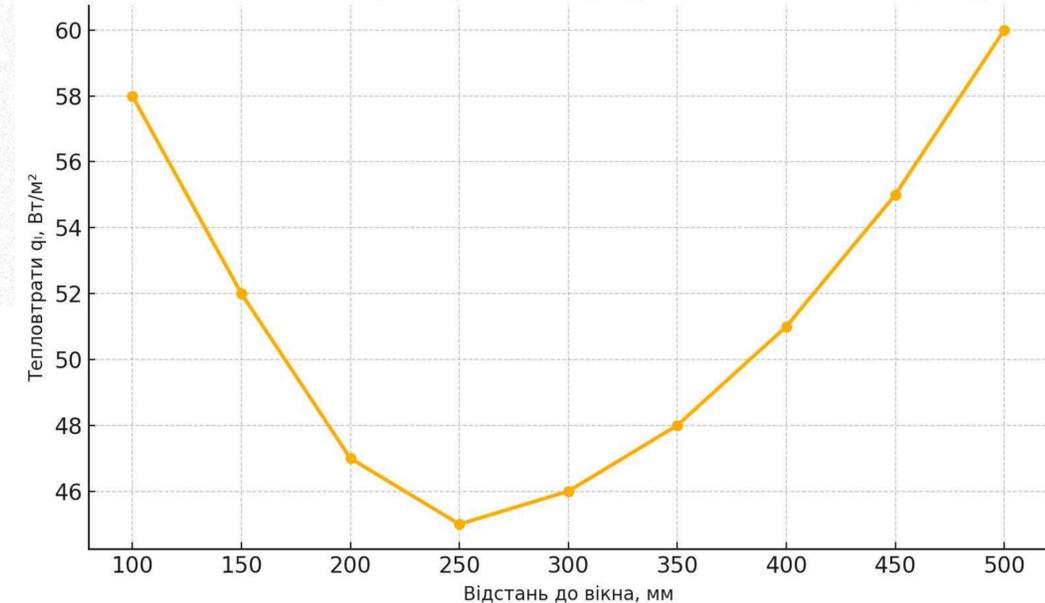
Роду	Схема	Умова
I роду (Діріхле)		Задана температура межі тіла
II роду (Неймана)		Заданий тепловий потік на межі
III роду (Ньютона)		Залежність потоку від різниці температур
IV роду		Умова теплового контакту між двома середовищами

1. Вплив розміщення опалювального приладу під віконним прорізом на тепловтрати

Схема повітряних потоків біля вікна



Залежність тепловтрат через вікно від відстані опалювального приладу

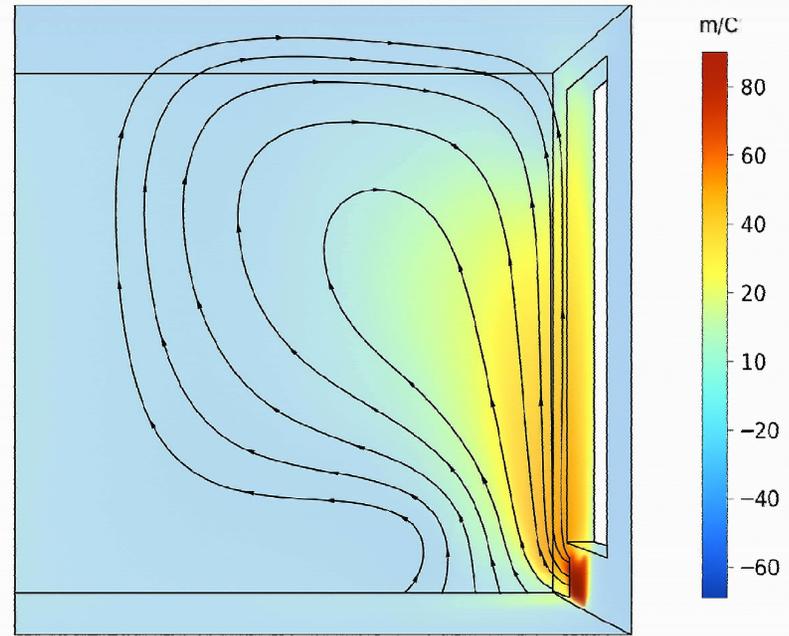


2. Чисельне моделювання у середовищі Comsol Multiphysics

Каркасний будинок типу Varnhaus



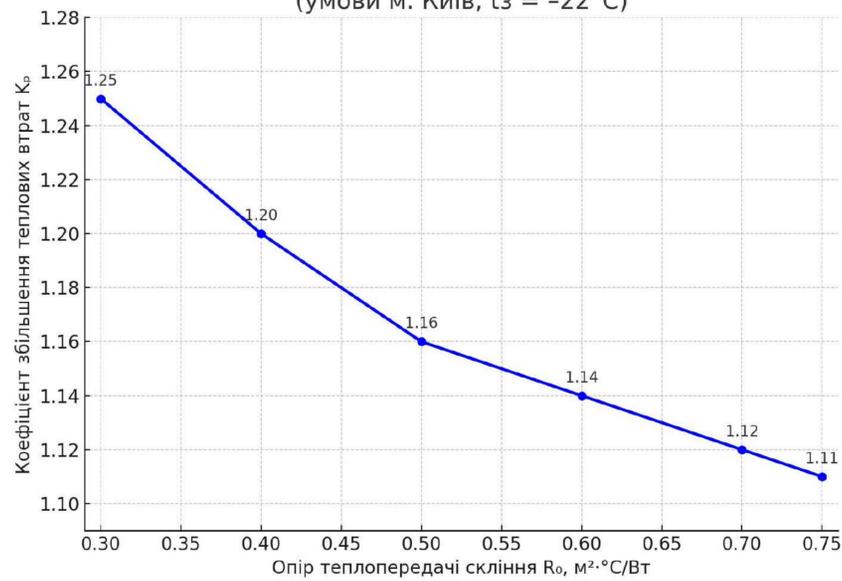
Візуалізація температурного поля та повітряних потоків у кімнаті з остікленням і підлоговим конвектором



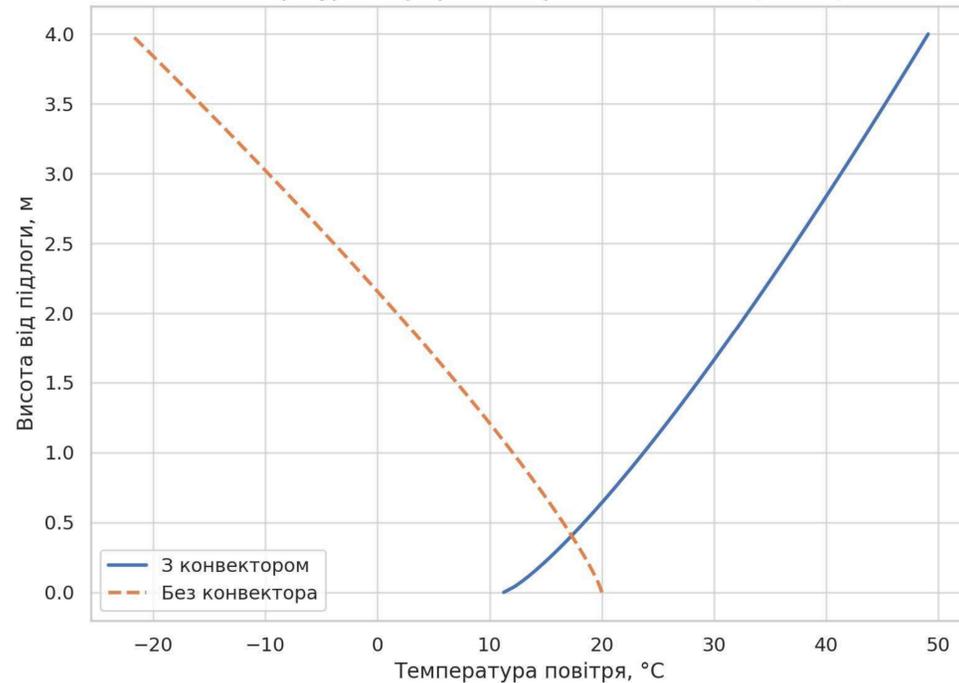
Будинок із газобетонних блоків



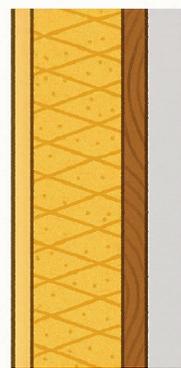
Залежність коефіцієнта збільшення теплових втрат K_p від R_o (умови м. Київ, $t_z = -22^\circ\text{C}$)



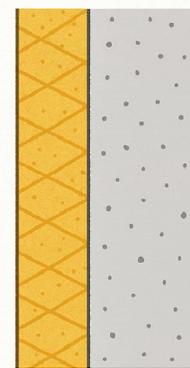
Температурний профіль повітря біля остіклення (м. Київ)



3. Розрахунок тепловтрат стін



Каркасна стіна з утепленням



Газобетон з утепленням

◆ Каркасна стіна з утепленням (200 мм вата + 50 мм деревини)
Опір теплопередачі $R \approx 6,05 \text{ m}^2 \cdot \text{C} / \text{Вт}$

Коефіцієнт теплопередачі $k \approx 0,165 \text{ Вт} / (\text{m}^2 \cdot \text{C})$

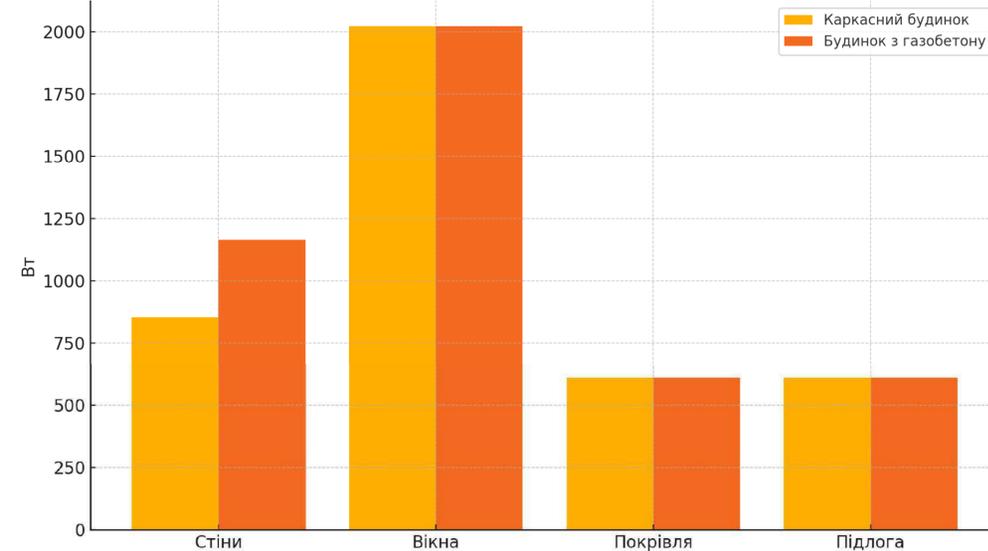
Втрати тепла через стіни ($A = 120 \text{ m}^2$, $\Delta t = 43^\circ\text{C}$):
 $Q = 853 \text{ Вт}$

◆ Газобетон з утепленням (газобетон 300 мм + вата 100 мм)
Опір теплопередачі $R \approx 4,44 \text{ m}^2 \cdot \text{C} / \text{Вт}$

Коефіцієнт теплопередачі $k \approx 0,225 \text{ Вт} / (\text{m}^2 \cdot \text{C})$

Втрати тепла через стіни ($A = 120 \text{ m}^2$, $\Delta t = 43^\circ\text{C}$):
 $Q = 1163 \text{ Вт}$

Порівняння тепловтрат за конструктивними елементами



4. Розрахунок часу охолодження будівлі без опалення для умов Києва

Критична температура внутрішнього повітря: +8°C

Початкова температура внутрішнього повітря: +21°C

Температура зовнішнього повітря (розрахункова для Києва): -22°C

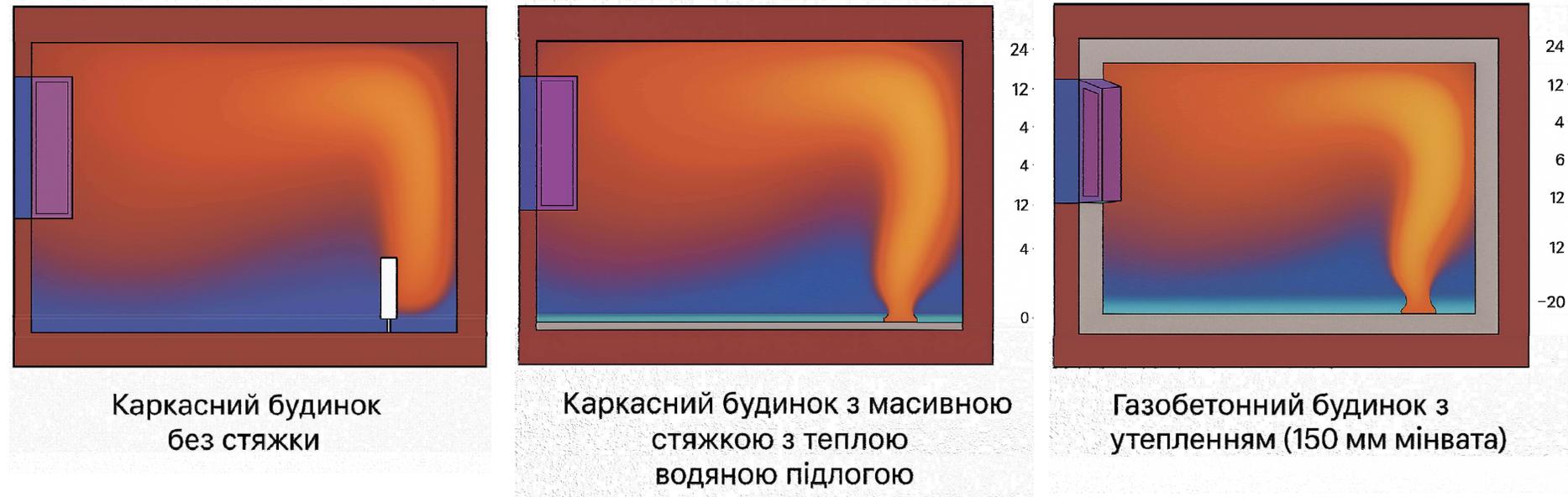
Для розрахунку використовується формула:

$$z = \beta \cdot \ln \left(\frac{t_1 - t_H}{t_2 - t_H} \right)$$

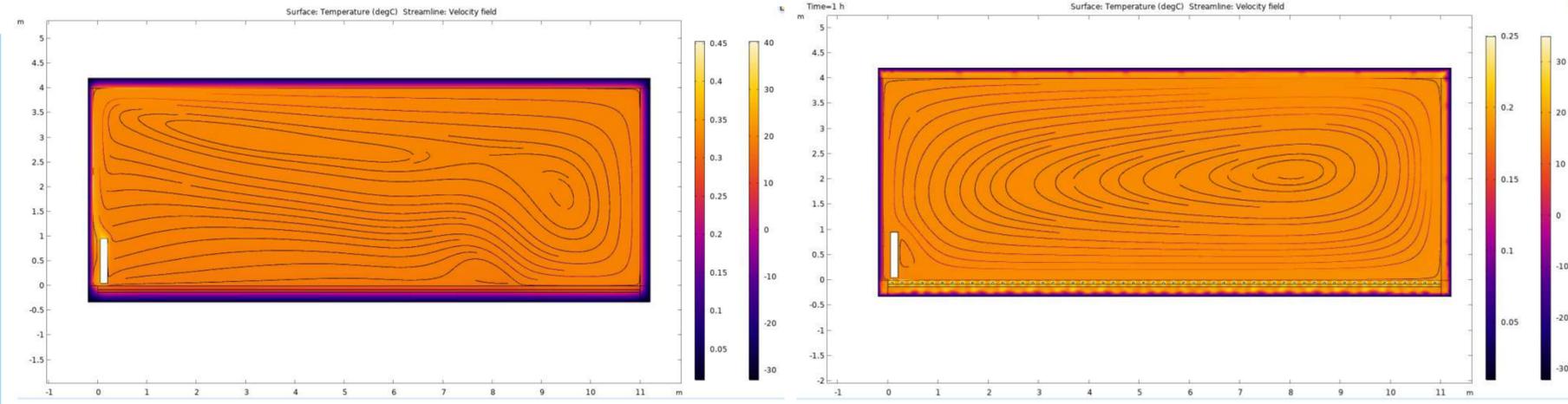
де:

- β — коефіцієнт акумуляції (год)
- $t_1 = 21^\circ C$ — початкова температура повітря
- $t_2 = 8^\circ C$ — температура, до якої охолоджується
- $t_H = -22^\circ C$ — температура зовнішнього повітря

Теплові розрізи кімнати для трьох варіантів конструкцій

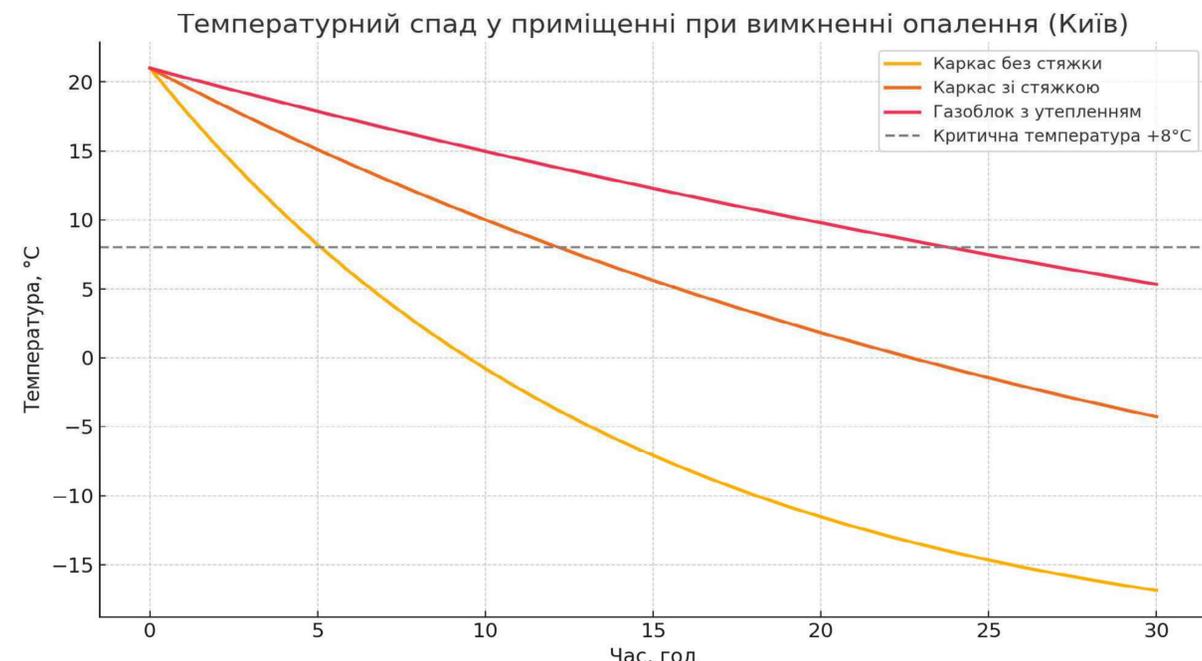


Теплові розрізи підлоги

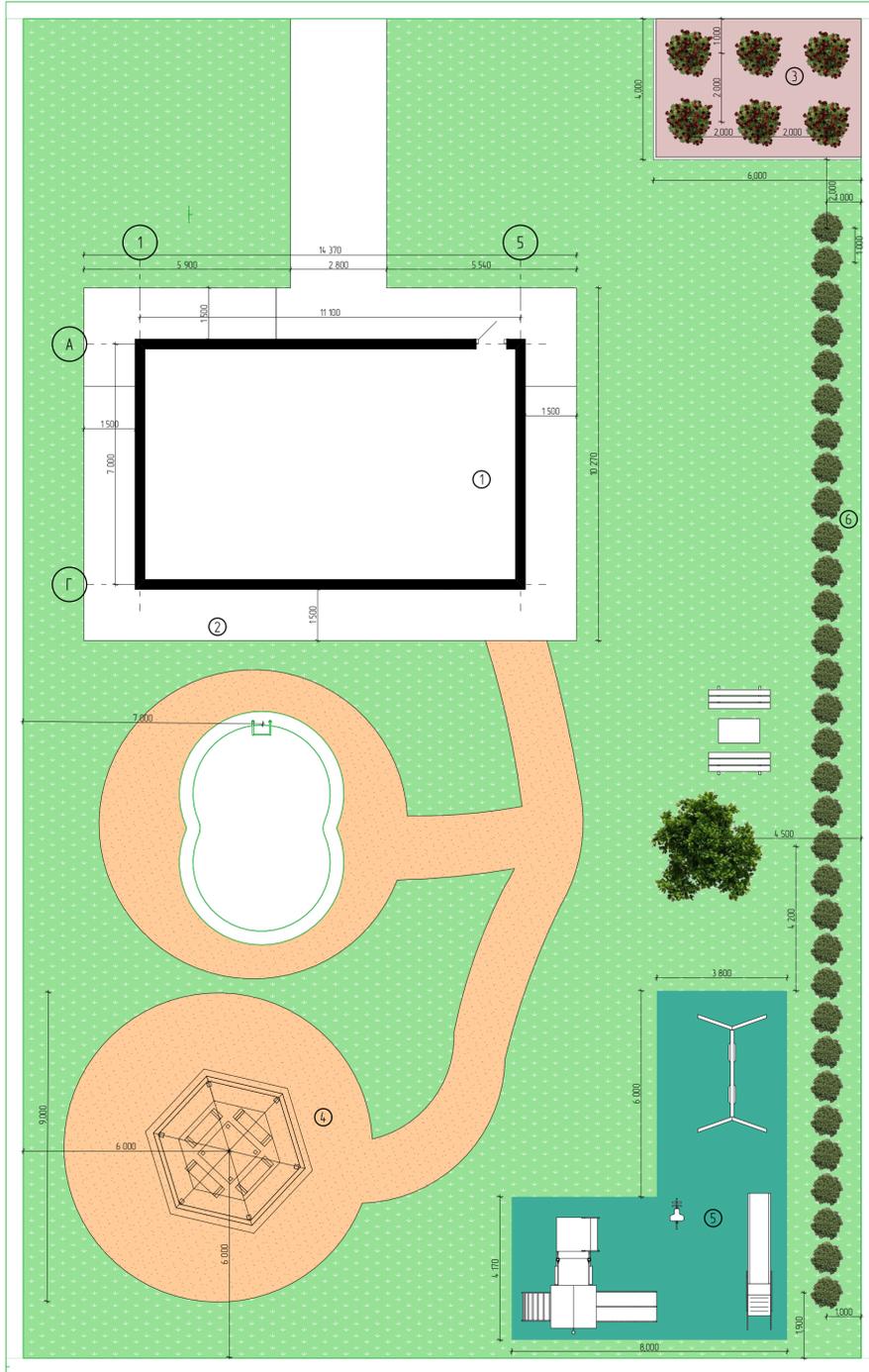


Порівняння часу охолодження

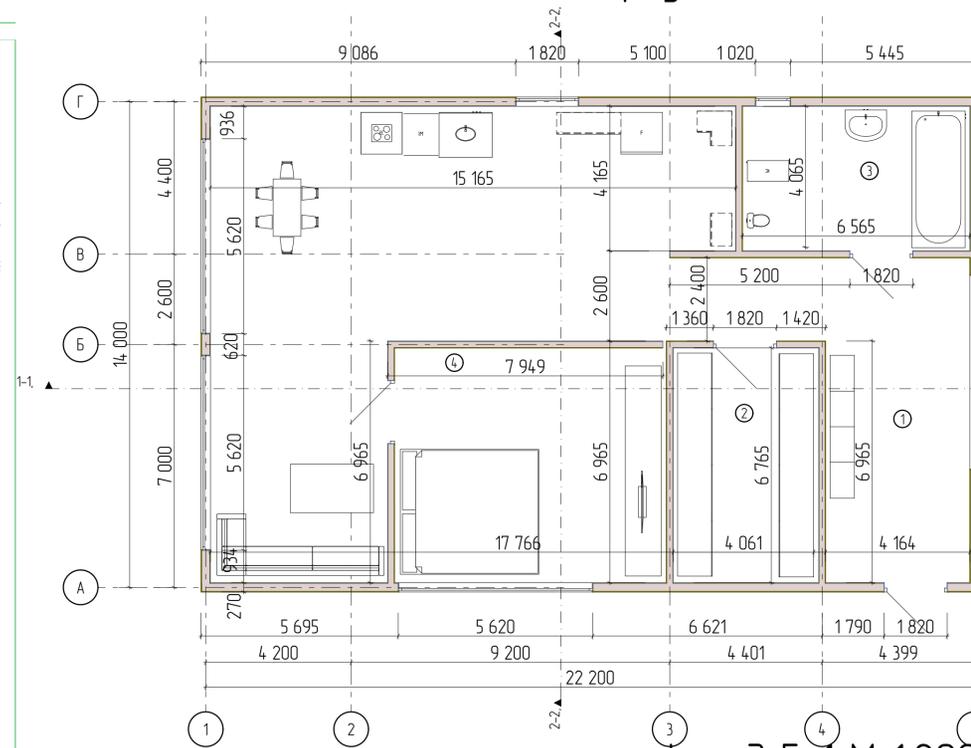
Тип конструкції	Коеф. акумуляції, год	Час охолодження до +8°C, год	Сер. швидкість охолодження, °C/год
Каркас без стяжки	14.15	5.09	2.55
Каркас зі стяжкою	33.86	12.19	1.07
Газоблок з утепленням	66.20	23.83	0.55



План благоустрою



План 1-го поверху М 1:200



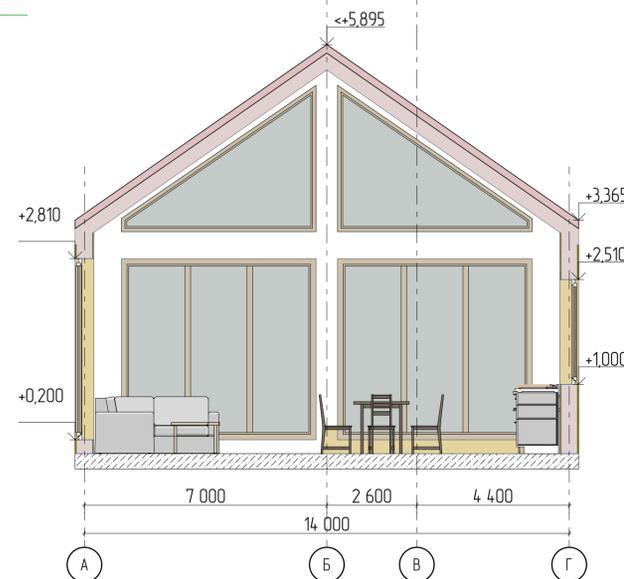
Експлікація приміщень

№	Найменування	Площа, м ²
1	Гамбур	11,62
2	Гардероб	6,53
3	Ванна	6,22
4	Кухня-вітальня	31,71
5	Спальня	12,48

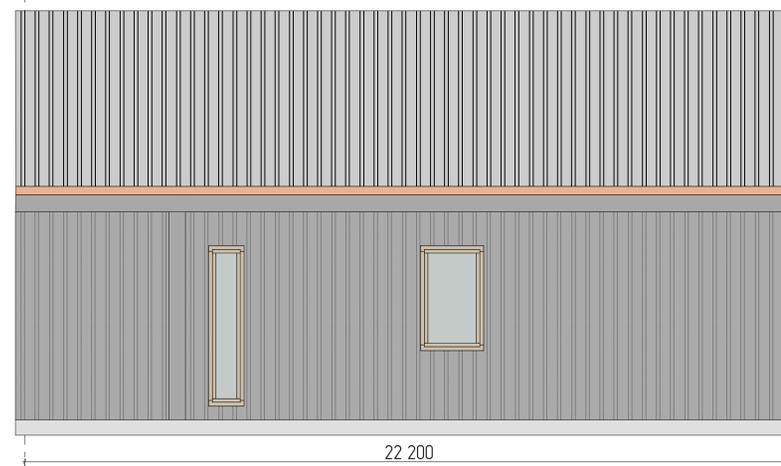
Умовні позначення

Позначення	Назва
	Дитячий майданчик
	Трава
	Житловий будинок
	Декоративна доріжка
	Квітник
	Мощення тротуарною плиткою

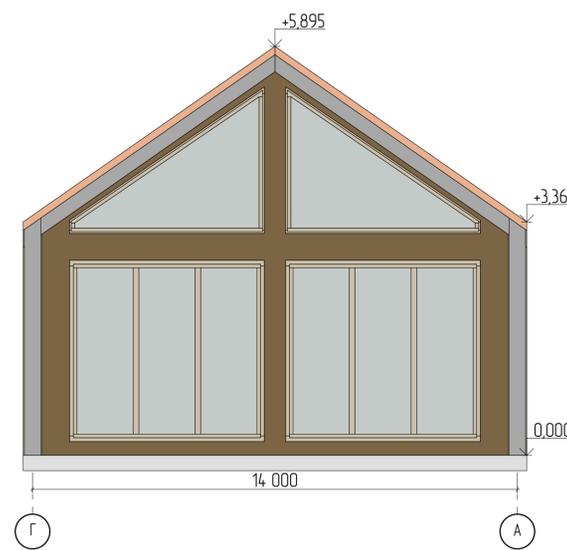
Розріз 2-2 М 1:200



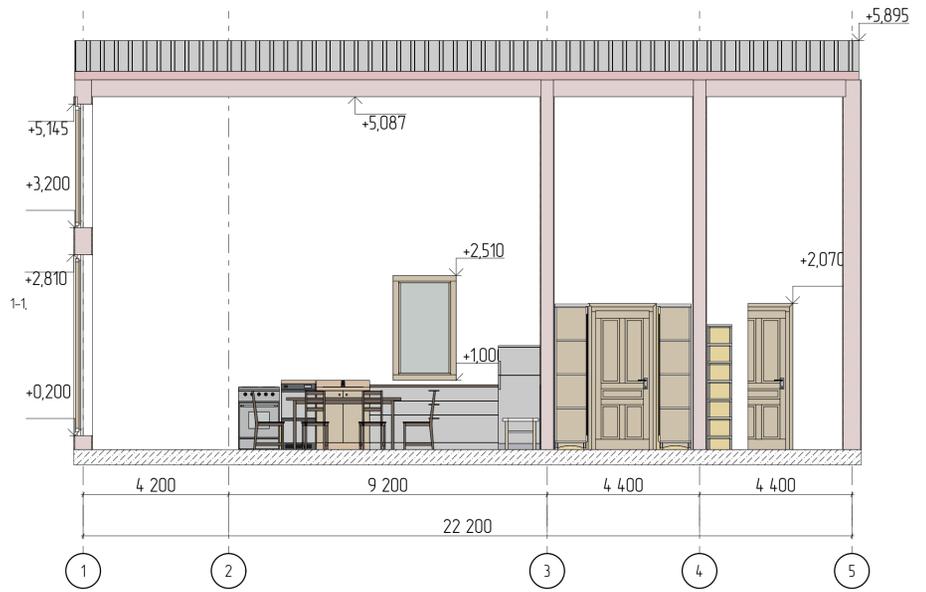
Фасад 5-1 М 1:200



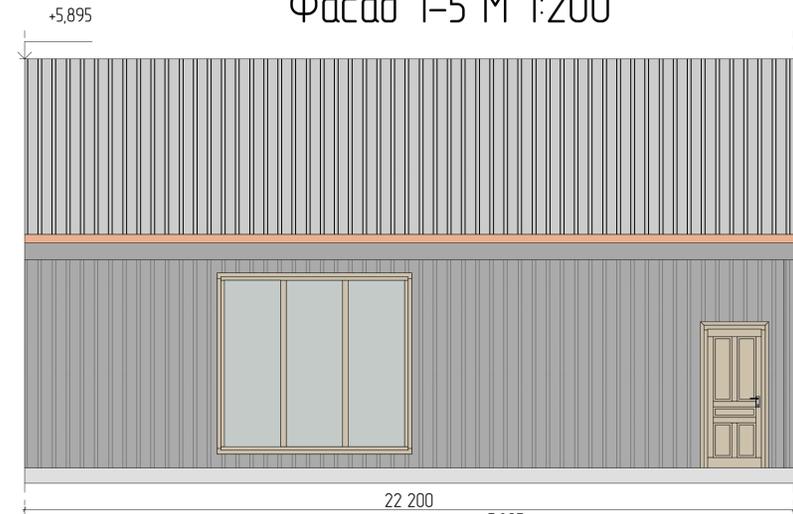
Фасад Г-А М 1:200



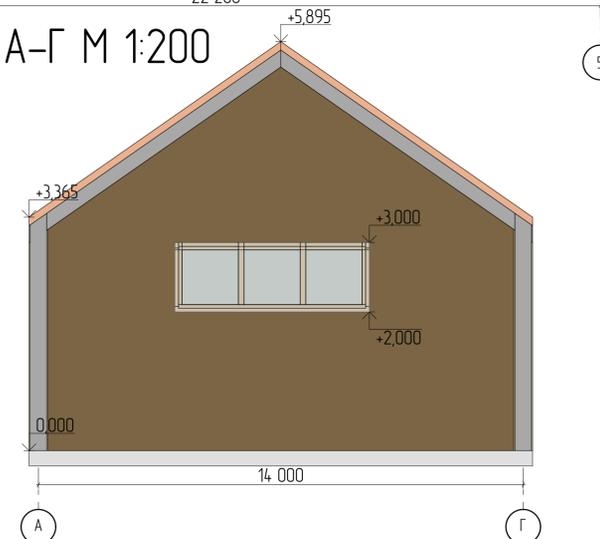
Розріз 1-1 М 1:200



Фасад 1-5 М 1:200



Фасад А-Г М 1:200



Техніко-економічні показники генерального плану для другого будинку

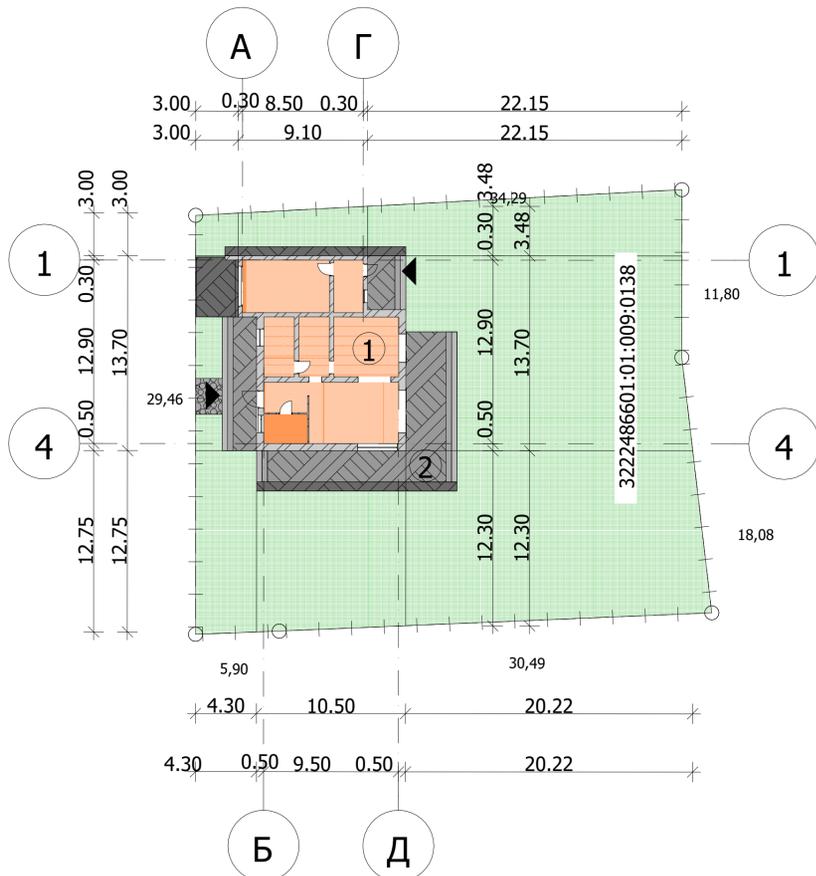
№	Назва показника	Величина
1	Площа ділянки, м ²	1000
2	Площа забудови, м ²	82,66
3	Відсоток забудови, %	8,266
4	Площа озеленення, м ²	828,92
5	Відсоток озеленення, %	82,892
6	Відсоток твердого покриття, %	8,892

Експлікація території для другого будинку

№	Найменування	Площа, м ²
1	Житловий будинок	82,66
2	Мощення тротуарною плиткою	88,92
3	Квітник	24,105
4	Зона відпочинку	163,84
5	Дитячий майданчик	56,303
6	Кущові насадження	40,254

08-11.МКР.015-АР				
Рациональні рішення для підвищення енергоефективності малоповерхових житлових будівель				
Зм.	Кільк.	Арк.	№Дж.	Підп.
Розробив	Адамова О.І.			
Перевірив	Джеджула В.В.			
Керівник	Джеджула В.В.			
Н.контроль	Масвська І.В.			
Опонент	Панкевич О.Д.			
Затвердив	Швець В.В.			
Малопверхова житлова будівля			Стадія	Лист
			П	10
План благоустрою, План першого поверху, Розріз 1-1, 2-2, Фасад в осях 1-5, 5-1, А-Г, Г-А			Листів	15
			ВНТУ, Б-23мз	

Генеральний план (М1:200)



Викопіювання з публічної кадастрової карти



Місце розташування земельної ділянки

Умовні позначення

- межа земельної ділянки
- контури будівель та споруд, що будуються
- покриття бетоном
- газон (зелені насадження)
- покриття бруківка
- контури покрівлі

Експлікація будівель та споруд

№ п/п	Найменування	Поверховість	Примітки
1	Житловий будинок	2	Проект
2	Тераса	1	

Основні ТЕР по генплану

№ п/п	Найменування	Одн. вимірювання	Кількість
1	Площа ділянки	га	0.1038
2	Площа забудови будинку і господарських споруд	м²	138,60
3	Відсоток забудови	%	13,35
4	Площа покриття бруківкою	м²	4,66
5	Площа виощення	м²	29,70
6	Площа озеленення	м²	767,30
7	Щільність озеленення	%	73,92

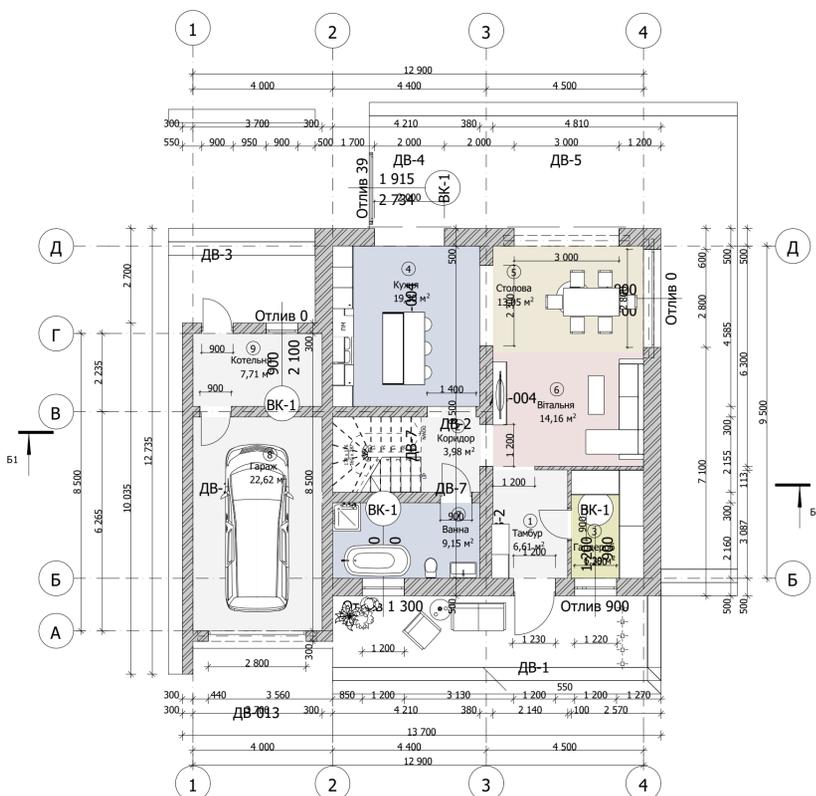
Специфікація матеріалів

Позначення	Найменування	Кільк.	Примітка
Перший поверх			
Газобетон	Зовнішні стіни 300 мм.	31,36 м³	
Газобетон	Внутрішні стіни 300 мм.	13,64 м³	
Керамічна цегла	Внутрішні стіни 380 мм	6,24 м³	320 цеглин
Газобетон	Внутрішні стіни 100 мм	1,52 м³	
Арматура	A500 Ø8	705 мп.	

Специфікація матеріалів

Позначення	Найменування	Кільк.	Примітка
Перший поверх			
Газобетон	Зовнішні стіни 300 мм.	24,97 м³	
Газобетон	Внутрішні стіни 300 мм.	12,39 м³	
Газобетон	Внутрішні стіни 100 мм	1,74 м³	
Арматура	A500 Ø8	625 мп.	

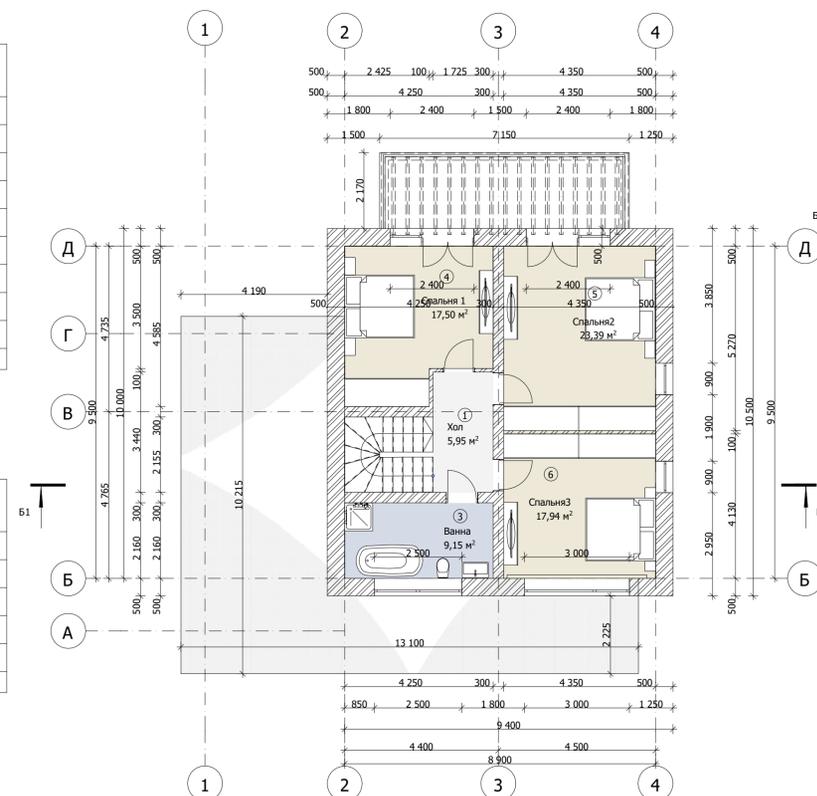
План першого поверху



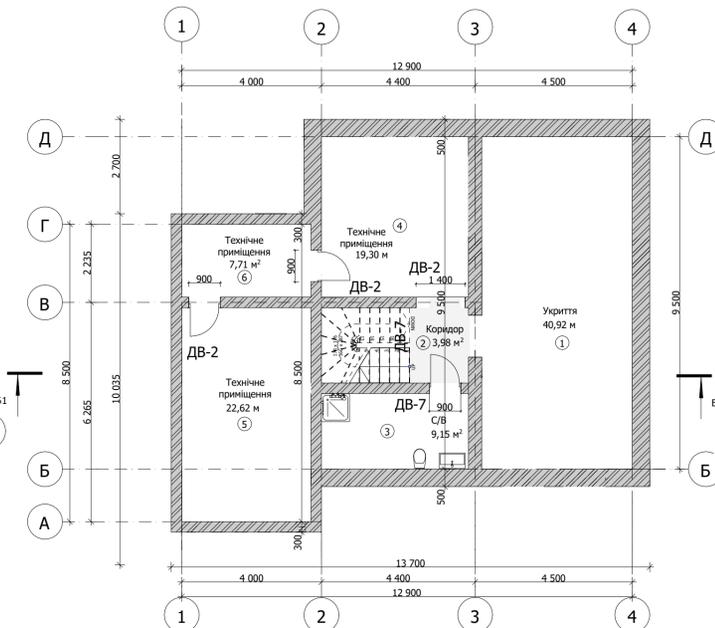
№	Найменування	Площа
1	Тамбур	6,61
2	Коридор	3,98
3	Гардероб	6,39
4	Кухня	19,30
5	Столова	13,75
6	Вітальня	14,16
7	Ванна	9,15
8	Гараж	22,62
9	Котельня	7,71
		103,67 м²

№	Найменування	Площа
1	Хол	5,95
3	Ванна	9,15
4	Спальня 1	17,50
5	Спальня 2	23,39
6	Спальня 3	17,94
		73,93 м²

План другого поверху



План підвалу

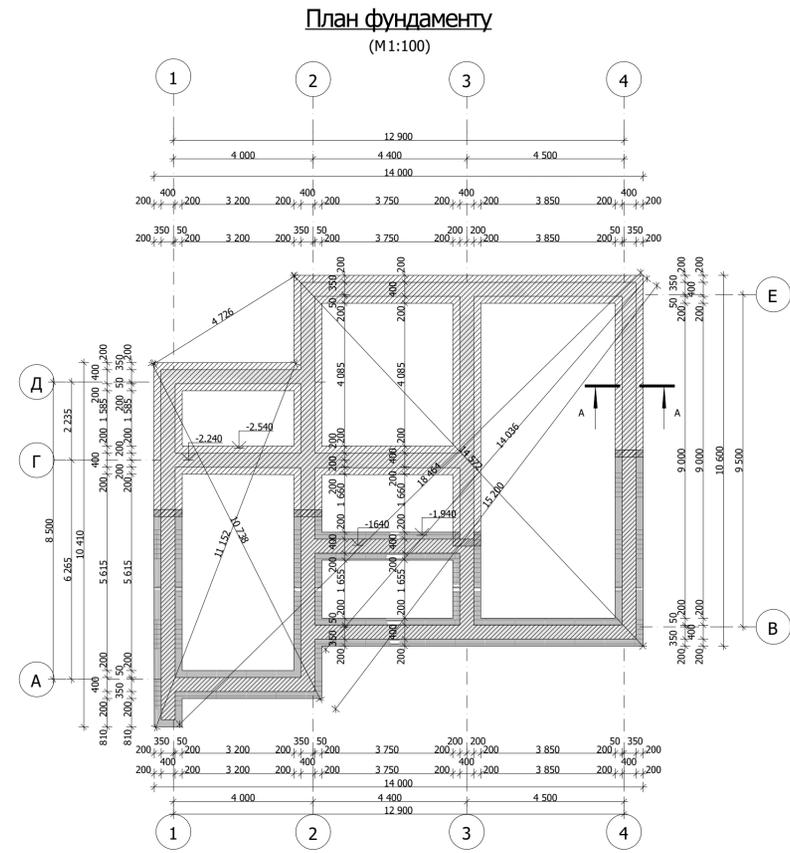


№	Назва	Площа
1	Укриття	40,92
2	Коридор	3,98
3	С/В	9,15
4	Технічне приміщення	19,30
5	Технічне приміщення	22,62
6	Технічне приміщення	7,71
		103,67 м²

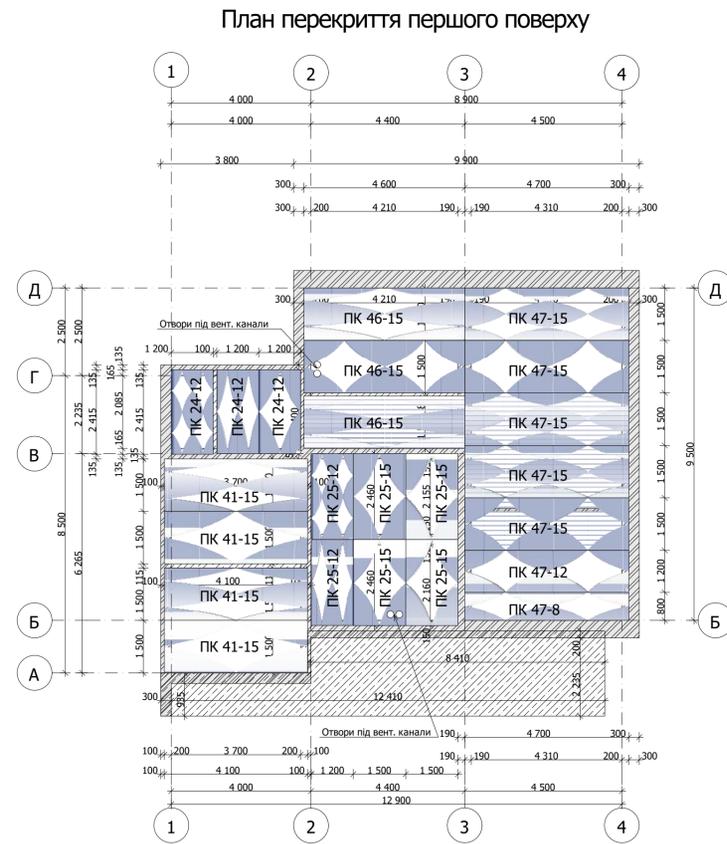
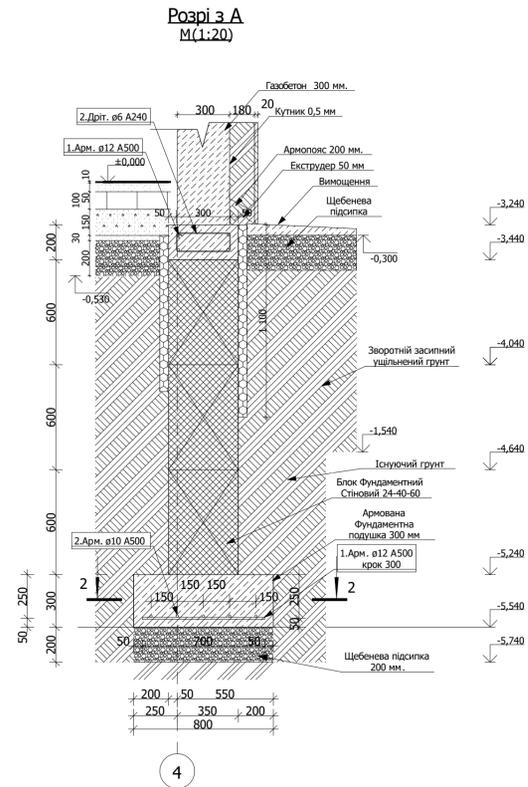
08-11.МКР.015-АР

Рациональні рішення для підвищення енергоефективності малоповерхових житлових будівель

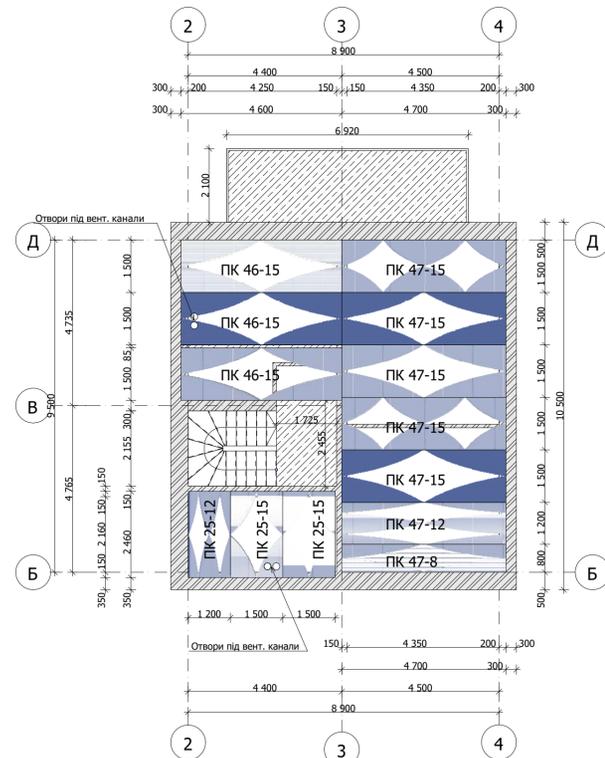
Зм.	Кільк.	Арх.	НрДж.	Підп.	Дата	Стадія	Лист	Листів
Розробив	Адамова О. І.					Малоповерхова житлова будівля	П	11
Перевірив	Джеджула В.В.							
Керував	Джеджула В.В.					Генеральний план, План першого поверху, План другого поверху	ВНТУ, Б-23мз	
Н.контроль	Масвська І.В.							
Опонент	Панкевич О.Д.							
Затвердив	Швець В.В.							



- Умовні позначення**
- Фундаментна плита на рівні -5.540
 - Стрічка фундаменту на рівні -5.240
 - Фундаментна плита на рівні -4.940
 - Стрічка фундаменту на рівні -4.640



План перекриття другого поверху



Специфікація матеріалів

Позначення	Найменування	Кільк.	Маса	Примітка
Перший поверх				
ПК 25-12	Багатопустотна плита перекриття	1 шт.		
ПК 25-15	Багатопустотна плита перекриття	2 шт.		
ПК 46-15	Багатопустотна плита перекриття	3 шт.		
ПК 47-15	Багатопустотна плита перекриття	5 шт.		
ПК 47-12	Багатопустотна плита перекриття	1 шт.		
ПК 47-8	Багатопустотна плита перекриття	1 шт.		
	Бетон Б15 W2 F50 ПЗ (М 150)	4,22 м ³		
ДСТУ Б В.2.6-173:2011	Сітка ВР1 ø10 А500 чарунка 20	19,2 м ²		

Специфікація матеріалів

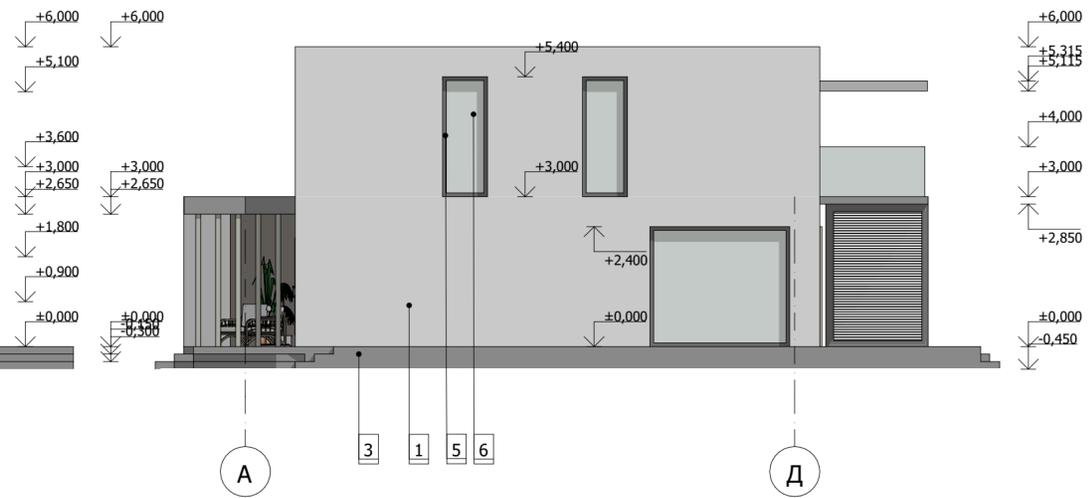
Позначення	Найменування	Кільк.	Маса	Примітка
Перший поверх				
ПК 24-12	Багатопустотна плита перекриття	3 шт.		
ПК 25-12	Багатопустотна плита перекриття	2 шт.		
ПК 25-15	Багатопустотна плита перекриття	4 шт.		
ПК 41-15	Багатопустотна плита перекриття	4 шт.		
ПК 46-15	Багатопустотна плита перекриття	3 шт.		
ПК 47-15	Багатопустотна плита перекриття	5 шт.		
ПК 47-12	Багатопустотна плита перекриття	1 шт.		
ПК 47-8	Багатопустотна плита перекриття	1 шт.		
	Бетон Б15 W2 F50 ПЗ (М 150)	5,64 м ³		
ДСТУ Б В.2.6-173:2011	Сітка ВР1 ø10 А500 чарунка 20	27,7 м ²		

08-11.МКР.015-АР							
Рациональні рішення для підвищення енергоефективності малоповерхових житлових будівель							
Ем.	Кільк.	Арх.	НДІДж.	Підп.	Дата		
Розробив	Адамова О. І.						
Перевірив	Джеджула В.В.						
Керівник	Джеджула В.В.						
Н.контр.	Мавська І.В.						
Опомент	Ланкевич О.Д.						
Затвердив	Швець В.В.						
Малоповерхова житлова будівля					Стадія	Лист	Листів
План фундаменту, План перекриття першого поверху, План перекриття другого поверху					П	12	15
					ВНТУ, Б-23мз		

Фасад 1-4



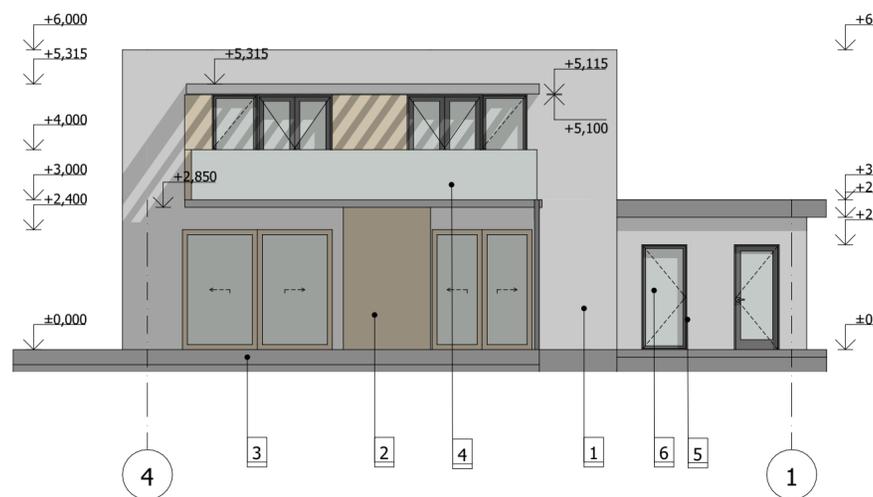
Фасад А-Д



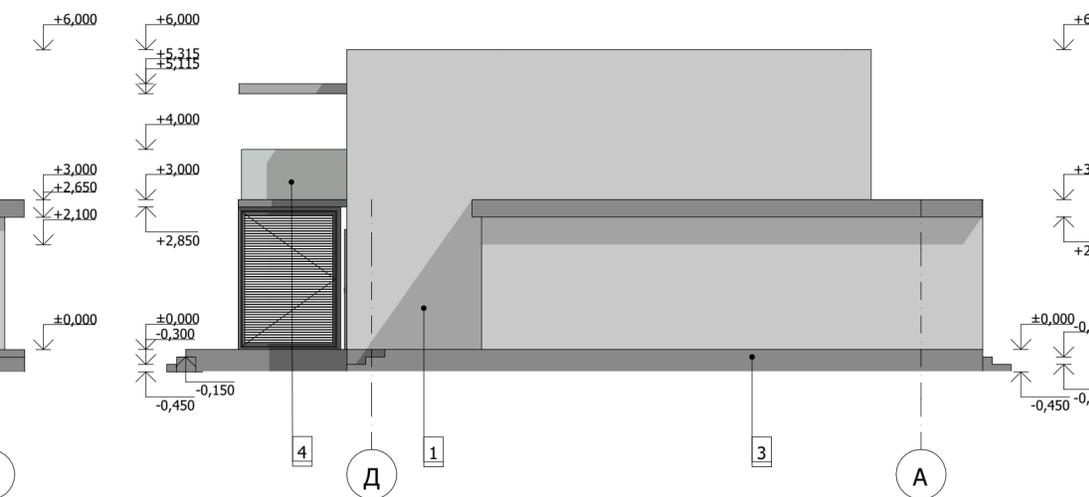
Відомість опорядження фасадів

Поз.	Елементи будівлі	Вид опорядження	Колір	Примітки
1	Поверхня стін	Фасадна штукатурка	Колір - відтінок білого	Колір - відтінок білого
2	Поверхня стін	Декоративне оздоблення	Колір - відтінок сірого	Колір - відтінок сірого
3	Поверхня цоколя	Фасадна штукатурка	Колір - відтінок сірого	Колір - відтінок сірого
4	Огорожа балкону	Прозоре/матове скло	Колір - відтінок сірого	Колір - відтінок сірого
5	Поверхня вікон	Металопластик	Колір - темно-сірий	Колір - темно-сірий
6	Вікна	Прозоре скло	Відтінок блакитного	Відтінок блакитного

Фасад 4-1



Фасад Д-А



Відомість опорядження фасадів

Поз.	Елементи будівлі	Вид опорядження	Колір	Примітки
1	Поверхня стін	Фасадна штукатурка	Колір - відтінок білого	Колір - відтінок білого
2	Поверхня стін	Декоративне оздоблення	Колір - відтінок сірого	Колір - відтінок сірого
3	Поверхня цоколя	Фасадна штукатурка	Колір - відтінок сірого	Колір - відтінок сірого
4	Огорожа балкону	Прозоре/матове скло	Колір - відтінок сірого	Колір - відтінок сірого
5	Поверхня вікон	Металопластик	Колір - темно-сірий	Колір - темно-сірий
6	Вікна	Прозоре скло	Відтінок блакитного	Відтінок блакитного

ПОГОДЖЕНО:

Ім'я: _____
 Підпис / дата: _____
 Замість ім'я: N _____
 Ім'я: _____

08-11.МКР.015-АР					
Рациональні рішення для підвищення енергоефективності малоповерхових житлових будівель					
Зм.	Кільк.	Арх.	№Док.	Підп.	Дата
Розробив	Адамова О. І.				
Перевірив	Джеджула В.В.				
Керівник	Джеджула В.В.				
Н.контроль	Маєвська І.В.				
Опонент	Панкевич О.Д.				
Затвердив	Швець В.В.				
Малоповерхова житлова будівля				Стадія	Лист
Фасад 1-4, Фасад А-Д, Фасад 4-1, Фасад Д-А				П	13
				Листів	15
				ВНТУ, Б-23мз	

ПОРІВНЯННЯ СИСТЕМ ОПАЛЕННЯ ДЛЯ ПРОЕКТОВАНОГО БУДИНКУ

Електрична тепла підлога – Економічне обґрунтування

Площа покриття: 100 м² з 121,9 м²

- Потужність: 15 кВт
- Кількість термостатів: 5–7 шт
- Основні матеріали: нагрівальні мати, теплоізоляція, гідроізоляція, стяжка

Таблиця 1 – Кошторисна вартість електричної теплої підлоги

Категорія	Вартість, грн
Матеріали	78 000 – 96 000
Роботи	45 000 – 70 000
Загалом	123 000 – 166 000

Електричні конвектори – Альтернативне рішення

Загальна потужність: ≈12–13 кВт

- Необхідна кількість: 7–8 шт
- Переваги: простий монтаж, низька вартість

Таблиця 2 – Кошторисна вартість електричних конвекторів

Категорія	Вартість, грн
Матеріали	33 000 – 41 000
Роботи	3 500 – 5 000
Загалом	36 500 – 46 000

Графік демонструє **значну економію при використанні теплої підлоги:**

•Тепла підлога:

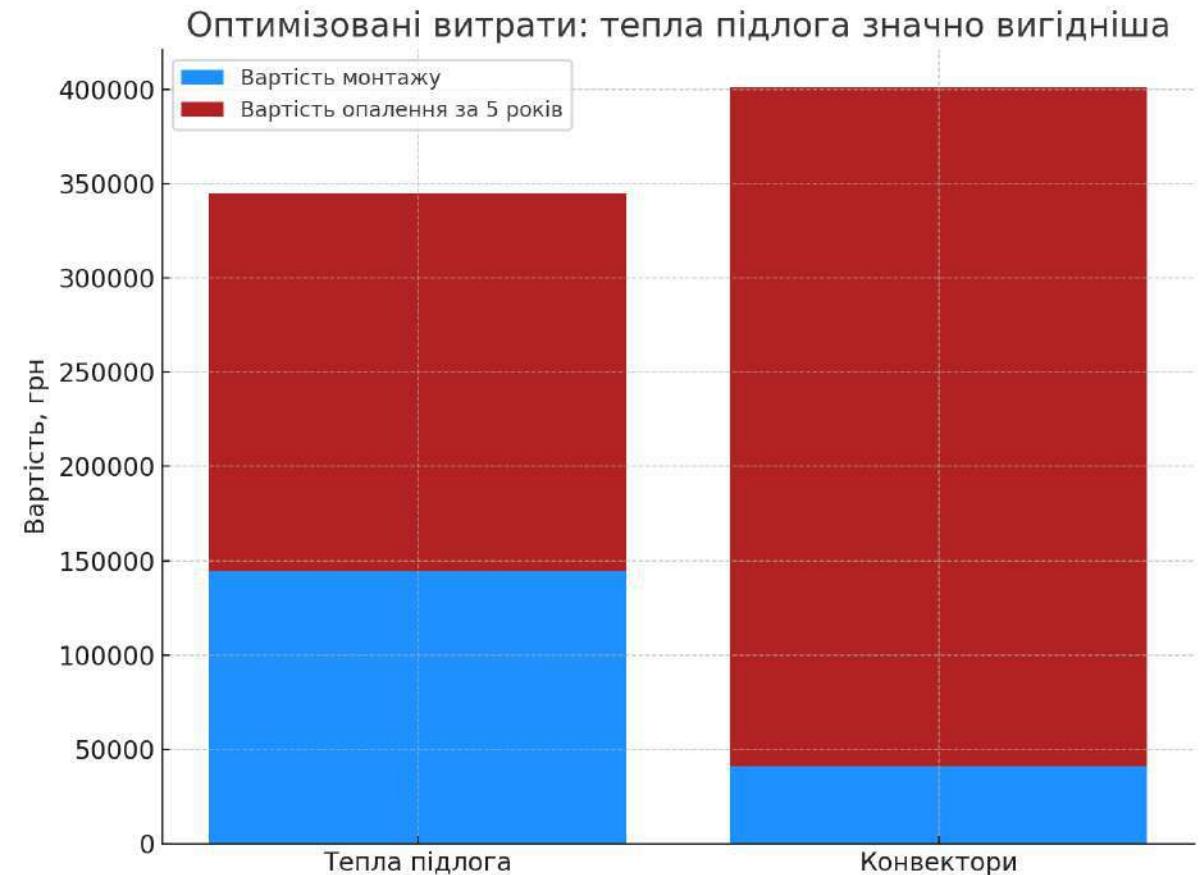
- Монтаж ≈ **144 500 грн**
- Опалення (за 5 років) ≈ **200 000 грн**
- **Разом: 344 500 грн**

•Конвектори:

- Монтаж ≈ **41 250 грн**
- Опалення (за 5 років) ≈ **360 000 грн**
- **Разом: 401 250 грн**

Техніко-економічне порівняння систем

Система опалення	Вартість, грн	Коротка характеристика
Електричні конвектори	36 500 – 46 000	Дешеві, швидкий монтаж, менш комфортне тепло
Електрична тепла підлога	123 000 – 166 000	Комфортна, прихована система, складний монтаж



☑ Перевага теплої підлоги = **економія ≈ 56 750 грн за 5 років**

ВІДГУК РЕЦЕНЗЕНТА
магістерської кваліфікаційної роботи
здобувача Адамової О. І.

на тему: «Раціональні рішення для підвищення енергоефективності
малоповерхових житлових будівель»

Магістерська кваліфікаційна робота, що подана на опонування, виконана на кафедрі будівництва, міського господарства та архітектури виконана в повному обсязі та у відповідності нормативним вимогам. Тема роботи актуальна і пояснюється тим, що в умовах постійного зростання вартості енергоносіїв, нестабільного енергетичного ринку, а також посилення екологічних вимог, питання енергоефективності набувають пріоритетного значення. Метою роботи є розробка та обґрунтування раціональних архітектурно-конструктивних і інженерних рішень для підвищення енергоефективності малоповерхових житлових будівель в умовах відсутності централізованого тепlopостачання та енергетичної нестабільності.

МКР складається з п'яти основних розділів пояснювальної записки. Перші розділи присвячені дослідженню сучасних архітектурно-конструктивних та інженерних рішень, що сприяють зниженню теплових втрат, зокрема впровадження теплоізоляційних систем, технологій SIP-панелей, систем рекуперації та автоматизованого управління мікрокліматом. Проведено огляд світового й вітчизняного досвіду реалізації енергоефективного житла. У четвертому розділі роботи здійснено порівняльне теплотехнічне моделювання двох варіантів будівель – з газоблоку та з SIP-панелей – з різними системами опалення. Визначено їхній вплив на тепловтрати, тривалість остигання приміщень при аварійному відключенні електроенергії та рівень енергетичної автономності. П'ятий розділ присвячений техніко-економічним порівнянням двох варіантів систем опалення – електричної теплої підлоги та електричних конвекторів. Обґрунтовано вибір системи опалення залежно від пріоритетів: вартість чи комфорт. Результати дослідження можуть бути використані для проєктування нових енергоефективних будинків у приватному секторі та реконструкції існуючих житлових об'єктів.

В МКР наявні наступні недоліки:

1. На листі благоустрою території варто було б додати розбивочно-посадкове креслення та позначення інженерних комунікацій на території проєктування
2. У пояснювальній записці та у також і у графічній частині відсутній вузол по фундаменту. Відсутній другий розріз по будинку.

МКР виконана на високому рівні та при відповідному захисті заслуговує на оцінку «А», 90.

Здобувач О. І. Адамова заслуговує присвоєння кваліфікації магістр зі спеціальності 192 - Будівництво та цивільна інженерія будівництва, ОПП «Промислове та цивільне будівництво».

Рецензент

кандидат технічних наук,
доцент кафедри ІСБ



Ольга ПАНКЕВИЧ

ВІДГУК
керівника магістерської кваліфікаційної роботи
здобувача Адамової О. І.

**«РАЦІОНАЛЬНІ РІШЕННЯ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ
ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ МАЛОПОВЕРХОВИХ ЖИТЛОВИХ
БУДІВЕЛЬ»**

Актуальність теми магістерського дослідження пояснюється, необхідністю реалізації заходів з енергозбереження та підвищення енергетичної ефективності в житловому будівництві. Як відомо, житловий фонд країни та будівельний сектор один з найбільших споживачів паливно-енергетичних ресурсів країни, а тому напрямки зниження енергетичного споживання важливий аспект енергетичної незалежності країни. Упродовж останніх років Вінниця демонструє динамічний розвиток житлової інфраструктури, зростає кількість населення, активізується попит на сучасне, зручне та доступне житло.

У магістерській кваліфікаційній роботі досліджено шляхи підвищення енергоефективності малоповерхових житлових будівель в умовах енергетичної нестабільності та відсутності централізованого теплопостачання. Проаналізовано сучасні архітектурно-конструктивні та інженерні рішення, що сприяють зниженню теплових втрат, зокрема впровадження теплоізоляційних систем, технологій SIP-панелей, систем рекуперації та автоматизованого управління мікрокліматом. Проведено огляд світового й вітчизняного досвіду реалізації енергоефективного житла.

МКР відповідає усім методичним вимогам щодо оформлення.

МКР виконана вчасно і в повному обсязі.

МКР може бути реалізована в будівельній практиці.

В МКР наявні наступні недоліки:

1. Варто було б детальніше підрозділ з описом генерального плану, нанести на кресленні розміри та усі умовні позначення

2. У технічній частині варто було б більш детально розглянути архітектурні рішення запроєктованих будівель, а також порівняння різних технологій влаштування утеплення підлоги першого поверху.

Проте вказані недоліки не знижують високий науковий та практичний зміст роботи, магістерська кваліфікаційна робота виконана на високому рівні та при відповідному захисті заслуговує на оцінку «А», 90.

Здобувач Адамова О. І. заслуговує присвоєння кваліфікації магістр зі спеціальності 192 - Будівництво та цивільна інженерія будівництва, ОПП «Промислове та цивільне будівництво».

Керівник магістерської
кваліфікаційної роботи
д.е.н, професор, асистент



Джеджула В.В.