МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ІМ. Ю.М. ПОТЕБНІ
ЗАПОРІЗЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ

Кафедра промислового та цивільного будівництва

Кваліфікаційна робота/проект

_____другий магістерський рівень_____
(рівень вищої освіти)

на тему: Економічне і технічне обґрунтування оптимального рівня енергоефективності житлових будівель в Україні

Виконав: студент 2 курсу, групи 8.1924-пцб
спеціальності 192 Будівництво та цивільна інженерія
(код і назва спеціальності)
освітньої програми промислове і цивільне будівництво
(код і назва освітньої програми)
_____Карпов Віталій Володимирович_____
(прізвище та ініціали)

Керівник _____доц., к.т.н., Мішук К.М._____
посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали

Рецензент _____проф., д.т.н. Арутюнян І.А._____
посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали

Запоріжжя
2025

2

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ІМ. Ю.М. ПОТЕБНІ
ЗАПОРІЗЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ

Кафедра Промислового та цивільного будівництва
Рівень вищої освіти другий (магістерський)
(другий (магістерський) рівень)
Спеціальність 192 «Будівництво та цивільна інженерія»
(шифр і назва)
Освітня програма «Промислове і цивільне будівництво»
(шифр і назва)
Спеціалізація -
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:
завідувач кафедри *промислового та цивільного будівництва*
проф. І.А. Арутюнян
"05" 04 2025 року

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ / ПРОЕКТ СТУДЕНТОВІ (СТУДЕНТЦІ)

Карпов Віталій Володимирович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи (проекту) Економічне і технічне обґрунтування оптимального рівня енергоефективності житлових будівель в Україні

керівник роботи Мішук Катерина Миколаївна, доц., к.т.н.,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом ЗНУ від "27" 02 2025 року № *317 – с*

2. Строк подання студентом кваліфікаційної роботи грудень 2025р.

3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи літературні, довідкові та нормативні матеріали з енергоефективного будівництва,

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Вступ, розділ 1 – Світові тенденції у сфері підвищення енергоефективності і скорочення викиду парникових газів у будівництві; розділ 2 – Наукові дослідження та технічні досягнення в області підвищення енергоефективності житлового будівництва; розділ 3 – Методика розрахунку і бази даних для визначення оптимального рівня теплоізоляції жилих будівель;

4 – Результати визначення оптимального рівня теплоізоляції житлов
будівель і його впливу на зниження тепловтрат будівель і наступно
скорочення емісії парникових газів

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкови
креслень) 8 листів

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи магістра

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийня
Розділ 1	Мішук К.М., доц. кафедри		
Розділ 2	Мішук К.М., доц. кафедри		
Розділ 3	Мішук К.М., доц. кафедри		
Розділ 3	Мішук К.М., доц. кафедри		

7. Дата видачі завдання

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Прим
1	Розділ 1	1.09.2025 - 1.10.2025	
2	Розділ 2	2.10.2025 – 20.10.2025	
3	Розділ 3	21.10.2025 – 1.11.2025	
4	Розділ 4	1.11.25 - 30.11.2025	

Студент _____ (підпис) Карпов В.В. (прізвище та ініціали)

Керівник роботи (проекту) _____ (підпис) Мішук К.М. (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер _____ (підпис) Данкевич Н.О. (ініціали та прізвище)

АНОТАЦІЯ

Карпов Віталій Володимирович. Економічне і технічне обґрунтування оптимального рівня енергоефективності житлових будівель в Україні.

Кваліфікаційна випускна робота для здобуття ступеня вищої освіти магістра за спеціальністю 192 Будівництво та цивільна інженерія, науковий керівник К.М. Мішук. Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потебні Запорізького національного університету, кафедра промислового та цивільного будівництва, 2025.

У роботі проаналізовано сучасні світові підходи до підвищення енергоефективності та скорочення викидів парникових газів у будівництві, а також їхній вплив на формування нормативних вимог в Україні. Визначено значення інноваційних матеріалів і технологій у зниженні тепловтрат та екологічного навантаження на будівлі. У другому розділі подано огляд наукових досліджень та міжнародних концепцій проєктування енергоефективних будівель, а також технічних рішень, що забезпечують зменшення енергоспоживання в житловому секторі. Третій розділ зосереджено на методиці визначення оптимального рівня теплоізоляції з урахуванням кліматичних умов, параметрів внутрішнього мікроклімату та довговічності конструкцій. Визначено принципи формування кліматичних і технічних баз даних та побудови моделей житлових будівель для подальших розрахунків. Отримані результати можуть бути використані для проєктування та термомодернізації житлових будинків, а також при формуванні стратегій енергоефективного та сталого розвитку будівництва в Україні.

Ключові слова: енергоефективність будівель, тепловий захист, теплоізоляція, кліматичні дані, парникові гази.

Список публікацій магістранта:

1. В.В. Карпов, К.М. Мішук. Економічне і технічне обґрунтування оптимального рівня енергоефективності житлових будівель в Україні. *Інженерні інновації та розбудова національної економіки*, 2025. С. 619-621.

ABSTRACT

Karpov Vitaly Volodimirovich. Economic and technical justification of the optimal level of energy efficiency for residential buildings in Ukraine.

Qualified graduation work to achieve a higher level of master's degree in the specialty 192 Life and civil engineering, scientific ceramics specialist K.M. Mishuk. Engineering Basic Science Institute named after. Yu.M. Potebni Zaporizhzhya National University, Department of Industrial and Civil Life, 2025.

The study analyzes current global trends in improving energy efficiency and reducing greenhouse gas emissions in the construction sector, as well as their influence on national regulatory frameworks in Ukraine. The role of modern materials and technologies in reducing heat losses and environmental impact is identified.

The second chapter provides an analytical review of scientific research and international concepts of energy-efficient building design, highlighting technical solutions that reduce energy consumption in the residential sector.

The third chapter focuses on the methodology for determining the optimal level of thermal insulation, considering local climatic conditions, indoor comfort parameters, and the service life of building structures. It also outlines the principles for creating climate and technical databases and developing representative residential building models for further calculations and optimization.

The results of the study can be applied in the design and thermal modernization of residential buildings, as well as in shaping strategies for sustainable and energy-efficient development of the construction sector in Ukraine.

Keywords: building energy efficiency, thermal protection, thermal insulation, climatic data, greenhouse gases.

List of postgraduate publications

1. В.В. Карпов, К.М. Мішук. Економічне і технічне обґрунтування оптимального рівня енергоефективності житлових будівель в Україні. *Інженерні інновації та розбудова національної економіки*, 2025. С. 619-621.

ЗМІСТ

	ВСТУП	6
1	**СВІТОВІ ТЕНДЕНЦІЇ У СФЕРІ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ І СКОРОЧЕННЯ ВИКИДУ ПАРНИКОВИХ ГАЗІВ У БУДІВНИЦТВІ**	10
1.1	Хронологія впровадження вимог щодо енергоефективності у будівництві	10
1.2	Аналіз співвідношення використання енергії у будинках та захистом навколишнього середовища	14
1.3	Вдосконалення будівельних матеріалів та технологій для скорочення споживання енергії та викиду парникових газів у будівництві	16
1.4	Головні цілі, заходи та очікувані результати щодо підвищення енергоефективності будівництва в Україні	19
2	**НАУКОВІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ТЕХНІЧНІ ДОСЯГНЕННЯ В ОБЛАСТІ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ЖИТЛОВОГО БУДІВНИЦТВА**	29
2.1	Аналіз наукових досліджень у сфері визначення та сертифікації енергоефективності будівель	29
2.2	Огляд світових концепцій проєктування та будівництва енергоефективних будівель	30
2.3	Технічні аспекти збільшення енергоефективності будівель	35
3	**МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ І БАЗИ ДАНИХ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОГО РІВНЯ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЇ ЖИЛИХ БУДІВЕЛЬ**	55
3.1	Методика визначення оптимального рівня теплоізоляції	55
3.2	Визначення кліматичних даних та вимог до умов внутрішнього мікроклімату	58
3.3	Визначення терміну експлуатації будівель та їх конструктивних елементів	65
3.4	Створення моделей репрезентативних житлових будинків	69
3.5	Створення бази даних інвестицій на будівництво	73
3.6	Визначення енергетичних витрат житлових будинків протягом терміну експлуатації	76
3.7	Розрахунок річних витрат за підвищення теплоізоляції що огороджують конструкцій	77
4	**РЕЗУЛЬТАТИ ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОГО РІВНЯ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЇ ЖИЛИХ БУДІВЕЛЬ І ЙОГО ВПЛИВУ НА ЗНИЖЕННЯ ТЕПЛОВТРАТ БУДІВЕЛЬ І НАСТУПНОГО СКОРОЧЕННЯ ЕМІСІЇ ПАРНИКОВИХ ГАЗІВ**	79
4.1	Розрахунок та аналіз оптимальної теплоізоляції огороджувальних конструкцій житлових будівель	79
4.2	Розрахунок енергетичних характеристик зразкових будівель з рекомендованими теплоізоляційними властивостями огороджувальних конструкцій	87
4.3	Аналіз можливостей зниження емісії парникового газу підвищуючи енергоефективність нових житлових будівель	88
	ВИСНОВКИ	93
	Список використаних джерел	95

ВСТУП

Актуальність теми. Підвищення енергоефективності будівель та впровадження програм енергозбереження є одним із ключових напрямів розвитку економіки сучасної України, зокрема в умовах воєнних викликів та необхідності відновлення інфраструктури. Для Запоріжжя, як великого промислового регіону з високим енергоспоживанням та значними обсягами житлового фонду, питання раціонального використання енергії є особливо актуальним. Оптимізація теплозахисту будівель сприяє зменшенню витрат домогосподарств, підвищує енергетичну безпеку та покращує екологічний стан міста.

Перехід до енергоефективного будівництва стимулює модернізацію технологій, впровадження сучасних матеріалів, розвиток наукових досліджень та удосконалення професійних компетентностей фахівців галузі. В Україні діють державні програми енергоефективності, спрямовані на термомодернізацію житлових будинків, зменшення споживання теплової енергії та впровадження інноваційних інженерних систем. Особливої уваги потребує житловий фонд радянської забудови, який у середньому споживає у 2–3 рази більше теплової енергії, ніж аналогічні будинки в країнах ЄС.

Світовий досвід показує, що ключовими умовами підвищення енергоефективності є покращення теплоізоляційних характеристик огороджувальних конструкцій, впровадження високоефективних систем опалення та вентиляції, а також використання енергії з відновлюваних джерел. Для Запоріжжя, що має різко континентальний клімат, підвищення рівня теплозахисту будівель є базовою передумовою ефективного теплоспоживання під час опалювального періоду.

Економічне обґрунтування оптимальної товщини теплоізоляції має визначальне значення для прийняття інженерних рішень. Інвестиції у підвищення теплозахисту повинні окупатися протягом терміну експлуатації будівлі завдяки зменшенню витрат на опалення. Саме тому дослідження

оптимального рівня теплоізоляції житлових будинків у кліматичних умовах Запоріжжя та аналіз енергетичної доцільності таких заходів становлять основну мету даної роботи.

Об'єктом дослідження є енергоефективність нових та реконструйованих житлових будівель у місті Запоріжжя та Запорізькій області.

Предметом дослідження є:

– технічне та економічне обґрунтування оптимального рівня теплоізоляції зовнішніх огороджувальних конструкцій житлових будівель;

– аналіз можливостей зниження викидів парникових газів шляхом підвищення енергоефективності та використання відновлюваних джерел енергії у виробництві тепла.

Мета дослідження полягає у визначенні оптимального рівня теплозахисту огороджувальних конструкцій житлових будівель з урахуванням техніко-економічних показників та оцінці ефективних напрямів зменшення енергоспоживання і викидів CO_2 у житловому секторі Запорізького регіону.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі **завдання**:

1. Провести аналіз сучасних підходів до підвищення енергоефективності житлових будівель та методів визначення оптимального рівня теплозахисту.
2. Оцінити технічні та економічні характеристики будівельних конструкцій, теплоізоляційних матеріалів і джерел теплопостачання, що використовуються у Запорізькому регіоні, для визначення раціональних показників теплозахисту.
3. Адаптувати методики європейських стандартів з оцінювання оптимальних теплозахисних характеристик будівель до умов житлового будівництва України.
4. Визначити рекомендовані нормативні показники теплоізоляції зовнішніх огороджень та проаналізувати потенційне зменшення споживання теплової енергії на прикладі модельного житлового

будинку.

5. Розробити практичні рекомендації щодо впровадження оптимального теплозахисту, використання енергоефективних інженерних систем та відновлюваних джерел енергії з метою зменшення енергоспоживання та викидів CO_2 у Запорізькій області.

Методи дослідження - аналітичний, системний, порівняльний, структурно-функціональний, економіко-статистичний, а також методи експертної оцінки й аналізу нормативних документів.

Наукова новизна роботи

1. Удосконалено підхід до визначення оптимального рівня теплоізоляції житлових будівель, адаптований до кліматичних умов м. Запоріжжя та сучасних ринкових цін на енергоносії та будівельні матеріали.

2. Запропоновано локалізовану методику оцінювання теплотехнічних характеристик огороджувальних конструкцій, що враховує реальні температурні режими регіону, тривалість опалювального сезону та специфіку житлового фонду.

3. Одержано нові розрахункові залежності економічної доцільності термомодернізаційних рішень, що поєднують капітальні витрати, прогнозовані витрати на енергію та екологічний ефект у вигляді скорочення викидів CO_2.

4. Сформовано модель репрезентативних запорізьких житлових будівель, що дозволяє комплексно оцінювати ефективність різних варіантів утеплення та інженерних рішень.

5. Вперше для умов Запоріжжя обґрунтовано оптимальні параметри теплоізоляційних матеріалів (товщина ≈0,15 м, λ = 0,032–0,040 Вт/(м·К)) і рекомендовані характеристики віконних систем ($U \approx 1{,}4$ Вт/м²·К).

Практична цінність роботи полягає у розробленні обґрунтованих рекомендацій щодо вибору оптимального рівня теплоізоляції для житлових будівель у Запорізькому регіоні, що дозволяє зменшити тепловтрати, скоротити витрати на опалення та підвищити комфорт у приміщеннях.

Отримані результати можуть бути використані в проєктуванні нових будинків, термомодернізації існуючого житлового фонду та у формуванні місцевих програм енергозбереження, забезпечуючи економічну ефективність і зниження екологічного навантаження.

Апробація результатів кваліфікаційної роботи. В.В. Карпов, К.М. Мішук. Економічне і технічне обґрунтування оптимального рівня енергоефективності житлових будівель в Україні. *Інженерні інновації та розбудова національної економіки*, 2025. С. 619-621.

Структура і об'єм магістерської роботи. Робота складається із введення, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел. Основною темою текст викладено на 97 сторінках, з них 4 рисунків, 8 таблиць, та містить списки літератури з 38 найменування праць вітчизняних та зарубіжних авторів.

1 СВІТОВІ ТЕНДЕНЦІЇ У СФЕРІ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ І СКОРОЧЕННЯ ВИКИДУ ПАРНИКОВИХ ГАЗІВ У БУДІВНИЦТВІ

1.1 Хронологія впровадження вимог щодо енергоефективності у будівництві

Люди живуть у будинках різного типу вже багато тисяч років, але перші вимоги до теплової ізоляції будівель, засновані на розрахунках, було розроблено лише на початку XX століття. У книзі, виданій у 1933 році [9], представлений метод розрахунку необхідного термічного опору огороджувальних конструкцій будівель. Суть вимоги: волога не може конденсуватися на внутрішніх поверхнях огорож будівлі, за винятком скління, навіть у найхолодніші періоди року. Аналогічні вимоги виникли сторіччя тому й у Канаді.

Перші вимоги до енергозбереження в будівлях відносяться до початку виробництва склопакетів у 1955 році. Це була ініціатива більшої кількості користувачів будівель, спрямована на пом'якшення наслідків енергетичної кризи у Європі. Однак ці вимоги широко не поширювалися, особливо серед країн, багатих на нафтові ресурси.

Перші вимоги до теплоізоляції будівель, пов'язані з економією теплової енергії, були згадані в літературі в 1972 році [10]. На рисунку 1 показано поступове збільшення теплозахисту стін будівель у Європі [11].

Приблизно в 1980 році вимоги до функціональності та комфорту будівель підвищилися, і з їх використанням значно зросло споживання енергії. Багато європейських країн відреагували на це підвищення, підвищивши вимоги до теплової ізоляції будівель, переважно прозорих огорож (рисунок 1.1) [12].

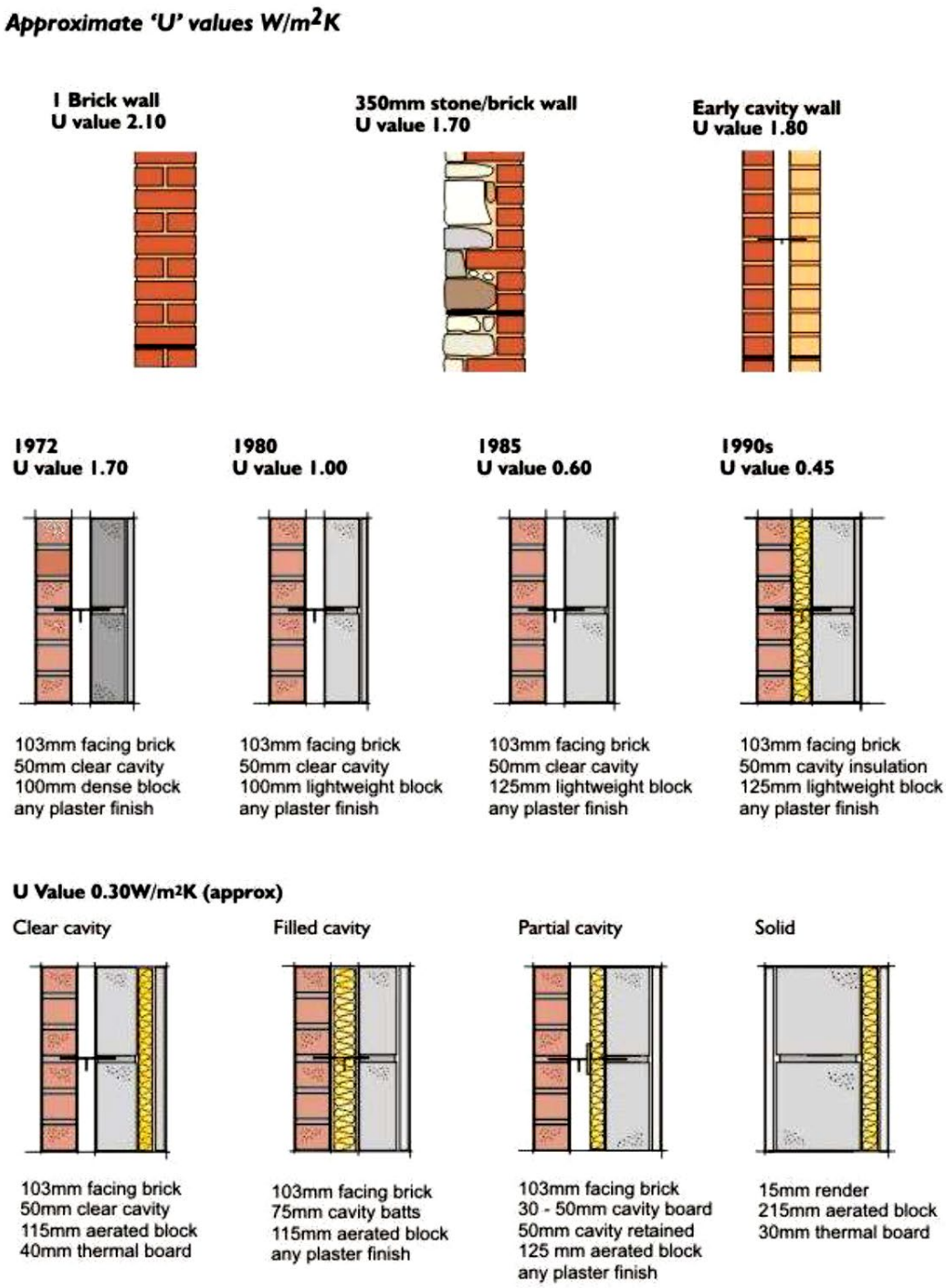


Рисунок 1.1 - Розвиток вимог щодо теплоізоляції зовнішніх стін житлових будівель [11]

Поряд із вимогами підвищення теплоізоляції будівель та скорочення споживання теплової енергії в будинках, з 1990 року з'явилися вимоги щодо скорочення викидів вуглекислого газу, але вони не були основними. Рівень теплоізоляції будівель підвищився з інтенсивним розвитком галузі теплоізоляційних матеріалів та склопакетів, з підвищенням ефективності

інженерних систем. У цей період було розроблено перші методи оптимізації використання енергії у будинках. Перша європейська директива про ефективне використання енергії у будівлях була розроблена у 1996 ці [13], але застосовувалася добровільно, та її положення переважно використовувалися для заохочення мешканців будівель до вжиття заходів щодо скорочення використання енергії. Данія, Австрія, Німеччина та Швеція застосовували цю директиву найінтенсивніше. Положення Директиви в основному стосувалися збільшення ефективності використання електроенергії.

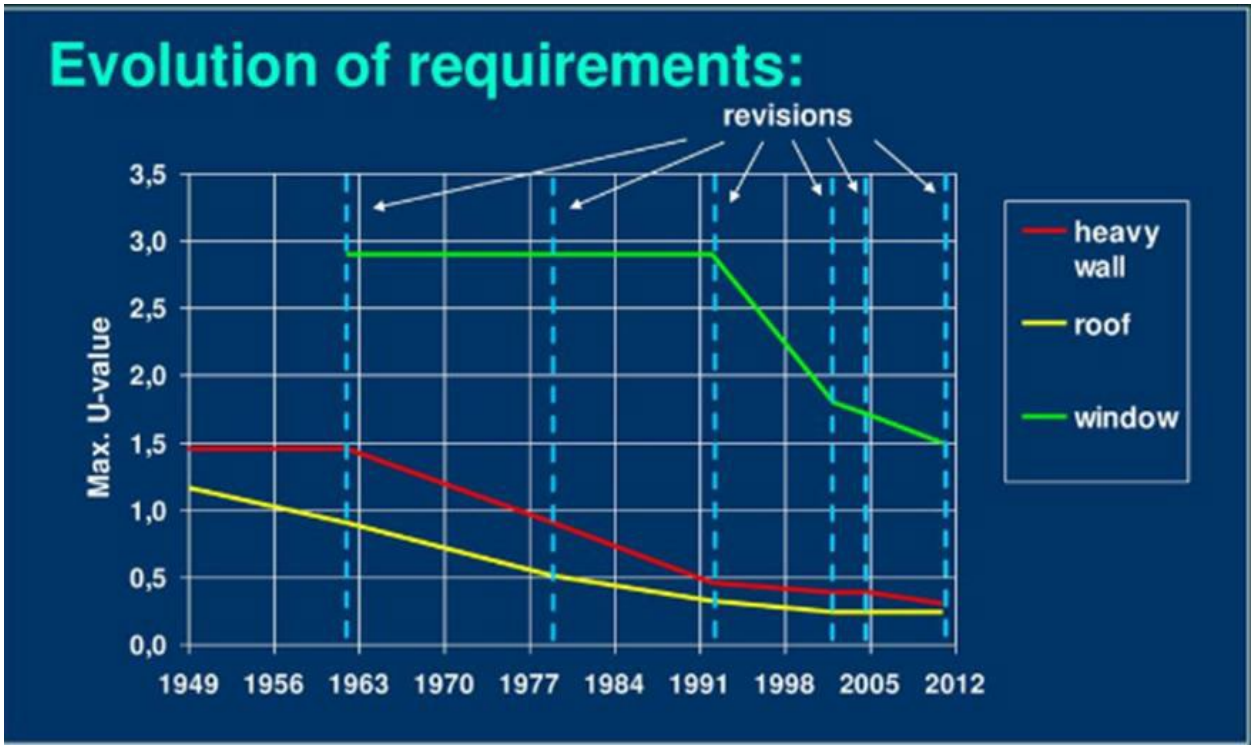


Рисунок 1.2 - Еволюція вимог щодо теплозахисту зовнішніх огорож [12]

Якісний стрибок у вимогах до ізоляції будівель та зниження енергоспоживання в Європі відбувся 2002 року з набранням чинності обов'язковою Директивою ЄС з енергоефективності будівель, концепція якої з економії енергії та скорочення викидів вуглекислого газу заснована на підвищення теплоізоляції та ефективності енергосистем будівель [14].

Ключові аспекти директиви:

- встановлені вимоги до методології розрахунку;

- необхідно впровадити методику розрахунку енергоефективності будівель з урахуванням усіх факторів, що впливають на використання енергії;

- мінімальні вимоги до енергоефективності встановлені для нових та реконструйованих будівель;

- запроваджено сертифікат енергоефективності будівель;

- стимулювання використання енергії, що виробляється з відновлюваних джерел.

Впровадження положень директиви сприяє ефективній витраті різних типів енергії, що знижує витрати на паливо, покращення якості умов життя, захист навколишнього середовища, пом'якшення наслідків зміни клімату та зменшення залежності країн ЕС від зовнішніх постачальників нафти та газу [13].

2007 року лідери ЄС поставили три ключові цілі: скорочення викидів парникових газів на 20% (порівняно з рівнем 1990 року), досягнення 20 % енергії ЄС за рахунок відновлюваних джерел енергії та 20% підвищення енергоефективності. Цільовий показник енергоефективності 20% був законодавчо закріплений з прийняттям Директиви про енергоефективність 2012/27/EU [15] у 2012 року. Саме це означає зниження кінцевого споживання енергії в ЄС до рівня трохи більше 1086 мільйонів тон нафтового еквівалента (M_{toe}) та споживання первинної енергії не більше 1483 $M_{тне}$. Це приблизно еквівалентно відключенню 400 електростанцій.

Щоб досягти мети ЄС щодо підвищення енергоефективності на 20% до 2020 року, окремі країни ЄС встановлюють свої власні орієнтовні національні цілі щодо енергоефективності. Залежно від ситуації споживання та кліматичних умов країни ці цільові показники ґрунтувалися на первинному чи кінцевому споживанні енергії, первинній чи кінцевій економії енергії або енергоємності [13]. Тенденція енергоспоживання з 2014 року вказує на не досягнення цільових показників ЄС 2020 як по первинному, так і кінцевому споживанню енергії.

Проте криза COVID значно ускладнила економіку та знизила споживання енергії у 2020 році.

У грудні 2018 року набула чинності Директива з енергоефективності (ЄС) 2018/2002 [16] з поправками, в яких було оновлено деякі конкретні

положення попередньої директиви та введено кілька нових елементів. Насамперед, вона встановлює основний цільовий показник підвищення енергоефективності ЄС на 2030 рік на рівні не менше 32,5% з пунктом про можливий перегляд в бік збільшення до 2023 року. Цільовий показник 32,5% на 2030 означає кінцеве споживання енергії у розмірі 956 $М_{тне}$ та/або споживання первинної енергії у розмірі 1273 Мтне в ЄС у 2030 році [13].

Інші елементи оновленої директиви включають:

- суворіші правила обліку та виставлення рахунків за теплову енергію шляхом надання споживачам, особливо у багатоквартирних будинках із колективними системами опалення, більш чітких прав на отримання більш частої та корисної інформації про їхнє споживання енергії, що також дозволяє їм краще розуміти та контролювати своє опалення та платіжні рахунки;

- вимога до країн ЄС мати прозорі, загальнодоступні національні правила розподілу витрат на опалення, охолодження та споживання гарячої води в багатоквартирних та багатоцільових будинки з колективними системами;

- моніторинг рівнів ефективності нових потужностей з вироблення енергії;

- оновлений коефіцієнт первинної енергії (PEF) для виробництва електроенергії становив 2,1 (порівняно з попереднім значенням 2,5);

- загальний огляд Директиви з енергоефективності (потрібен до 2024 р.)

Оновлені заходи, що стосуються національних довгострокових стратегій реновації, тепер охоплюються зміненою Директивою з енергоефективності будівель (ЄС) 2018/844 [17].

1.2 Аналіз співвідношення використання енергії у будинках та захистом навколишнього середовища

Директиви Євросоюзу найбільше пов'язані з економією енергоресурсів, особливо нафти та газу, але в них також впроваджено вимоги щодо захисту навколишнього середовища. Заходи щодо зменшення впливу споживання

енергії у будівництві на зміну клімату, на виділення парникового газу приймаються на світовому рівні.

Зміна клімату розуміється як зміна середньої температури планети, що відбувалося завжди, але на сьогоднішній день це призводить до глобального потепління і вважається результатом дії всього людства. Погода і клімат - це складні явища, що визначаються безліччю різних змінних та внутрішніх зв'язків, через що важко виміряти, наскільки нагрівається планета. Але з впевненістю можна сказати, що середня температура на планеті підвищується і це спричинено діями людства [18]. Парникові гази – це гази, які утримують тепло в атмосфері, тим самим сприяють нагріванню планети. Насправді слід зазначити, що парникові гази не є шкідливими, але якщо їх кількість в атмосфері сильно збільшується, це призводить до підвищення середніх температур у всьому світі.

На сьогоднішній день для отримання енергії спалюється викопне паливо, щоб обігрівати наші будинки, переміщати автомобілі та приводити в дію наші фабрики, і тим самим виділяється багато вуглекислого та інших газів, які впливають на глобальне потепління. У всьому світі ця проблема поступово вирішується, замінюючи частину викопних енергоресурсів поновлюваними джерелами енергії [18, с.34].

За даними [19], будівлі та споруди несуть відповідальність за 39 % викидів вуглецю в усьому світі, з яких 28 % пов'язані зі споживанням енергії та 11 % з будівельними матеріалами. Ці викиди можна скоротити шляхом проектування та спорудження будівлі зі зменшеним енергоспоживанням для неї обігріву, вентиляції та охолодженні [18, с.35].

Будівельний сектор може грати вирішальну роль у стабілізації концентрації двоокису вуглецю (CO_2) в атмосфері, а будівлі наступного покоління можуть забезпечити безліч супутніх переваг, таких як підвищення доступності, сприятливих життєвих умов, безпеки та вартості при перепродажу. Для створення таких досконаліших будівель необхідні передові будівельні норми та правила, стандарти будівництва та будівельних

матеріалів, розвиток виробництва енергії з поновлюваних ресурсів, інструменти фінансування та багато іншого [20].

На додаток до вимог енергоефективності деякі держави вже застосовують політику оподаткування викидів вуглецю, що економічно заохочує підвищення енергоефективності будівлі та використання відновлюваних джерел енергії, що може додатково знизити попит будівельного сектора на забруднювальну енергію та допомогти перейти до низьковуглецевої енергії, створюючи нові підприємства та робочі місця по всій країні [21].

1.3 Вдосконалення будівельних матеріалів та технологій для скорочення споживання енергії та викиду парникових газів у будівництві

До стратегії матеріалоефективності (СМЕ) для житлового сектора зі скорочення споживання енергії та викиду в атмосферу парникових газів науковці віднесли наступне:

1. Використання меншої кількості матеріалів. Це досягається шляхом вдосконалення методів проектування, впровадженням більш точних методів розрахунку механічних та енергетичних показників будівель.

2. Заміна енергоємних матеріалів, зокрема бетону із вмістом портландцементу (виробництво портландцементу супроводжується значним викидом парникових газів). Частіше використовувати відновлювальні природні матеріали, такі як дерев’яні конструкції, які не тягнуть за собою виснаження матеріальних та енергетичних ресурсів та забруднення природи.

3. Вдосконалення процесів будівництва, збільшуючи частку та рівень підготовки будівельних робіт на підприємствах, підвищуючи рівень амортизації, скорочуючи енерговитрати на транспорт та монтажні роботи, зменшуючи кількість відходів.

4. Збільшення експлуатаційного терміну товару, своєчасний ремонт.

5. Повторне використання матеріалів та компонентів, відновлення та

переробка матеріалів по закінченню терміну експлуатації і т.д. [21].

Впровадження стратегії матеріалоефективності може знизити викиди парникових газів при будівництві, експлуатації та знесення житлових будівель у всьому світі до 2050 р. ще на 35…40 % на додаток до скорочень, досягнутих за рахунок підвищення енергоефективності та використання низьковуглецевої структури енергоспоживання На рисунку 3 та 4 надано викиди, пов'язані з життєвим циклом житлових будинків, з використанням і без використання стратегій матеріалоефективності в різних країнах.

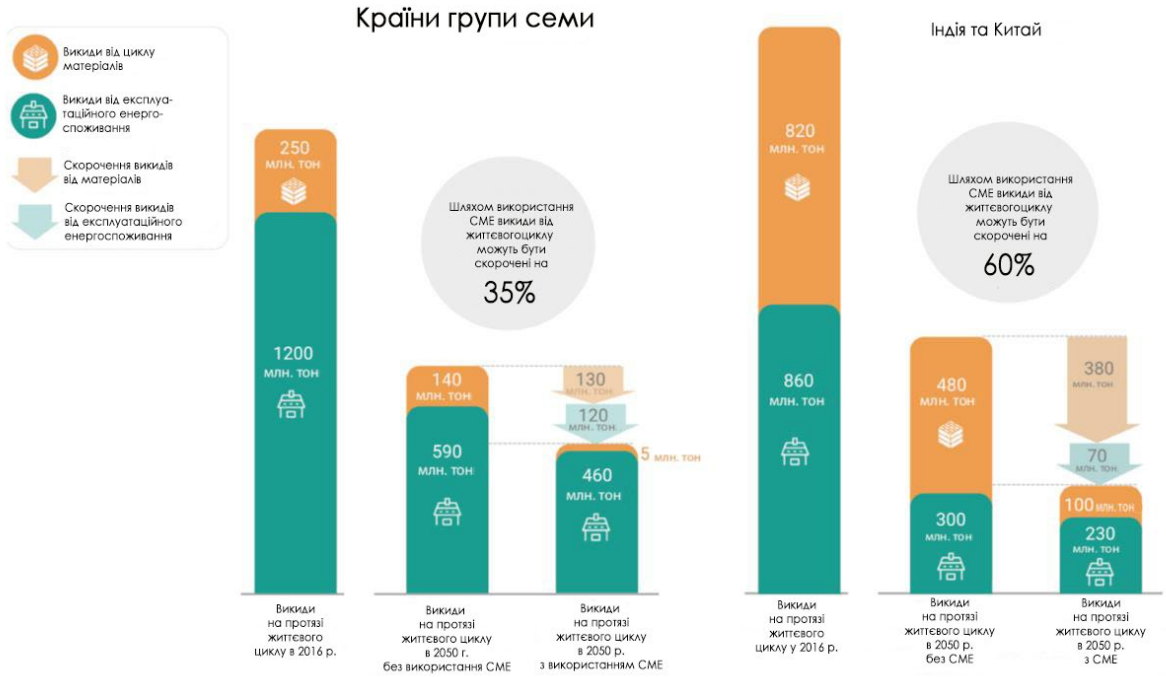


Рисунок 1.3 - Викиди, пов'язані з життєвим циклом житлових будинків, з використанням та без використання стратегій матеріалоефективності (СМЕ) (2050 р., країни Групи семи, Індія та Китай) [22]

Ці стратегії здатні:

1. Зменшити потребу у первинних матеріалах для будівництва нових будівель;

2. Забезпечити доступ інших ринків до вторинних матеріалів, тим самим знизивши потребу у виробництві первинних матеріалів цих ринків;

3. Підвищити інтенсивність використання будівель, зменшивши потреби в їх опаленні та охолодженні, а також у житлових приміщеннях, з відповідним

скороченням викидів в ході експлуатаційного енергоспоживання [21].

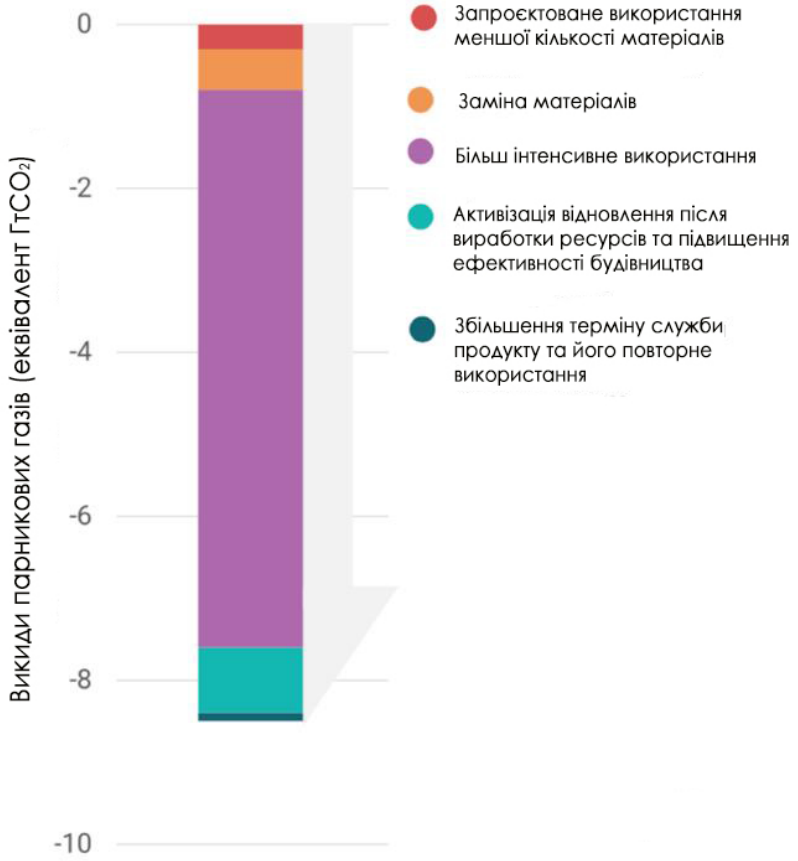


Рисунок 1.4 - Потенційне скорочення викидів парникових газів внаслідок застосування стратегій матеріалоефективності до житлових будинків в країнах Групи семи (2016-2060 рр.) [22]

Багато стратегій підвищення матеріалоефективності впроваджуються в будівельне середовище через вдосконалення проєктування. Державна політика впливає на проектування в першу чергу через будівельні правила та норми. Поставлені завдання та їх вирішення на етапі проектування визначають вибір матеріалу, будівельні методи, можливості збільшення терміну служби будівлі, а також стратегії після закінчення терміну експлуатації, включаючи розбирання будівлі, повторне використання компонентів та переробку відходів. Це говорить про необхідності приділяти пильну увагу як змісту будівельних правил та норм, так і їх поширення та затвердження державними органами.

1.4 Головні цілі, заходи та очікувані результати щодо підвищення енергоефективності будівництва в Україні

Сфера будівництва - одна з важливих та пріоритетних для підтримки соціальної стабільності та сучасного розвитку України. Забезпечення населення країни, якісним і доступним житлом - пріоритетне державне завдання, так само, як і будівництво комфортних та економічних соціальних об'єктів - шкіл, лікарень, дитячих садків та ін.

В даний час багато галузей економіки України, включаючи промисловість, будівельний сектор та ЖКГ, в плані енергоємності багато в чому неефективні. Відповідно до аналізу структури споживання енергоресурсів, у Україні основна частка енергоспоживання припадає на індустріально - промисловий сектор - понад 50 %, на ЖКГ – 30 % і транспорт – 20 %. Особливо на сьогодні досить марнотратною сферою щодо енергоспоживання є ЖКГ. В цьому секторі є величезні резерви з економії енергоресурсів і, відповідно, великі можливості для зростання не за рахунок перекладання виробничих витрат за плечі споживачів, але в основі довгострокових капіталовкладень у модернізацію. В цьому вся суть поточної політики енергозбереження.

Більше половини викидів парникових газів у секторі тепло- та електропостачання житлового фонду посідає опалення приміщень. За експертними оцінками, близько 70 % будівель мають теплотехнічні характеристики, що не відповідають сучасним вимогам (особливо це стосується будівель побудови 1950…80 років), через що вони втрачають через огороджувальні конструкції до 30 % і вище теплової енергії, яка споживається для опалення [24]. Це робить цей сектор надмірно енергоємним та ресурсозатратним. При цьому населення змушене платити і за те тепло, яке втрачається внаслідок слабкої теплоізоляції будинків. Таким чином, реконструкція та будівництво житлового сектору в рамках модернізації ЖКГ дозволять громадянам заощаджувати до 30 % сімейного бюджету, що важливо

за умов поточної глобальної кризи. Встановлено, що в даний час знос основних засобів по всіх сферах природних монополій комунального сектора загалом становить 60…65 %. В цьому знос мереж теплопостачання досяг 71 % (8,8 тис. км), мереж електропостачання – 73 % (97,5 тис. км), газопостачання – 33 % (9,7 тис. км).

Як відомо, основними причинами нераціонального витрачання теплової енергії в будинках є:

1. Недосконаліть нерегульованих систем природної вентиляції;

2. Недостатня теплоізоляційна якість зовнішніх стін, покриттів, стель підвалів та світлопрозорих огорож;

3. Низька якість і не щільність сполучення дерев'яних віконних оправ і балконних дверей;

4. Недоліки архітектурно-планувальних та інженерних рішень опалювальних сходових клітин та сходово-ліфтових блоків;

5. Відсутність приладів обліку, контролю та регулювання на системах опалення та гарячого водопостачання;

6. Відсутність дієвого механізму матеріальної зацікавленості енергоспоживачів у її економії;

7. Вкрай недостатнє використання відновлювальних та вторинних джерел енергії.

За експертними оцінками, питомі тепловтрати в будинках розподіляються таким чином:

- до 40 % - за рахунок організованої та неорганізованої інфільтрації нагрітого повітря;

- до 30 % - за рахунок недостатнього опору теплопередачі конструкцій, що захищають;

- до 30 % - за рахунок нераціонального витрачання гарячої води та нерегульованого режиму експлуатації систем опалення.

Все це підтверджує, що будівельний сектор та ЖКГ, в плані енергоспоживання, багато в чому неефективні. Нині державою проводиться

велика робота з розв'язання цієї проблеми.

Проте успішного підвищення енергоефективності неможливо досягти без застосування набору стандартних технологій та інструментів, які можна згрупувати за принципом впливу.

Залучення стратегічних інвесторів у сферу енергозбереження через міжнародний механізм співробітництва – основна мета розвитку вітчизняного ринку енергосервісних послуг. Модернізація ЖКГ, залишається важливим аспектом державної політики, на основі якої житлово-комунальна сфера стає одним із драйверів економічного зростання. За роки індустріалізації одночасно проводилася величезна робота з розвитку інфраструктури; створена надійна енергетична система; сформовано нормативно-правову базу у сфері енергозбереження.

Енергозбереження та підвищення енергоефективності - насамперед реалізація організаційних, технічних, технологічних, економічних та інших заходів, спрямованих на зменшення обсягу використовуваних енергетичних ресурсів у країні. Основними напрямами державного регулювання в галузі енергозбереження та підвищення енергоефективності є:

1. Здійснення технічного регулювання в галузі енергозбереження та підвищення енергоефективності;

2. Здійснення збалансованої тарифної політики та ціноутворення в галузі виробництва та споживання енергетичних ресурсів;

3. Стимулювання енергозбереження та підвищення енергоефективності, включаючи використання енергозберігаючого обладнання та матеріалів;

4. Модернізація та підвищення енергоефективності промисловості країни;

5. Зниження рівня втрат в енерго- та тепломережах;

6. Масштабна пропаганда енергозбереження серед населення;

7. Розробка та впровадження механізмів, що стимулюють енергозбереження та підвищення кваліфікації енергоефективності;

8. Забезпечення дотримання законодавства про енергозбереження та підвищення енергоефективності;

9. Підготовка кадрів у галузі енергозбереження та підвищення енергоефективності;

10. Зниження питомих витрат на вироблення 1 кВт год електроенергії, 1 Гкал теплоенергії та споживання тепла на 1 м² у житловому секторі.

Загалом, зниження споживання енергетичних ресурсів у житлово-комунальному секторі покращує стан та інфраструктуру житлового фонду та інженерних мереж, що відображається на рівні добробуту та комфорту кожної людини [25]. Ці завдання мають загальнонаціональний характер, і, економія енергії має стати турботою кожного громадянина [27].

У зв'язку з цим, ефекти від заходів щодо енергозбереження та підвищення енергоефективності можна розділити на:

1) економічні ефекти (всі заходи щодо енергозбереження окупаються у визначений термін за рахунок економії витрат на споживання енергоресурсів);

2) підвищення конкурентоспроможності економіки (модернізується промисловий сектор та інфраструктура країни);

3) екологічні ефекти (енергоефективність – основний інструмент до переходу на шлях «зеленої») економіки);

4) супутні ефекти (розвивається наука, відкривається поле для впровадження інновацій, створюються нові робочі місця для фахівців у галузі енергоменеджменту).

В цілому, зниження споживання енергетичних ресурсів у житлово-комунальному секторі покращує стан та інфраструктуру житлового фонду та інженерних мереж, що відображається на рівні добробуту та комфорту кожної людини [25].

В Україні проводяться різні заходи щодо зниження споживання теплової енергії в будинках за рахунок зменшення тепловтрат через огородження та застосування різних систем опалення та вентиляції. Є проєкти щодо зменшення споживання теплової енергії та викиду в атмосферу CO_2 [23]. Одна з важливих тенденцій у сучасному будівництві будівель – підвищення їх енергоефективності з метою досягнення максимального комфорту та

мінімізації комунальних витрат. Вдосконалюються та змінюються конструкції зовнішніх стін та вікон, горища та дахи утеплюються, в теплових вузлах встановлюється обладнання з енергозбереження – все це спрямоване на те, щоб збудовані за новими технологіями будівлі споживали якнайменше енергії, а власники цих будівель платили б менше за комунальні послуги [28].

В останні роки в Україні триває процес удосконалення нормативно-правових та нормативно-технічних документів для нового будівництва, у тому числі і для підвищення його енергоефективності.

Підвищення рівня енергоефективності будівлі досягають за допомогою застосування енергоефективності теплоізоляції, сучасних віконних рам та дверей, що не допускають витоку тепла, застосуванням приладів регулювання теплоспоживання та температури повітря у приміщеннях.

Збільшення теплового захисту будівель насамперед передбачає утеплення огороджуючих конструкцій: зовнішніх стін, перекриттів, покриттів, вікон та дверей. Будівля повинна представляти собою єдину енергетичну систему, всі елементи якої - огороджувальні конструкції, системи опалення, вентиляції, кондиціювання, теплопостачання – повинні бути взаємопов’язані. Встановлення регуляторів споживання теплової енергії дозволяє раціонально використовувати теплову енергію в будинках. Економія споживання теплової енергії досягається за рахунок автоматичного регулювання температури теплоносія в трубопроводі опалення, що подає, в залежності від температури зовнішнього повітря.

Економія найбільш помітна у теплі (перехідні) періоди опалювального сезону і може досягати 30 %. Доведено, що під час встановлення АТП собівартість будівництва зростає на 0,04 %, або 5,5$ на квадратний метр житлової площі та витрати окупаються протягом 2…3 років експлуатації, оскільки АТП дозволяє заощадити до 30…35 % теплової енергії.

Для того, щоб у зимовий період у всій квартирі був сприятливий мікроклімат, виробляється регулювання теплоспоживання на рівні кожного приміщення, що опалюється (окремої кімнати). Це досягається встановленням

термостатичних клапанів (термостатів) на опалювальні прилади.

Встановлення енергозберігаючих віконних конструкцій дозволяє знизити викиди парникових газів, тепловтрати через вікна досягають до 40 % від загальних тепловтрат через огороджувальні конструкції, тому насамперед необхідно підвищувати теплозахисні якості вікон. Встановлення енергоефективних віконних конструкцій (R = 1.0 м²С/Вт) у новому будівництві обійдеться на 15 % дорожче, ніж звичайне скління, але сприяє локалізації втрат тепла на 23 %. При цьому вартість квадратного метра житлового будинку підвищується на 0,23…0,35%, або всього на 2,5 $.

Доведено, що, збільшуючи товщину утеплювача на 5 см, можна підвищити клас енергоефективності класу «В» «високий» та знизити витрати на опалення до 20 %, при цьому собівартість будівництва збільшується на 4,2 %, що підвищує вартість одного квадратного метра житла приблизно на 45 $.

Разом ми бачимо, що основні заходи щодо підвищення енергетичної ефективності житла можна впровадити за невеликі кошти щодо вартості площі 1-го квадратного метра житла:

- підвищення теплового захисту будівлі (зовнішніх стін, перекриттів, підлоги);

- енергоефективні вікна з коефіцієнтом теплопередачі (R) щонайменше 1.0 м²С/вт;

- встановлення АТП;

- встановлення термічних клапанів;

- інші заходи (теплоізоляція трубопроводів, доводчики на двері, утеплення вентиляційних шахт).

Різні розрахунки показують, що навіть якщо собівартість будівництва ефективного будинку буде на 50 % вище за вартість стандартного будинку, то сукупна вартість володіння ефективним будинком буде в 1,5…2,5 рази нижче вартості витрат життєвого циклу стандартного будинку за рахунок застосування енергоефективних та екологічних технологій, як і зниження витрат на утримання, обслуговування та споживання комунальних ресурсів,

що веде до зниження сукупної вартості будівлі, зважаючи на тривалість періоду експлуатації будівлі.

Розрахунок вартості витрат протягом усього життєвого циклу будівлі виконується на початку процесу проєктування на стадії дизайну, доки є можливість безперешкодно вносити зміни до проєкту майбутнього ефективного будинку для забезпечення високої енергоефективності та зниження його сукупної вартості. Це спричиняє такі переваги:

- економія теплової енергії до 40 %;

- підвищення класу енергоефективності будівель до «в+» (високий);

- економія комунальних платежів – до 40…50 %.

В результаті собівартість будівництва збільшується на 10 % у середньому, при цьому економія енергоспоживання радуватиме власників кожної житлової площі. Дедалі більше домовласників зможуть зменшити свої експлуатаційні витрати за рахунок сучасних енергоефективних технологій.

За результатами вище вказаних даних можна визначити отримувачів вигоди від будівництва енергоефективні житлові будинки.

1. Для держави:

- подолання дефіциту енергії без введення додаткових енергопотужностей;

- виконання зобов’язань за екологічними конвенціями;

- раціональне використання бюджетних коштів;

- нові робочі місця/можливості для розвитку бізнесу;

- захист вразливих верств населення.

2. Для постачальників теплоенергії:

- покращення якості послуг систем теплопостачання, що пропонуються споживачеві;

- скорочення місцевого забруднення навколишнього середовища.

3. Для споживачів:

- комфортні умови проживання;

- економія комунальних платежів;

- підвищення надійності внутрішньобудинкових систем.

Враховуючи все вищевикладене – будівництво енергоефективних будівель дозволяє надійно зберігати тепло у приміщенні, забезпечити комфорт його власникам, заощадити їм бюджет на оплаті комунальних витрат, а також економити енергоресурси, що споживаються в країні (надлишки яких можна продавати на експорт). Таким чином, енергоефективне будівництво будівель надзвичайно важливе, воно впливає на економіку країни загалом.

Підсумовуючи, при експлуатації енергоефективних будівель споживач економитиме до 30…40 % свого бюджету на комунальних видатках. І це важливо із соціальної погляду. В рамках досліджень, для вирішення питань просування енергоефективних технологій у будівництві, а також контролю за дотриманням застосування норм з енергоефективності пропонується:

1. Встановлювати вимоги щодо енергоефективності для будівель, що зводяться з боку місцевого органу влади при ухваленні рішення про надання земельної ділянки під будівництво.

Йдеться про встановлення класу енергоефективності об’єкта, що починається будівництвом залежно від ситуації з енергозабезпеченням того чи іншого району населеного пункту (як відомо, існують енергодефіцитні та енергонадлишкові райони в одному і тому ж населеному пункті, включаючи електрику, тепло та воду). Для цього пропонується внести зміни до документа, що регламентує порядок видачі архітектурно-планувального завдання (АПЗ) Далі – замовник повинен його включати у завдання на проектування, контролюватись державною експертизою та приймальною комісією, включаючи експлуатуючу організацію. Таким чином, через даний інструмент, можливо, реалізувати стратегічну політику держави у сфері енергоефективності у будинках. Місцевий орган влади завдяки цьому механізму рішень може забезпечити кероване енергоспоживання, не допустити зростання дефіциту енергопотужностей і водночас час сприяти досягненню цільових показників енергоефективності та побудови «зеленої економіки».

2. Внести зміни, щодо визначення категорії комфортності житла, прив’язати клас енергоефективності будівлі до рівня комфортності будівлі [31]. Будинки першого та другого класу комфортності (це зокрема так зване «елітне житло») в період експлуатації повинні споживати на порядок менше енергоресурсів для життєзабезпечення, ніж будівлі третього або четвертого класу комфортності. Буде доцільним, якщо закріпити клас енергоефективності, як один із критеріїв класифікації житла за категоріями комфортності. І клас (елітне) за енергоефективності має бути не нижче класу «А» («дуже високий»), ІІ клас (бізнес класу) – не нижче класу "B+" ("високий"), ІІІ клас (комфорт) - не нижче "B" ("високий"), IV клас (економ) – не нижче "C" ("нормальний").

3. Ввести вимоги до замовників та власників будівель з Маркування Енергоефективності будівлі, що дозволить візуалізувати інформацію та стимулювати процес зміни свідомості людей та стимулювати ринок прийняття рішень на користь енергоефективності.

4. Внести зміну в частині контролю забезпечення теплозахисних властивостей огороджувальних конструкцій [32].

5. Розробити нові індикатори та підходи для відстеження процесу переходу до енергоефективних будівельної та теплоенергетичної галузей, у тому числі рівень впровадження лічильників, рівень енергоефективності існуючих та нових будівель, коефіцієнт втрат у розподілі тепла, чисельність та професійний досвід інспекторів, що особливо займаються перевіркою складних будівель.

Додатково для посилення контролю за енергоефективністю при будівництві об’єктів необхідно:

1. Підвищити відповідальність замовника за якість проєктної документації, надавши йому право дисконтувати вартість проєктних робіт при виявленні грубих помилок.

2. Провести сертифікацію діяльності органу Державної позавідомчої експертизи проєктів відповідно до вимог стандарту ISO/IEC 17020-2013, яким

встановлені вимоги до органів, які проводять інспекційний контроль, що дозволить підвищити якість експертної діяльності та якість проектної документації.

3. Внести коригування до збірників кошторисних нормативів, забезпечивши наявність кошторисної вартості об’єкта необхідних ресурсів на розробку розділу «Енергоефективність» (зараз інженери та архітектори не зацікавлені у додаткових витратах часу та пошуку енергоефективних рішень, оскільки розробка розділу «Енергоефективність» не включена до кошторисної вартості об’єкта).

4. Зобов’язати проектні організації забезпечити багатоступінчастість системи контролю якості розробки проєктної документації через впровадження та підтримання в актуальному стані системи менеджменту якості ISO 9001 [34]. Персональна відповідальність проектувальника як за якість проектної документації, так і за проведення авторського нагляду має бути забезпечено фінансовим ресурсом, який може бути забезпечений через розвиток системи страхування професійних ризиків.

5. У разі внесення змін до проектної документації на етапі будівництва об’єкта – при ухваленні санкціонованих змін, у процесі авторського нагляду відстежувати вплив даних змін на енергетичний клас будівлі, досягнутий проєктом. Не допускати заміну матеріалів та обладнання, що впливають на зниження класу ЕЕ будівлі.

6. Ввести вимоги до замовників та власників будівель по Маркуванню Енергоефективності будівлі, що дозволить візуалізувати інформацію та стимулювати процес зміни свідомості людей та стимулювати ринок прийняття рішень на користь енергоефективності.

2 НАУКОВІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ТЕХНІЧНІ ДОСЯГНЕННЯ В ОБЛАСТІ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ЖИТЛОВОГО БУДІВНИЦТВА

2.1 Аналіз наукових досліджень у сфері визначення та сертифікації енергоефективності будівель

У світі створено багато методик для оптимізації енергоефективності будівель, але суть у них майже однакова - інвестиції в удосконалення енергоефективності будівлі мають повертатися протягом встановленого періоду окупності дотримуючись виконання вимог функціональності та внутрішнього мікроклімату будівлі. Багато дослідників такі методики називають методиками визначення оптимальної енергоефективності за мінімальними загальними витратами на будівництво та теплового забезпечення будівлі протягом експлуатації.

Розрахунки чистих енергетичних потреб відповідно до споживання первинної енергії ділиться на наступні етапи:

1. Розрахунок чистої теплової енергії, необхідної для задоволення потреб користувачів: зимовий період енергоспоживання розраховується як втрата енергії через оболонку та вентиляцію за вирахуванням внутрішніх ланцюгів та доходів від природної енергії (пасивне сонячне опалення, пасивне охолодження, природна вентиляція тощо);

2. Віднімання з першої точки теплової енергії, отриманої з відновлюваних джерел та використовується на місці (наприклад, енергії, отриманої від сонячних колекторів);

3. Розрахунок споживання енергії у перерахунку на енергоносії (електрика, паливо) кожного виду використання (опалення та охолодження навколишнього середовища, гаряча вода, освітлення, вентиляція) з урахуванням характеристик (сезонної ефективності) систем виробництва, розподілу, викидів та контролю;

4. Віднімання енергії, виробленої з відновлюваних джерел і використовуваної дома, з споживання електроенергії (наприклад, енергії, яка виробляється фотоелектричними панелями);

5. Розрахунок енергії, що поставляється для кожного енергоносія, як суми енергоспоживання (не покривається енергією з відновлюваних джерел);

6. Розрахунок первинної енергії, пов’язаної з енергією, що поставляється, з використанням національних коефіцієнтів перерахунку;

7. Розрахунок первинної енергії, пов’язаної з енергією, що експортується на ринок (наприклад, енергія, одержувана із відновлюваних джерел або когенераторів на місці);

Головна мета всіх цих методик - вибрати економічно обґрунтоване рішення з багатьох альтернатив, які співставні між собою, відносяться до того ж періоду, кліматичних умов та економічному середовищі. Як зазначили Фуллер і Петерсон [21], розрахунки щодо вибору оптимальних рішень енергетичної ефективності будівель повинні включати всі витрати, пов’язані з повним циклом існування будівлі з урахуванням зміни економічних та фінансових умов.

2.2 Огляд світових концепцій проєктування та будівництва енергоефективних будівель

Разом з науковими досягненнями в галузі енергоефективності, важливим стимулом для просування впровадження енергоефективності у будівництво багатьох країн є на різних рівнях опрацьовані та різними способами підтримуються концепція проектування та будівництва енергоефективних будівель. Деякі з них застосовуються у процесах державної підтримки впровадження інноваційних матеріалів та інженерних рішень, заходів щодо захисту навколишнього середовища, інші - шляхом підвищення вимог державних будівельних нормативів, яких зобов'язані виконувати всі учасники будівництва та експлуатації будівель. У будь-якому випадку,

уникаючи необґрунтованих та неефективних вимог, необхідно зробити ретельний аналіз технічних, економічних, екологічних і, в деяких випадках, соціальних аспектів застосування різних заходів щодо підвищення енергоефективності Багато країн вже давно застосовують природно-захисні стандарти (наприклад, BREEM, LEED) [4], які певною мірою сприяють підвищенню енергоефективності будівель та будівельного сектору загалом, але вони створені більше для оцінки впливу будівлі на довкілля, ніж для просування енергоефективне будівництво. Рішення щодо ефективності застосування заходів, що оцінюються цими стандартами приймає власник або користувач будівлі. Особливо економічна оцінка власника та держави на застосування заходів щодо збільшення енергоефективності будівництва можуть бути різними, тому необхідно мати методику економічного розрахунку обґрунтування та оптимізації прийнятих рішень.

Для обґрунтування вимог до енергоефективності будівель, як загалом, так і для окремих заходів та рішень, багатьма країнами розроблені методики з розрахунку оптимальних щодо енергоспоживання, загальних витрат. Економічний оптимум підвищення енергоефективності відповідає найменшій сумі інвестицій на підвищення енергоефективності та витрат на енергію протягом певного періоду.

Методики розрахунку оптимальних витрат більшою мірою застосовуються для оцінки різних рішень щодо підвищення енергоефективності, а стимулювання таких заходів застосовуються концепції проєктування та будівництва енергоефективних будівель, що поєднують економічно обґрунтовану теплоізоляцію огорож, ефективну вентиляцію приміщень, застосування відповідних потреби інженерних систем та можливості виробництва та використання енергії відновлюваних енергоджерел. Прикладом такої концепції може бути в Австрії та Німеччині використовувана концепція (Passiv-Haus) (рисунок 2.1).

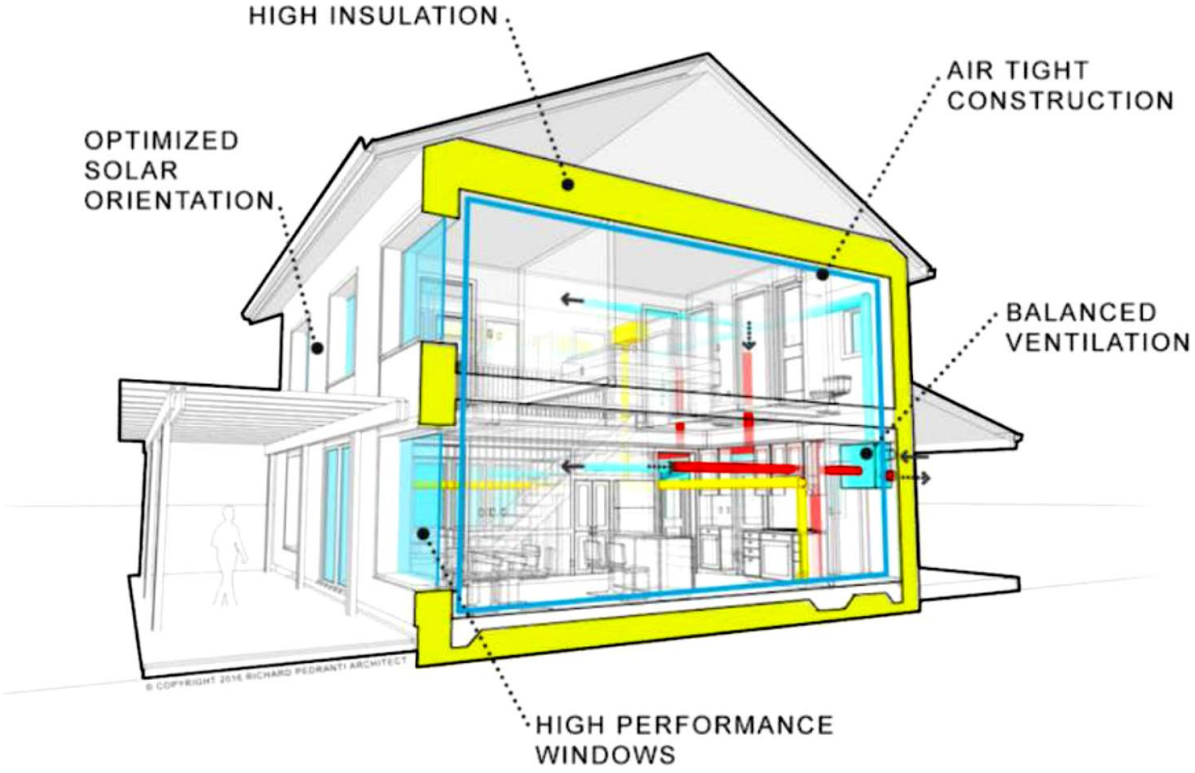


Рисунок 2.1 - Концепція проєктування та будівництва енергоефективних будівель («Passiv-Haus»)

Ця концепція була створена у 1980 році з метою досягнення оптимального енергоспоживання у житлових будинках. Основні показники цієї концепції - дуже хороша теплоізоляція зовнішніх огорож, мінімальна їх повітропроникність, ефективні вікна та двері, орієнтація приміщень убік найбільшої сонячної радіації, механічна вентиляція з підігрівом повітря та відсутність звичайній системи опалення. У концепції зазначено, що для обігріву приміщень (підігріву повітря, що поставляється в приміщення) повинно використовуватися не більше 15 кВт годин енергії на 1 квадратний метр опалювальної площі на рік, а загальна річна витрата первинної енергії не повинна перевищити 120 кВт годин на квадратний метр опалювальної площі.

У Швейцарії багато років застосовується концепція під назвою Minergie, що в перекладі означає «Мінімальне енергоспоживання» ці будинки відрізняються від звичних стандартних будинків. Основним перевагою концепції «Minergie» є особлива теплоізоляція, яка в поєднанні з жорстким

контролем за станом повітря може якісно знизити обсяг споживаної енергії у будинку. Ще однією особливістю концепції «Minergie» є те, що вона вас просто змушує не витрачати тепло та енергію марно [25].

У Франції вже з 2007 року застосовується система оцінки енергоефективності та сертифікації будівель Effinergie [16]. Effinergie - це стандарт енергоефективних будинків, побудованих у Франції.

Основними ключовими показниками цього стандарту є:

1. BBC-Effinergie: будівництво будинків з низьким споживанням енергії, тут споживання енергії не має перевищувати 50 кВт•год/м² на рік;

2. Effinergie Renovation: це реконструкція будівель, тут споживання енергії не повинно перевищувати 80 кВт•год/м² на рік;

3. Effinergie+: покращена герметичність будівель, яка дозволяє знизити споживання енергії до 40 кВт•год/м² на рік [27].

У всіх країнах ЄС поширюється концепція проектування та будівництва майже не споживаної енергії, що поставляється, - Net zero energy buildings (NZEB). NZEB є величезним потенціалом зміни способів використання енергії у будинках. Тут ми можемо сказати є дуже багато ключових показників як: проєктування будівель з нульовим енергоспоживанням, методи оптимізації HVAC для зниження споживання енергії, відновлювані джерела, рекуперація стічних вод і т.д., їх застосування може призвести до будівель з нульовим споживанням енергії.

Важливу роль у підвищенні енергоефективності будівель займає інноваційне будівельних матеріалів та виробів. Стимулом ширшого використання таких енергозберігаючих матеріалів є добровільна сертифікація з присвоєнням енергоефективної класифікації. Вона є більш зрозумілою для споживачів, що сприяє їхній перевазі проти дешевих матеріалів із значно низькою енергоефективністю. Прикладом добровільної сертифікації вікон та дверей може бути в Англії застосовувана програма (Window Energy Rating) (рис. 2.2).

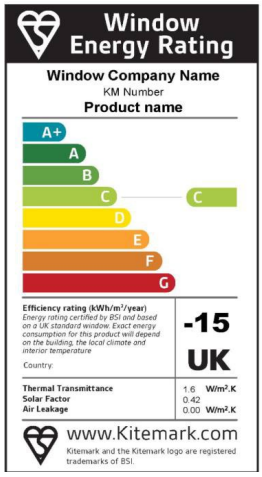


Рисунок 2.2 - Зразок присвоєння енергетичного рейтингу вікнам [59]

Проєктування енергоефективних будівель стає інтегральним процесом, тому створено системи проєктування із використанням інформаційних технологій. Це сприяє однаковій оцінки результатів проєктування, створює можливість нетрудомісткої перевірки процесу проєктування та отриманих показників енергоефективності будівлі. Прикладом такої системи проєктування може бути у Європі використовувані програми PHPP (рисунок 2.3)[4].

Specific building demands with reference to the treated floor area

				Requirements	Fulfilled?*
	Treated floor area	156,0	m²		
Space heating	Heating demand	14	kWh/(m²a)	15 kWh/(m²a)	yes
	Heating load	10	W/m²	10 W/m²	yes
Space cooling	Overall specif. space cooling demand		kWh/(m²a)	-	-
	Cooling load		W/m²	-	-
	Frequency of overheating (> 25 °C)	1,6	%	-	-
Primary energy	Heating, cooling, auxiliary electricity, dehumidification, DHW, lighting, electrical appliances	60	kWh/(m²a)	120 kWh/(m²a)	yes
	DHW, space heating and auxiliary electricity	33	kWh/(m²a)	-	-
	Specific primary energy reduction through solar electricity	25	kWh/(m²a)	-	-
Airtightness	Pressurization test result n_{50}	0,2	1/h	0,6 1/h	yes

* empty field: data missing; '-': no requirement

A section of the PHPP "Verification"-sheet with the results for a sample detached house built to the Passive House Standard.

Рисунок 2.3 - Зразок результатів розрахунку показників енергоефективності проєктованої будівлі з застосуванням програми PHPP

Важливе місце у процесах стимулювання енергоефективного будівництва займає демонстрація його можливостей та переваг на пілотних проєктах. Практика здійснення таких проєктів показала, що найбільша користь від них виходить тоді, коли від початку проєкту проводиться широка інформаційна кампанія, проводяться навчально-показові семінари на будмайданчиках, обладнуються додаткові прилади вимірювання енергоспоживання

в будівлях, показання яких показує правильність вжитих заходів енергоефективності.

Необхідно пам’ятати, що інновації у підвищенні енергоефективності будівель мають супроводжуватись відповідною системою контролю. У багатьох країнах такий контроль здійснюється запровадженням енергетичної сертифікації будівель. У процесі сертифікації застосовуються інформаційні технології, що сприяє з найменшими витратами праці отримати достовірні дані про будівлі та її конструкції, про ефективність споживання них різних видів енергії.

Подання великої та достовірної інформації в сертифікатах також сприяє збільшенню привабливості енергоефективного будівництва серед населення та інвесторів, стимулює енергозбереження та підвищення енергоефективності нових та існуючих будівель.

2.3 Технічні аспекти збільшення енергоефективності будівель

Енергоефективна будівля включає окремі рішення або систему рішень, спрямованих на зниження витрат енергії на забезпечення мікроклімату у приміщеннях будівлі. Для досягнення високого рівня енергоефективності як окремої будівлі, так і будівельного сектора в цілому, необхідно аналізувати можливості та впроваджувати ефективні та обґрунтовані заходи на протязі всього процесу - від ідеї збудувати будинок до його здавання в експлуатацію.

Місцезнаходження будівлі щодо кліматичних та топографічних умов.

У багатьох випадках вибирати географічне розташування будівлі немає можливості, але завжди необхідно врахувати кліматичні умови, які відіграють дуже важливу роль у енергоефективності будівлі, оскільки споживання енергії залежить від таких кліматичних величин, як сонячна радіація, температура зовнішнього повітря, швидкість і напрям вітру та вологість. Ділянка будівництва та відстань між іншими будинками є однією з найважливіших параметрів проєктування, які впливають на кількість сонячного випромінювання та швидкість циркуляції повітря навколо будівель, що

викликає охолодження будівлі. З цієї причини слід визначити місце розташування будівлі в цьому районі, щоб отримувати вигоду з таких поновлюваних джерел енергії, як сонце та вітер.

Для забезпечення помірного енергоспоживання та адекватного захисту від переважаючого вітру, захисту від сонячного перегріву, орієнтація будівель на землі має відповідати кліматичним умовам регіону. У холодних регіонах нижчі нічні температури викликають накопичення холоднішого і щільного повітря в западинах та долинах. Тому в холодних регіонах доцільно розміщувати будинки на схилах пагорбів, а не в долинах. Такі схили не схильні до впливу холодного вітру так само сильно, як долини, і мають перевагу.

Топографія розташування будівлі важлива через вплив кута падіння сонячної радіації, ухилу та орієнтації землі з точки зору використання денного світла та природної вентиляції, сонячної радіації.

Добре відомо, що південний схил тепліший і має найдовший період прямої сонячної радіації в північній півкулі. За наявності вибору місця будівництва південний схил все ж таки є найкращим для більшості типів будівель. Взимку південний схил є найтеплішим із двох причин: південний схил отримує найбільшу кількість сонячної енергії, тому що він найбільш безпосередньо спрямований на зимове сонце. Південний схил також відчуватиме найменше затінення, тому що об’єкти відкидають свої найкоротші тіні на південні схили [17].

На південному схилі найбільше сонця, і він найтепліший взимку, тоді як на західному схилі спекотніше лише влітку. Північний схил - найтініший і найхолодніший, тоді як вершина пагорба – саме вітряне місце. Низькі ділянки схилів мають тенденцію бути прохолоднішими, ніж схили, тому що в них стікає холодне повітря, яке збирається там.

У холодному кліматі південні схили максимально збирають сонячну енергію та захищені від холодних північних вітрів. У спекотному та сухому кліматі потрібно будувати у низинних областях, які збирають холодне повітря. Якщо зима дуже холодна, краще зводити внизу південного схилу. Якщо зима

м’яка, побудова можлива на північному чи східному схилі, але у всіх випадках необхідно уникати західних схилів. У спекотному та вологому кліматі максимально збільшується можливості природної вентиляції, коли будинки будують на вершинах пагорбів. Для будівель із внутрішнім домінуванням, таких як великі будівлі логістики, які практично не вимагають сонячного опалення, краще підходять північні та північно-східні схили.

Місця забудови, що знаходяться вище над рівнем моря, отримують збільшену кількість сонячної радіації. Причина цього збільшення пов’язана з атмосферними умовами, чистотою атмосфери та зменшенням всіляких перешкод. В обмін на збільшення значень сонячної радіації, знижується температура повітря. Зі збільшенням висоти також збільшується швидкість вітру, що призводить до збільшення втрат тепла у будівлі.

Правильне проєктування та планування будівлі. Перед проєктна стадія включає вибір місця для будівництва та відповідного майданчика для будівлі, план забудови та відповідну організацію простору, форму будівлі, вибір будівельних матеріалів, проєктування огороджувальних конструкцій будівлі, ландшафтним дизайном та послідовним використанням відновлюваних джерел енергії. За допомогою точного та усвідомленого енергозберігаючого ландшафтного дизайну можна знизити витрати енергії на опалення та охолодження в літню та зимову пору року на 30 %.

При проєктуванні будинків відстань між будинками є важливим параметром проєктування, який впливає на використання сонячної енергії, напрямку та швидкості вітру, так само на динаміку зміни температури навколишнього повітря. Відстань між будинками сильно впливає на енергетичні характеристики на етапі використання будівлі Коли будинок залишається в тіньовому просторі інших будівель, що впливають на пряме влучення сонячних променів, що збільшує споживання енергії. Крім того, положення та відстань інших будівель впливають на швидкість і напрям вітру навколо будівлі, і це впливає на енергетичні характеристики будівлі, пов'язані з надмірною фільтрацією повітря через огородження.

Орієнтація будівлі впливає на співвідношення загальної сонячної радіації та інтенсивності її потоку на різні сторони будівлі. З цієї причини будівлі та їх приміщення повинні бути орієнтовані таким чином, щоб отримати найбільшу вигоду від сонця відповідно до кліматичних умов [23].

Форми будівель. Ще одним важливим фактором є форма будівлі, яка впливає на втрати тепла і може бути визначена за допомогою геометричних змінних будівель, таких як відношення довжини будівлі до глибини будівлі в плані, висота будівлі, співвідношення площі зовнішніх огорож до корисної площі будівлі. Приплив тепла та тепловтрати будівлі може збільшуватися та зменшуватися залежно від співвідношення зовнішніх поверхонь, спрямованих до навколишнього середовища, та опалювальної площі приміщень. У селищі London-BedZED було спроєктовано окремі будинки з власними садами. Щоб зменшити втрати тепла в будинках, були використані компактні форми, та будівлі були зібрані в групи, щоб зменшити площу зовнішніх поверхонь, як показано на рисунку 2.4 [17].

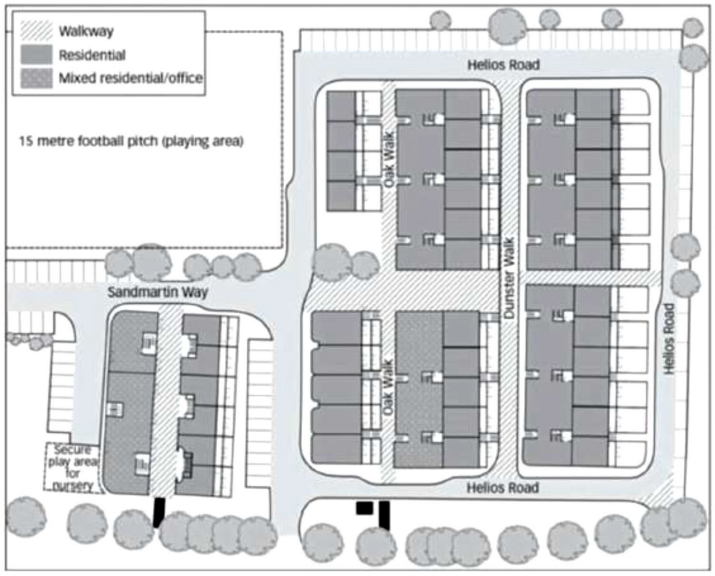


Рисунок 2.4 - План території екологічного поселення London-BedZED[17]

На енергетичні характеристики будівлі впливають такі фактори, як його форма, площа зовнішніх поверхонь та напрямок фасадів. Існує пряма залежність між геометричною формою та енергетичними характеристиками

будівлі. У проведених дослідженнях зазначено, що для енергетичних характеристик будівель, що мають один і той же обсяг, але виконаних у різних формах, отримано різні результати [17].

Огороджувальна конструкція будівлі. Огороджувальна конструкція будівлі - це такі компоненти, як стіна, стеля, підлога, вікно та двері, які відокремлюють будівлю (кондиціонований простір) від зовнішнього простору і дозволяють теплоті передаватися всередину чи назовні. Огороджувальна конструкція будівлі виконує роль фільтра між внутрішніми та зовнішніми умовами, щоб контролювати споживання повітря, тепла та світла. Огороджувальна конструкція будівлі повинна зводити до мінімуму втрати тепла взимку та приріст тепла влітку. Хоча вартість будівництва огороджувальної конструкції будівлі складає 15…40% від загальної вартості будівництва будівлі, її внесок у витрати на життєвий цикл, особливо у витрати на енергію, що становить близько 60 %.

Енергоефективні огороджувальні конструкції сприяють зниженню втрат теплової енергії до 40…50 %.

Фізичні та структурні характеристики компонентів будівлі, таких як стіни, вікна, підлоги та двері, які складають зовнішню оболонку будівлі, мають значний вплив на енергоспоживання будівлі. Теплові характеристики, товщина та колір матеріалів, що використовуються у цих компонентах, відіграють важливу роль у регулюванні теплових втрат та теплонадходжень у будівлі [24]. Енергозберігаючі характеристики аналізованих компонентів будівлі описані нижче.

Зовнішні стіни: Теплові та інертні характеристики зовнішніх стін пов’язані зі складовими їх будівельними матеріалами, а також з характеристиками шарів будівельних елементів та порядком їх розташування. Стіни, які мінімізують втрати та надходження тепла, є добре ізольовані масивні стіни з високою теплоакумулюючою здатністю. Важливу роль у визначенні теплоефективності всієї будівлі грає співвідношення площ стіни та вікон. В умовах холодного клімату, збільшення площі вікон веде до

підвищення тепловтрат взимку збільшення енергетичних витрат за охолодження влітку. В умовах теплішого клімату збільшення площі вікон сприяє більш інтенсивному надходженню тепла до будинків, що у підсумку перевищує тепловтрати і є заходом зменшення зовнішньої потреби енергії для опалення будівлі.

Для збільшення теплоізоляційних характеристик зовнішніх стін необхідно застосовувати багатошарові конструктивні рішення, так як досягти необхідної теплової ізоляції тільки з застосуванням конструктивних матеріалів ставати неможливо через велику товщину. Найчастіше для утеплення зовнішніх стін використовується вироби на основі мінерального волокна та вироби з пінополістиролу.

Для теплоізоляції стін енергоефективних будівель зазвичай застосовуються матеріали низької теплопровідності. У вітчизняній практиці для утеплення захисних будівельних конструкцій, найбільше застосування знайшли:

- теплоізоляційні плити з мінеральної вати;
- конструкції огорож з екструдованим пінополіетиленом як утеплювач;
- теплоізоляційні плити, виготовлені із базальтових гірських порід;
- плити (блоки) з піноскла і т.п.

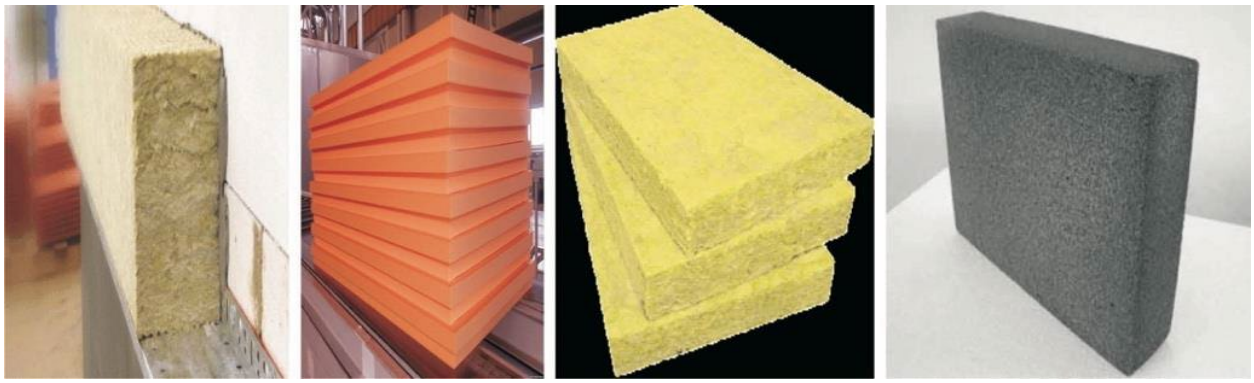


Рисунок 2.5 - Будівельні матеріали для утеплення будівельних конструкцій

Дахи: У комерційних та інституційних будинках даху, як правило, плоскі, а ізоляція може спиратися на підвісну стелю. У конструкції двосхилий

даху, де мансарда не використовується, ізоляція зазвичай знаходиться в стелі [67]. Форма, матеріал, нахил, орієнтація, колір зовнішньої поверхні, а також ізоляційні якості дахів визначають теплові характеристики будівель. Тому дахи мають проєктуватися з урахуванням кліматичних умов. Найчастіше для утеплення даху застосовуються такі теплоізоляційні матеріали як: спінений пінополістерол, пінополіуретан, кам'яна вата та скловата. Але найбільше частіше використовується кам'яна вата вона укладається як на скатних, так і плоских типах даху.

Вікна: Вікна впливають на енергоефективність будівель за рахунок втрати або надходження тепла, природної вентиляції та освітлення. Найбільш підходящим напрямом з погляду теплонадходжень є південь, після східної та західної сторони. Великі вікна зменшують потреба в штучне освітлення, одночасно покращуючи денне освітлення [27].

Вікна мають бути спроєктовані у такому обсязі, який достатній для забезпечення природного освітлення. Наприклад, величина вікна має становити щонайменше 15 % від площі приміщення [78].

Зниження тепловтрат через вікна за допомогою установки подвійних та потрійних склопакетів. Зниження втрат тепла на 40 %; зниження оплати за теплову енергію; зниження споживання палива, вивільнення додаткової теплової потужності. Досягнення технології виробництва низько емісійного скла дозволили зробити вікна основним фактором збереження енергії та комфорту при зниженні внутрішньої конденсації та втрат тепла.

Двері: На сьогоднішній день є різні види та виробники дверей, які застосовують величезна кількість енергоефективних матеріалів та утеплювачів під час виробництва. Кожні з цих матеріалів та утеплювачів мають свої характеристики, а також ряд переваг та недоліків.

Як би в приміщенні не працювало опалення, холодне повітря ззовні викликатиме дискомфорт.

Утеплені дверні блоки відрізняються від звичайних сталевих дверних конструкцій тим, що, мінімальні рівнем теплопровідності та високі

теплоізоляційними якостями. Тому завдяки утеплювальним матеріалам які знаходяться всередині дверного полотна, мають високі показники при використання. На сучасному ринку є теплі двері, всередині яких є теплоізоляційні плити. Потрібно відзначити, що в порівнянні зі звичайним утепленням мінеральною ватою, теплоізоляційні плити відрізняються високою довговічністю та ефективністю збереження теплової енергії у приміщенні. Звичайно ж вартість теплоізоляційних матеріалів високі, але залежно від якості системи опалення у приміщенні, якщо не утеплити вхідні двері близько 50 % тепла йтиме саме через неї.

Підлоги: Підлоги повинні бути розташовані таким чином, щоб забезпечити бажані характеристики з погляду тепла та вологи. У холодних та помірних кліматичних зонах слід віддавати перевагу добре ізольованим підлоговим покриттям. Однак у зонах з теплим і вологим кліматом можуть бути кращі високі підлоги, оскільки повітряні потоки стають важливими. В обсягах, що потрапляють на сонячне світло, укладання підлоги може використовуватись як тепловий накопичувач. При укладанні підлог слід віддавати перевагу матеріалам темного кольору, що мають високу теплоємність. Не кладіть килими на підлогу та не залишайте його відкритим, це збільшує його здатність поглинати тепло.

Теплові мости. Або ж по-іншому ще називають місток холоду, вони являють собою локалізовані ділянки в елементах теплоізоляції приміщень, на яких відбувається інтенсивна передача тепла з більш теплої сторони до більш холодної сторони як на рисунку 2.5. Наявність теплових мостів спричиняє підвищені втрати тепла. Існує два види теплових мостів: теплові мости, спричинені властивостями матеріалів та теплові мости, спричинені геометричними особливостями конструкцій. Використання теплових мостів є одним із важливих критеріїв при оцінці енергоефективності огороджувальної конструкції будівлі.

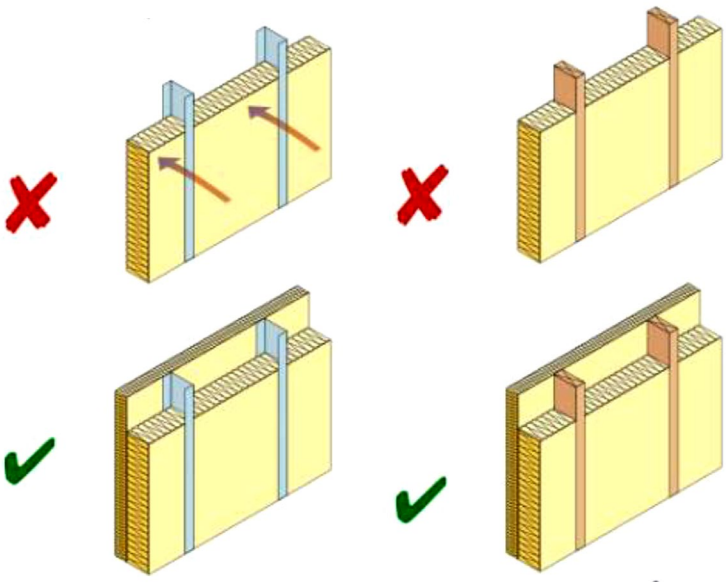


Рисунок 2.5 - Зниження прямого проходження тепла через більш теплопровідні включення

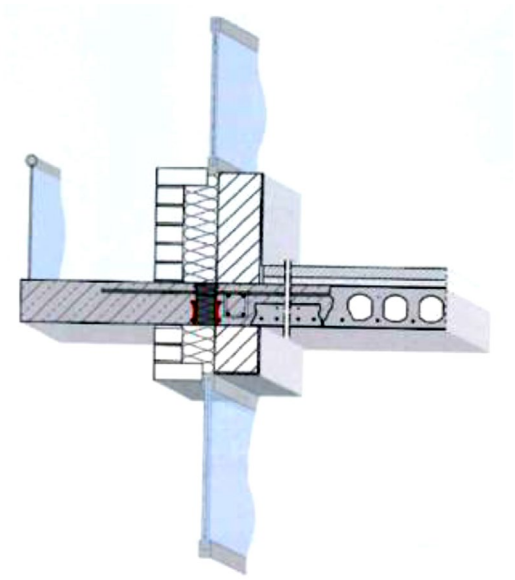


Рисунок 2.6 - Переривання прямого проходження тепла через балконне з’єднання

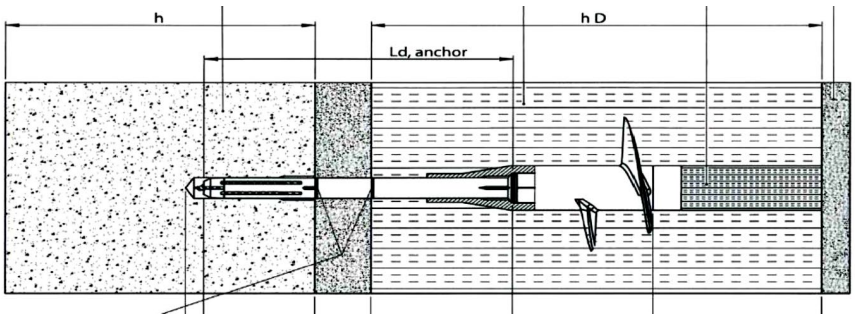


Рисунок 2.7 - Зниження впливу металевого елемента кріплення на теплопередачу через стіну з механічно прикріпленою теплоізоляцією

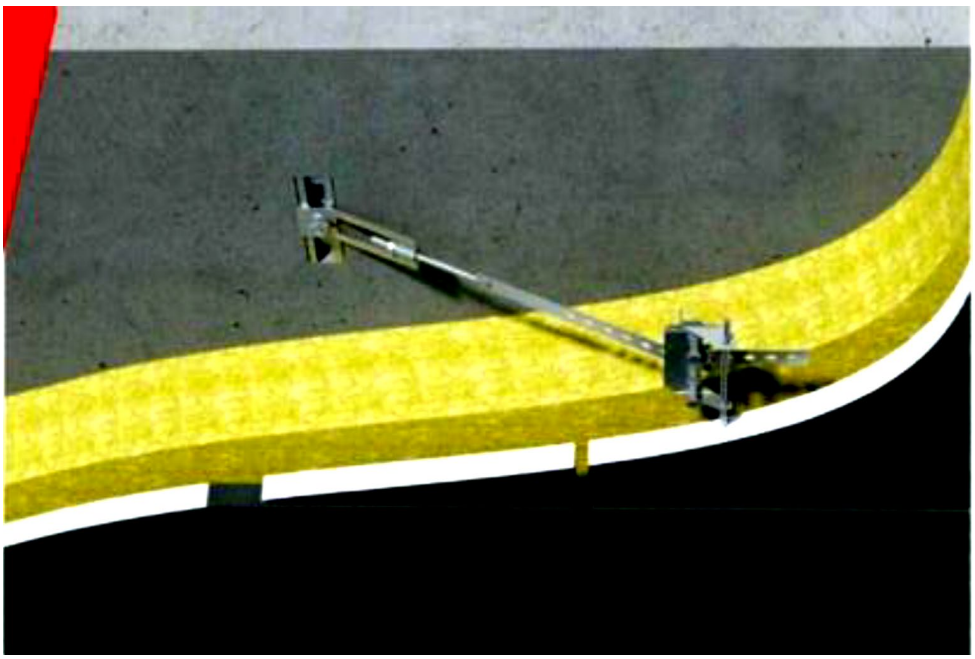


Рисунок 2.8 – З’єднання з нержавіючої сталі на вентильованих фасадах

У вентильованих фасадах для зв’язку стіни та фасадних плит використовуємо з’єднання з нержавіючої сталі, теплопровідність яких рази менше порівняно з оцинкованою сталлю та близько 10 разів менше в порівнянні з алюмінієм.

Збільшення тепла акумулятивних властивостей будівлі. Акумулювання теплової енергії представляє собою збереження надлишкового тепла в конструкціях, що захищають, матеріалах з високою теплоємністю, що передається повітрі приміщення в більш пізній час, стабілізуючи, внутрішню температуру та зменшуючи потребу в нагріванні.

Можливість акумулювання теплової енергії заснована на використанні фізичного або хімічного процесу, пов’язаного з поглинанням та виділенням теплоти. До основних способів акумулювання відносяться: накопичення-виділення внутрішньої енергії при нагріванні/охолодженні твердих або рідких тіл; фазові переходи з поглинанням-виділенням прихованої теплоти; процес сорбції-десорбції або оборотна хімічна реакція, що протікає з виділенням-поглинанням теплоти.

Влітку нагрівання відбувається за рахунок сонячного випромінювання. Тепло протягом дня може накопичуватись у масивних матеріалах та

прогресивно випущено всередину у нічний час. В результаті пікове навантаження охолодження нижче, та зміни температури залишаються в межах діапазону комфорту протягом більшого часу протягом дня.

Взимку через ту саму причину акумульоване тепло віддається в кімнату протягом вечірніх годин, нагріваючи повітря приміщення, та уникаючи перегрівання під час періодів високого сонячного випромінювання вдень. З іншого боку, нагрівання будівлі з великою теплоємністю займає більше часу.

В обсягах, що отримують сонячне світло, укладання масивної підлоги та перегородок може бути використане як тепло накопичувача. Масивні матеріали темного кольору, що мають високий рівень акумуляції тепла слід використовувати для збільшення теплоакумулюючої здатності всієї будівлі. Частіше всього в таких умовах використовуються важкі бетони з керамічним та кам’яним покриттям.

Системи прямого посилення: пасивний сонячний будинок з прямим посиленням має вікна, які пропускають зимове сонце прямо в будівлю. Ці сонячні промені служать або для задоволення частини поточної потреби нагріву будівлі або зберігаються в тепловій масі для задоволення потреб в опаленні, що виникають пізніше. Більшість будівель з прямим посиленням включають:

1) великі вікна, що виходять на південь (для північної півкулі);

2) теплову масу всередині ізоляційної оболонки, зниження температурних коливань;

3) розрахунковий звіс над південним склом, щоб затінювати скло влітку, допускаючи при цьому нижчу кутову зимову інсоляцію;

4) засіб зменшення втрат тепла вночі.

У будівлі з прямим посиленням сонячне світло потрапляє просто в інтер’єр через скління. Він ударяється об масивні внутрішні поверхні (як правило, бетонна підлога і поверхні кам’яної стіни), поглинається і перетворюється на тепло.

Частина тепла від поверхонь негайно відводиться в інтер’єр кімнати.

Решта поглиненого тепла йде в теплову масу, яка повільно нагрівається, пізніше вночі накопичене тепло відводиться назад усередину, як показано на рисунках 2.9 та 2.10.

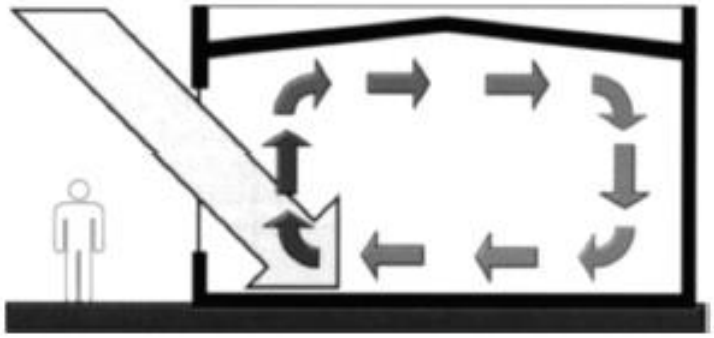


Рисунок 2.9 – Схема прямого посилення

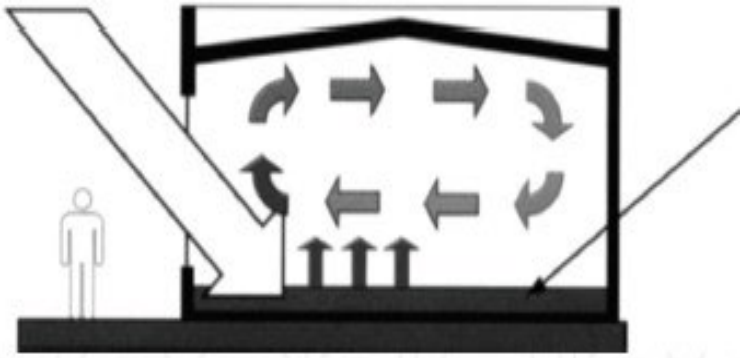


Рисунок 2.10 - Схема прямого посилення плюс сховище

Із застосуванням козирків, балконних плит.

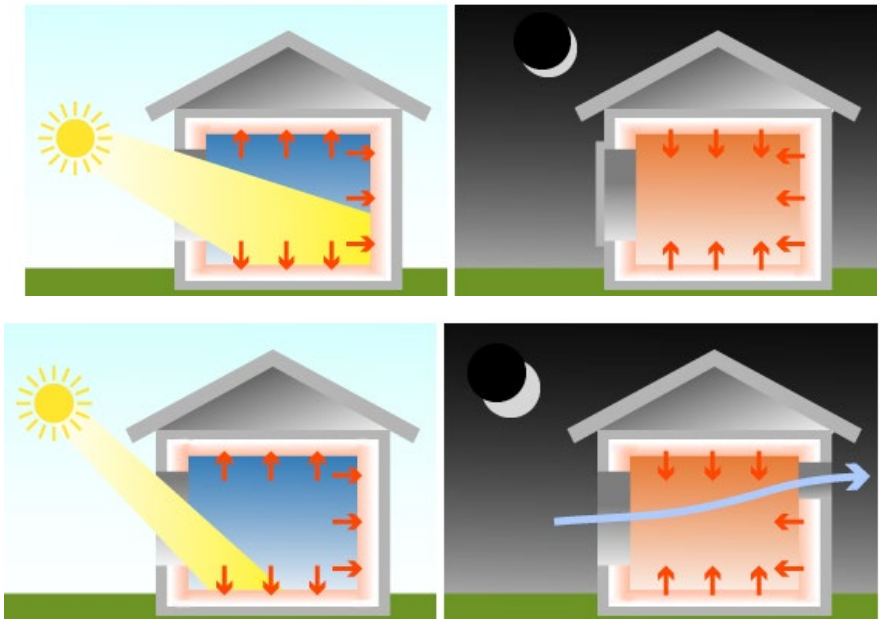


Рисунок 2.11 - Взимку

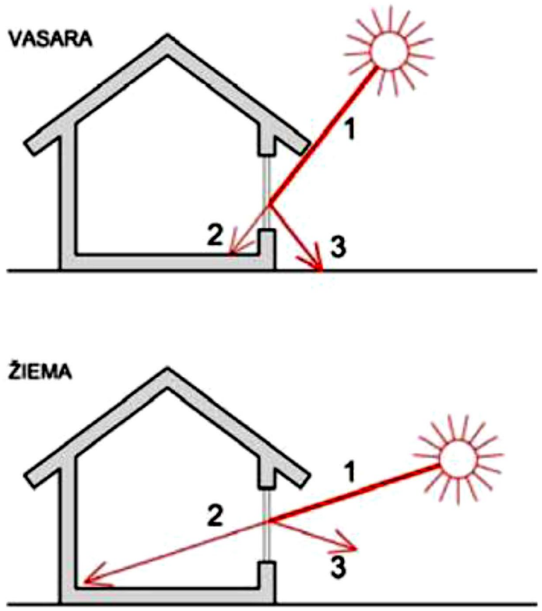


Рисунок 2.12 - Влітку

Висока герметичність будівлі. Енергоефективна будівля має бути якнайменше повітропроникним, так як збільшується фільтрація повітря, підвищується повітрообмін вище необхідного, що призводить до необґрунтованого підвищення споживання теплової енергії на підігрів повітря, що надмірно часто змінюється в приміщеннях.

Герметичність зовнішньої оболонки будівлі є необхідною умовою будівництва будівель, відповідають стандартам Пасивного дому. При недостатній герметичності огороджувальних конструкцій тепле повітря, що знаходиться всередині будівлі, може проникати назовні, що може призвести до рясного випадання конденсату на холодних ділянках конструкцій, і як наслідок – спричинити ушкодження будівельних конструкцій. Крім того, проникнення повітря з вулиці, може стати причиною виникнення протягів та порушення цілісності вентиляції приміщень, значному зменшення рівня комфорту.

Ущільнення щілин та не щільностей віконних та дверних отворів. Захід дозволяє підвищити теплозахист вікон та дверей в середньому на 15…20 %. Для вирішення зазначеної проблеми існують наступні способи і технології:

- герметизація заповнень світлових отворів (вікон, засклених лоджій та ін.) у місцях їх примикань до стінових панелей;

- герметизація дверних отворів;

- герметизація стиків панелей.

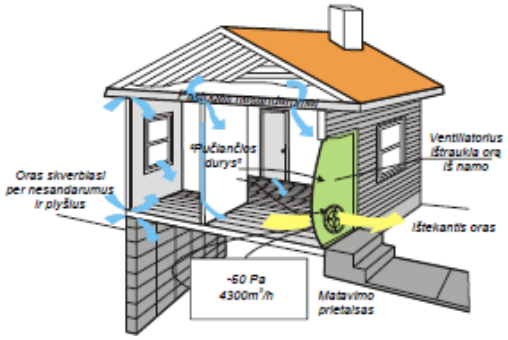


Рисунок 2.13 - Схема вимірювання інтенсивності повітрообміну будівлі із застосуванням аеродверей



Рисунок 2.14 - Аеродвері

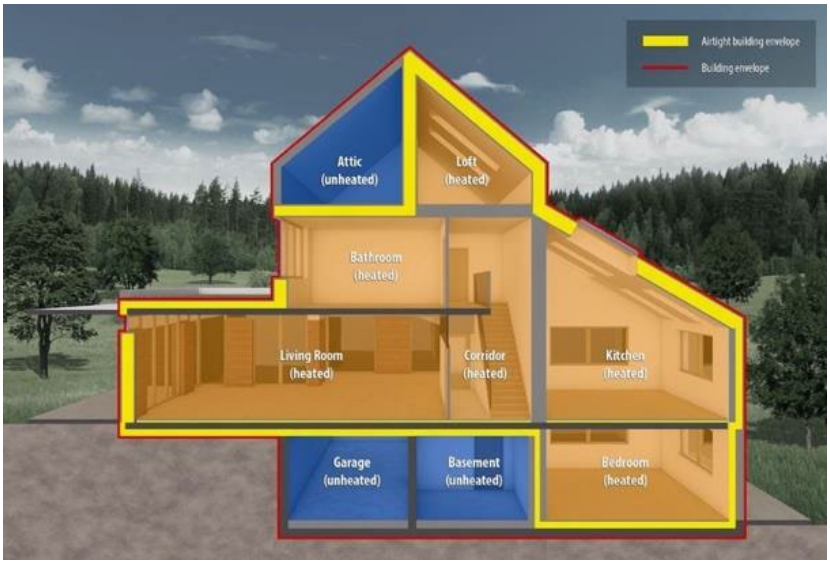


Рисунок 2.15 - Схема утворення повітронепроникної оболонки будівлі

Системи вентиляції та теплообмінник (рекуперація). Принцип таких установок у тому, що при проходженні витяжного повітря через канал теплообмінника він віддає тепло верхньому та нижній пластині рекуператора. Отримане охолоджене повітря видаляється з приміщення. З іншого боку пластини теплообмінника пропускається свіже повітря з вулиці, що отримує тепло від попередньо нагрітих пластин. Є три основні системи вентиляції житлових приміщень: натуральна, примусова механічна та примусова з поверненням тепла з видаленого повітря.

Максимально ефективне використання теплоти повітря, що видаляється за допомогою теплообмінників, з враховуючи уникнення трансмісійних втрат, за умови ефективної теплоізоляції, значно (в межах 70…90 %) знижує витрати на підігрів та охолодження припливного повітря, що дозволяє суттєво скоротити використання окремих систем опалення. Це є важливим аспектом зменшення енергоспоживання будови, зважаючи на те, що витрати на вентиляцію сучасних будівель оцінюється в 40…50 % всіх витрат на опалення

Економія електроенергії, що витрачається на вентилювання будівлі. Системи автоматизованого управління мікрокліматом виконують два завдання: управління та підтримка заданих користувачем параметрів повітря, що надходить у приміщення; захист кліматичного обладнання, приміщень та людей. Також, автоматизація систем мікроклімату вентиляцією дозволяє заощаджувати від 13 % до 20 % енергоносіїв та ін. [24].



Рисунок 2.16 - Система повернення тепла з повітря, що викидається (рекуперація)

Виробництво та використання енергії з відновлюваних джерел для зменшення споживання зовнішньої енергії. Застосування альтернативних екологічно чистих джерел енергії може запобігти енергетичній кризі в будь-якій країні. На сьогоднішній день перспективним напрямком є використання енергії, що накопичуються у водоймах, ґрунті, геотермальних джерелах, технологічних викидів і т.д. Так як температура цих джерел низька (0…25 °С) і для ефективного їх використання перенесення на більш високу температуру (0…25 °С) застосовуються теплові насоси. Принцип роботи теплового насоса дуже простий і подібний холодильнику. Тільки в холодильнику тепло переноситься із внутрішньої камери на задню стінку, а в тепловому насосі з довкілля до системи опалення.

Теплові насоси є дуже надійними пристроями, термін експлуатації компресора та теплообмінного контуру приблизно 30 років. Зарубіжна практика застосування теплових насосів свідчить про те, що агрегати та автоматика практично не виходять з ладу протягом усього терміну експлуатації. Теплові насоси хороший вибір, коли йдеться про об'єднання економії палива та екологічно чистого способу виробництва тепла Енергія, що застосовується тепловим насосом для опалення, забезпечується навколишнім середовищем у необмеженій кількості та абсолютно безкоштовно.

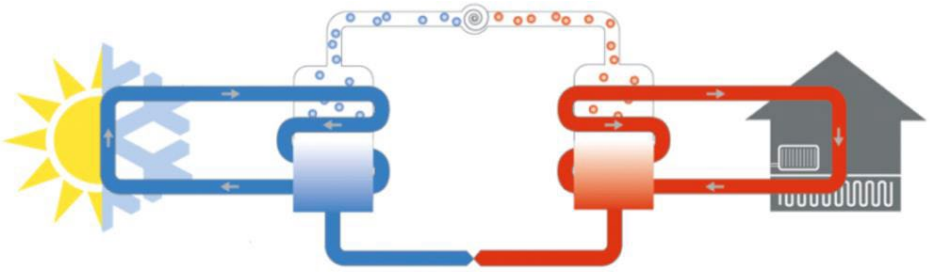


Рисунок 2.17 – Принцип роботи теплового насоса

В основному застосовуються кілька поширених теплових насосів:

1. Геотермальний тепловий насос, який використовує сонячну енергію, збережену у земній поверхні. В основному застосовується чотири системи геотермального опалення з різними джерелами, де енергія збирається з

площини (земляний колектор), з ґрунтових вод (свердловини), водоймища (ставки, озера) або теплової свердловини (енергетична криниця). Але переважно самим поширеним є горизонтальне розташування земляного колектора.

2. Тепловий насос «Повітря-вода». Тут ми можемо сказати це одне з найкращих рішень клієнта, який хоче у своїй системі опалення застосувати тепловий насос, але наявну ділянку не можна використовувати для геотермального насосу Цей вид теплового насоса застосовується для виробництва тепла. теплову енергію, збережену у зовнішньому повітрі.

3. Тепловий насос «Повітря-повітря». Повітряний тепловий насос складається із двох частин. Повітряний тепловий насос складається із двох частин. Зовнішня частина з компресором забирає теплову енергію, збережену в зовнішньому повітрі, і транспортує її у внутрішню частину насоса, звідки накопичене тепло видується за допомогою вентилятора та направляючих у навколишнє повітря. На відміну від теплового насоса типу «повітря-вода», тепловим насосом «повітря-повітря» неможливо нагрівати побутову воду та опалювати водяні радіатори.

Система опалення з тепловим насосом, використовуються для модернізації систем опалення у старих будинках, в низькоенергетичних будинках, а також будинках із застосуванням енергозберігаючих технологій, що використовуються при будівництві. Багато вважають, що тепловий насос призначений для невеликих об’єктів з малим споживанням потужності, але це не так.

Тепловий насос має ряд переваг таких як:

1. Економічність. Система економить людям гроші, хоча початкова ціна системи може бути трохи вищою звичайного;

2. Довговічність та надійність. Система довговічна та послужить від 25 до 50 років;

3. Гнучкість. Одиночний модуль контролює опалення, охолодження та нагрівання води;

4. Екологія. Екологічно чистий метод опалення та кондиціювання, тому що використовується відновлювана теплова енергія землі;

5. Безпека.

Ще однією з інноваційних систем є водонагрівач на сонячних колекторах, яка дозволяє використовувати тепло сонця для нагрівання води та обігріву житлових приміщень. Ця система вже з 1980-х років широко використовується в Європі та США.

Сонячні водонагрівачі можуть бути активними або пасивними типами. Активна система використовує електричний насос для циркуляції рідини через колектор; пасивна система не має насоса та покладається лише з природну циркуляцію. У пропонованих наших сонячних водонагрівачах з колекторами вакуумного типу - за рахунок використання теплових трубок у конструкції вакуумних колекторів досягається більший ККД при роботі в умовах низьких температур та слабкого освітлення.

За рахунок якісних багатошарових високоселективних покриттів та вакумування, сонячний колектор здатний вловлювати сонячну енергію в дуже широкому спектрі випромінювання (значно ширше видимого спектра).

Практика показує, що використання сонячної енергії ефективніше на потреби гарячого водопостачання, ніж на вироблення електричної енергії або опалення, принаймні на сьогодення. Інтерес до сонячних колекторів дедалі більше зростає, а разом із ним зростає і кількість суперечливих думок щодо використання геліосистем у наших широтах.

Є 3 види сонячних колекторів: вакуумні (трубчасті), пласкі, повітряні. Залежно від виду колектора процес перетворення сонячної енергії на теплову має свої особливості.

Порівняльний аналіз показує, що вакуумні колектори мають більше переваг у порівнянні з плоскими, при цьому вважається, що вони й дорожчі. Нижчі тепловтрати, простота заміни трубок та можливість використання при значно низьких температурах роблять привабливішим саме Вакуумні колектори. Вважається, що вони мають велику світлопоглинаючу площу,

отже, мають бути ефективнішими.

В Україні з кожним роком збільшується кількість встановлених сонячних батарей. Причина цього звичайно ж зростання цін на електроенергію, а собівартість генерації з альтернативних джерел стабільно падає. Залежно від низки умов, встановлення та монтаж сонячних батарей виробляється такими способами: на землі, дахах будинків, а в міських умовах – ще й на стінах та балконах. Всі чотири варіанти мають власні переваги і недоліки. І кожному їх властиві як загальні, і індивідуальні особливості монтажу.

Системи електропостачання на сонячних батареях, призначені для нормального забезпечення електрикою окремих об’єктів: житлових будинків, виробничих об’єктів тощо. Потужність систем залежить від необхідного обсягу споживання електроенергії.

Вартість сонячних батарей окупається тривалим терміном використання, високою продуктивністю систем. Але, як і будь-який спосіб інвестування, це також вимагає попереднього аналізу нюансів, особливостей встановлення та подальшої експлуатації.

Сонячна енергоефективність багато в чому залежить від розташування будинку чи об’єкта. Проблемою може статися, якщо будівля оточена високими спорудами, деревами. У таких умовах продуктивність системи залежить від типу батарей. Наприклад, якщо у виробництві сонячних батарей використані полікристали кремнію, тіні стають причиною скорочення виходу електроенергії. Робота монокристалічних панелей за наявності блокуючих світло об’єктів може повністю припинитися. Облаштовуючи будинок сонячною системою, заздалегідь потрібно подбати про відсутність перешкод, що знижують ефективність і високу продуктивність пристрою в денні години.

Потужність енергії, що виробляється безпосередньо залежить від тривалості освітлення панелей сонячним світлом: що довше зігріваються батареї, то ефективніша робота і більше виробляється електроенергії [19].

Рекуператор повітря – це ще одна технологія, яка дає змогу знижувати енерговитрати.

Рекуператор - це пристрій, який забезпечує теплообмін між вхідними та вихідними повітряними потоками.

У промисловості вже давно застосовується рекуперація повітря для того щоб здешевити опалення великих цехів. Але з розвитком технології рекуператор повітря розпочали застосовувати та для будинків. Одним з найкращих варіантів для будинку є той рекуператор, який заздалегідь заплановано під час проектування будинку та планується вбудувати у вентиляцію.



Рисунок 2.18 - Застосування та принцип роботи рекуперації повітря

Насправді, рекуперaційні системи містять один або кілька вентиляторів, як мінімум витяжний. Для того щоб система працювала, потрібен постійний повітряний обмін. У будинку повітря не повинно застоюватися, якщо не буде витяжного потоку, звичайно ж не буде припливного, нічого нагрівати.

Є такі різновиди рекуператорів:

- пластинчастий, він є найпростішим, і найбільш застосовуваним, найбільш відповідним типом рекуператора для приватного будинку Можна заощадити до 60…70 % усієї енергії, яка витрачається на опалення приміщення.

- роторний, тут ми можемо зауважити що система складніша і базується на обертовому теплообміннику. Система працює у вихідному потоці повітря, але при цьому через роторний теплообмінник проходить вхідний потік. Однією з переваг є дуже високий ККД-до 85 % ніж у пластинчастого, а недоліками складність конструкції.

- даховий і водяний - ці системи є дуже рідкісними, тому що виготовляються для спеціальних умов. Дахові рекуператори встановлюються переважно у великих магазинах, супермаркетах, промислових об'єктах тощо. Особливість конструкції полягає в тому, що він потребує великого обсягу внутрішнього простору. Водяний рекуператор за своїм ККД дуже близький до пластичного, але складніше у монтажі. Основною перевагою вважається те, що притяжний і витяжний повітропроводи можуть бути рознесені на велику відстань, з’єднуючи теплоізольованим трубопроводом.

Насправді крім своєї основної функції - економії енергії за рахунок обміну теплом із зовнішнім повітрям - рекуператор у будинку забезпечує постійне провітрювання. Крім того, рекуператор забезпечує очищення приміщення та підтримує оптимальний рівень вологості в будинку.

3 МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ І БАЗИ ДАНИХ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОГО РІВНЯ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЇ ЖИЛИХ БУДІВЕЛЬ

3.1 Методика визначення оптимального рівня теплоізоляції

Істотними моментами методології є:

1. Для оптимізації теплоізоляції оболонки будівлі було обрано зразкові будівлі. В якості прикладу взято реальну будівлю, яка відповідає типовій геометрії будівлі, типовими елементами оболонки та енергосистеми та типова структура витрат, відповідна кліматичних умов географічного розташування.

2. Поліпшення теплоізоляції для елементів огороджувальних конструкцій будівлі були проведені додаючи товщину теплоізоляційних матеріалів відповідно до їхньої номенклатури, а початкові інвестиції збільшували, відповідно, додаючи вартість матеріалу та його монтажу.

3. Річне споживання енергії розраховувалося як втрата тепла на 1 квадратний метр елемента огородження протягом двох опалювальних сезонів різної тривалості. Втрати тепла через стіни та дахи розраховувалися як передача тепла через ці конструкції, через вікна – як різницю теплопередачі та надходження сонячного тепла через вікна. Тепловтрати через підлоги розраховані на першу черга для всього поверху зразкового будинку, і для оптимізації прийнято як середнє значення на 1 м² площі підлоги. Вплив теплових мостів оцінювався під час розрахунку енергетичних характеристик зразкових будівель із оптимізованою теплоізоляцією.

4. Загальна вартість кожного покращення теплоізоляції розраховувалася як сума первісних витрат на будівництво, обслуговування та заміну елемента оболонки будівлі, якщо життєвий цикл конструкції коротші за період розрахунку. Для конструкцій оболонки, життєвий цикл яких довший періоду розрахунку, загальна вартість розраховувалася як сума первісних вкладень та вартість обслуговування, а залишкова вартість конструкції було віднято. На рисунку 3.1 показано графічне представлення моделі оптимізації теплоізоляції будівлі: збільшуючи товщину теплоізоляції елементів зовнішньої конструкції, визначаємо найменшу суму загальних вкладень у будівництво та теплову енергію протягом 30 років експлуатації будівлі.

При оптимізації теплоізоляції будівель та їх елементів враховувалися тривалість терміну експлуатації будівельних елементів; розрахунковий період експлуатації всієї будівлі; витрати на енергію протягом розрахункового періоду, ціни на будівельні матеріали та інженерні системи; витрати на оплату праці; технічне обслуговування будівлі; та експлуатаційні витрати. Оптимальний рівень теплової ізоляції елемента огородження з погляду енергоспоживання було розглянуто та засновано на мінімальних загальних

витратах на встановлення, обслуговування та заміну теплоізоляційних матеріалів, та вартість спожитої теплової енергії у розрахунковому періоді. Припущення щодо змін ціни на енергоносії та зміни грошової вартості було прийнято за розрахунковий період.

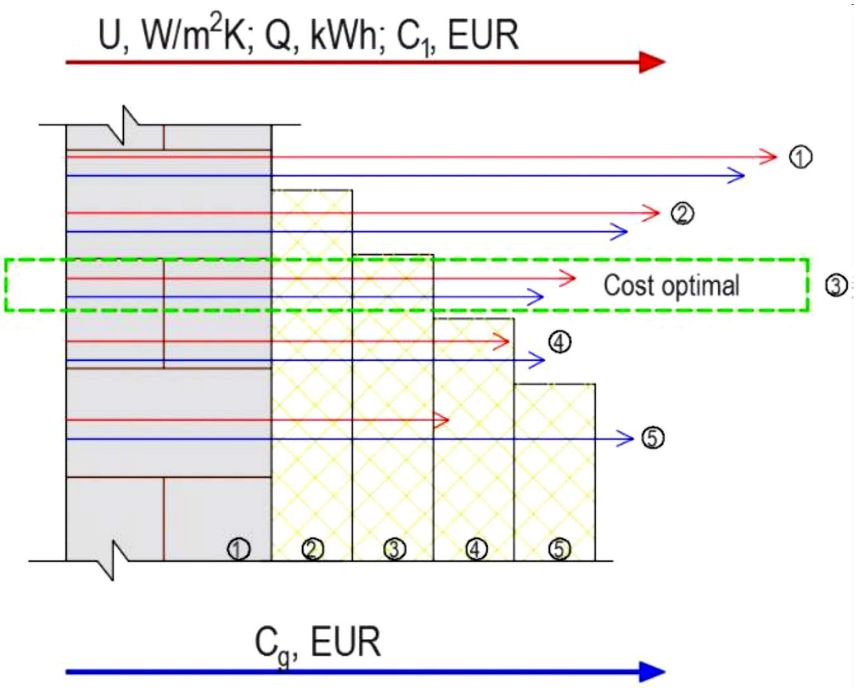


Рисунок 3.1 - Графічне представлення моделі оптимізації теплоізоляції огорож будівлі

Для розрахунку загальних витрат на елементи будівлі розрахункові річні витрати множилися на коефіцієнт дисконтування, щоб вартість енергії було виражено як значення початкового року розрахунку.

Загальні витрати щодо утепленого елемента будівлі від початку розрахункового періоду τ0, Cg(τ), EUR, розраховувалися за рівнянням:

$$C_g(\tau) = C_1 + \sum_j \left[\sum_{i=1}^{\tau} \left(C_{a,i})(j) \times R_d(i) - V_{f,\tau}(j)\right)\right] \quad 3.1$$

де:

τ – розрахунковий період, рік;

C_1 – початкові інвестиційні витрати на j етап теплоізоляції, EUR;

$C_{a,i}(j)$ - річні витрати енергії в і році, що відносяться до певного ступеня теплоізоляції j, EUR;

$V_{f,\tau}(j)$ - залишкова вартість теплоізоляції в кінці розрахункового періоду, що

відноситься до конкретної щаблі теплоізоляції будівельного елемента j, EUR;

$R_d(i)$ - коефіцієнт дисконтування в і-році, що відповідає ставки дисконтування r, розраховується так:

$$R_d(p) = \left(\frac{1}{1+r/100}\right)^p \quad 3.2$$

де:

p – кількість років з початку розрахункового періоду;

r – фактична ставка дисконтування.

3.2 Визначення кліматичних даних та вимог до умов внутрішнього мікроклімату

Для дослідження мікрокліматичних параметрів та визначення вихідних кліматичних даних для теплотехнічних розрахунків об’єкта нами обрано м. Запоріжжя. Місто розташоване у південно-східній частині України, на берегах Дніпра. Географічні координати – 47°51' північної широти та 35°10' східної довготи, середня абсолютна висота місцевості становить приблизно 50–70 м над рівнем моря.

Клімат Запорізького регіону – помірно континентальний, із вираженими сезонними контрастами. Зима, як правило, малосніжна та відносно м’яка, проте з періодичними вторгненнями арктичного повітря. Літо тривале, спекотне, з невеликою кількістю опадів, що характерно для степової кліматичної зони. Рельєф місцевості менш різноманітний порівняно з гірськими районами, тому циркуляція повітря формує більш однорідні температурні умови, хоча відчутний вплив мають річкові долини та водосховище.

Запоріжжя, як великий промисловий центр, стикається з низкою екологічних проблем. Значну частку впливу на стан повітря формують металургійні підприємства, теплоенергетика та автотранспорт. Місто входить до переліку населених пунктів України з підвищеним рівнем техногенного

навантаження. За оцінками екологічних служб, на промислові об’єкти припадає понад половина загального обсягу викидів, а транспортний сектор забезпечує додаткові 30 – 40 % забруднень.

Унаслідок цього в окремі періоди року в місті спостерігається підвищена запиленість та загазованість, зокрема у районах з інтенсивним рухом транспорту або поблизу промислових майданчиків. Оцінки загального обсягу викидів забруднюючих речовин у повітря сягають 120–150 тис. тон на рік, що у середньому становить приблизно 120 – 150 кг шкідливих речовин на одного мешканця. Ці показники варіюються залежно від обсягів виробництва та сезонності.

Таким чином, мікрокліматичні умови Запоріжжя формуються поєднанням природних кліматичних факторів степової зони та суттєвого техногенного навантаження, що необхідно враховувати під час проектування будівель, вибору огороджувальних конструкцій та виконання теплотехнічних розрахунків.

Запоріжжя

	Середня темп. ('C)	Мін. темл. (°C)	Макс. темл. (°C) =	Опади (мм/міс) =	Коментар / Примітки
Січень	-2,7	- 2,7	= 0,6	~ 40 мм	Холодна, можливі сниги
Лутуи	- 2,3	- 2,8	= 3,5	~ 30 мм	Зіма, мо- морозні ночі и
Березен	2,8	2,8	= 16,2	~ 31 мм	Помітне потепління
Квітень	= 10,9	16,5	= 10,9	~ 30 мм	Весна, комфортна поо
Травень	= 16,5	14,5	= 23,8	~ 35 мм	Веснх, со- форттна погода
Липень	= 6,7	= 14,5	= 18,5	~ 40 мм	Найспеко отніший місяць
Жовтень	= 6-8	6-7	= 14,5	~ 40 мм	Помірна осіня
Грудень	= 14,5	10,5	= 14,5	~ 30 мм	Зима, можливйй сніг
Листопад	= 10,5	8,8	= 10-2	~ 45 мм	Зима, можливий сніг
Грудень	= -0,5	-1,0	= 3-4	~ 50 мм	Зима, можливи сніг

Рисунок 3.2 - Середньомісячна погода в Запоріжжі



Рисунок 3.3 - Основна інформація про м. Запоріжжя, Україна

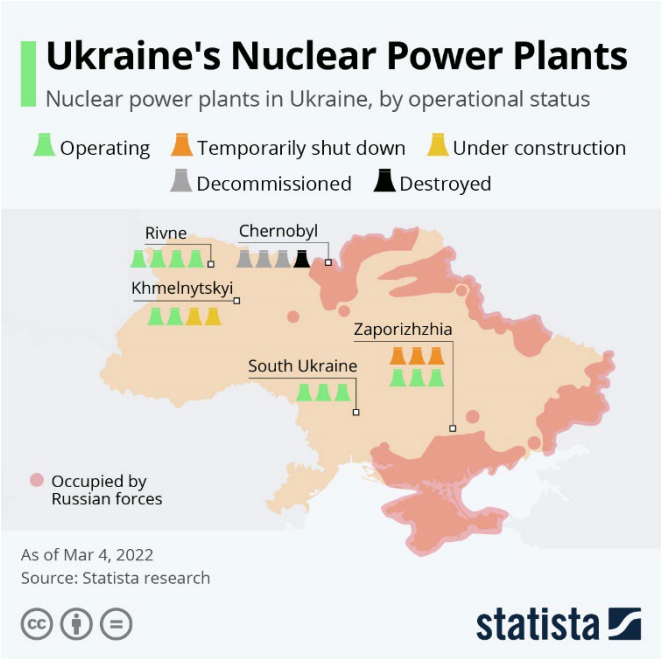


Рисунок 3.4 - Сонячна енергія та приземна метеорологія Запоріжжя

Кліматичні дані для теплотехнічних розрахунків прийнято відповідно до ДБН В.1.1-7:2016 «Пожежна безпека об’єктів будівництва. Основні положення» та ДБН В.2.6-31:2021 «Теплова ізоляція та енергоефективність будівель», де наведені параметри зовнішнього повітря для території м. Запоріжжя. Згідно з цими нормативами, максимальна температура повітря в літній період може досягати +39…+40 °С, тоді як мінімальні зимові температури опускаються до –25…–28 °С. Тривалість періоду, коли середньодобова температура повітря є нижчою за +8…+10

°C, становить орієнтовно 165–175 діб, а середня температура в цей проміжок коливається на рівні 0…–1 °C. Для Запорізького регіону переважають північно-східні та північно-західні напрями вітру, що характерно для степової кліматичної зони.

Орієнтація будівель та розташування віконних площин у житловій забудові Запоріжжя є досить різноманітною й залежить від планувальної структури мікрорайонів. У районах нової та середньої щільності забудови простежується перевага прямокутного вуличного планування з домінуючими напрямами кварталів північ–південь та схід–захід, що відповідно впливає на інсоляцію та тепловий баланс будівель. У зв'язку з цим віконні прорізи в житлових будинках найчастіше зорієнтовані на південь, схід та захід.

Для подальших розрахунків прийнято умовний розподіл орієнтацій світлопрозорих конструкцій, що відповідає типовим планувальним рішенням: 35 % вікон орієнтовано на південь; 30 % – на схід; 18 % – на північ; 17 % – на захід.

Середні значення сонячної радіації визначено на підставі місячних кліматичних даних для Запорізького регіону; відповідні показники наведено у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Сонячна енергія для м. Запоріжжя

Місяць	Середня денна сонячна радіація, kWh/м²/день	Місячна сумарна сонячна радіація, kWh/м²/місяць	Сонячні години, год/міс	Середня температура повітря, °C
Січень	1.2	37	70	–2
Лютий	2.1	59	95	–1
Березень	3.4	105	140	+4
Квітень	4.8	144	190	+11
Травень	6.2	192	260	+17
Червень	6.7	201	300	+21
Липень	6.8	211	320	+24
Серпень	6.0	186	285	+23
Вересень	4.4	132	210	+17
Жовтень	2.8	87	160	+10
Листопад	1.5	45	90	+4
Грудень	1.0	31	60	–1

В Україні вимоги до теплового захисту будівель регламентуються державними будівельними нормами, зокрема ДБН В.2.6-31:2021 «Теплова ізоляція та енергоефективність будівель» та ДБН В.1.1-7:2016. Ці документи визначають основні теплотехнічні параметри огороджувальних конструкцій, а також критерії забезпечення нормативного рівня енерговитрат будівлі в реальних кліматичних умовах, у тому числі для Запорізького регіону.

Тепловий захист будівель трактується як сукупність теплозахисних властивостей зовнішніх та внутрішніх огороджувальних конструкцій, що обмежують тепловтрати або теплопостачання таким чином, щоб забезпечити нормативний рівень енергоспоживання з урахуванням повітрообміну приміщень. До вимог теплового захисту також належать:

– повітропроникність конструкцій, яка не повинна перевищувати допустимих значень;

– захист огороджувальних конструкцій від перезволоження протягом опалювального періоду;

– забезпечення параметрів мікроклімату, оптимальних для житлових і громадських будівель у Запоріжжі, де клімат характеризується значними сезонними коливаннями температури.

Усі зазначені вимоги спрямовані на досягнення стабільного теплового режиму всередині приміщень та мінімізацію експлуатаційних витрат на опалення й охолодження будівель в умовах помірно континентального клімату Запорізького регіону.

Мікроклімат у приміщенні має стан внутрішнього середовища приміщення, що впливає на людини, що характеризується показниками температури повітря та конструкцій, що захищають, вологістю та рухливістю повітря [29].

Розрахункову температуру зовнішнього повітря $t_н$, °С, приймають відповідно до вимог ДБН В.2.6-31:2021 та ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010, де наведено значення середньої температури найбільш холодної п’ятиденки з забезпеченістю 0,92 для конкретних населених пунктів України. Для

м. Запоріжжя розрахункова температура зимового періоду згідно з нормативами становить –22 °С. У разі відсутності даних для певного населеного пункту допускається використовувати параметри найближчої до нього кліматичної станції.

Тривалість опалювального періоду $z_{от}$, діб/год, а також середню температуру зовнішнього повітря протягом опалювального періоду $t_{от}$, °С, слід визначати за даними зазначених нормативних документів. Для Запоріжжя тривалість опалювального сезону становить 165–175 діб, а середня температура протягом цього періоду коливається в межах 0…–1 °С, що відповідає помірно континентальним кліматичним умовам південно-східної частини України.

В українських ДБН та ДСТУ також наведено кліматичне районування України, що базується на поєднанні таких параметрів:

– середня місячна температура зовнішнього повітря в січні та липні;

– середня швидкість вітру в холодний період року;

– середня відносна вологість повітря в літні місяці.

Для м. Запоріжжя ці кліматичні характеристики відносять територію до ІІ кліматичного району України за умовами забезпечення теплового захисту будівель. У подальших розрахунках використано саме дані для м. Запоріжжя, оскільки об’єкт дослідження розташований у межах цього населеного пункту.

Характеристики мікроклімату повинні гарантувати збереження теплового балансу людини з навколишнім середовищем і підтримання раціонального або допустимого теплового стану організму. Тому параметри мікроклімату поділяються на такі види:

- оптимальне, які включають характеристики раціонального теплового впливу та активного стану людини, а також мале зусилля терморегуляції та почуття комфорту;

- допустимі - аспекти, при яких у працівника має можливість спостерігатися зміщення на гірше бік здоров’я. Схожі величини характеристик використовуються, коли не мають шансів бути забезпечені оптимальні

критерії.

Мікроклімат у різних приміщеннях характеризується температурою повітря, його вологістю та швидкістю переміщення. Одні з важливих факторів у приміщеннях це температура приміщення, вологість повітря та швидкість руху повітря.

Параметри мікроклімату у приміщеннях житлових будинків регламентуються ДБН В.2.5-67:2013 «Опалення, вентиляція та кондиціонування» та ДСТУ-Н Б В.2.5-64:2012, де встановлено нормативні значення температури для різних типів приміщень. У цих документах визначаються оптимальні та допустимі межі температури повітря, що забезпечують комфортні умови проживання.

Згідно з чинними нормами, температурні режими для житлових будівель передбачають такі орієнтовні значення: 20…22 °С для житлових кімнат та зон відпочинку; 18…20 °С для кухонь; 16…18 °С для сходових кліток та коридорів; 24…26 °С для ванних кімнат та санвузлів.

Оскільки немає необхідності проєктувати огороджувальні конструкції з різними показниками теплозахисту залежно від призначення приміщення, у теплотехнічних розрахунках приймається узагальнене нормативне значення температури внутрішнього повітря. Для житлових приміщень та більшості розрахунків оптимальним є показник t_n = 21 °С, який відповідає комфортним умовам мікроклімату відповідно до ДБН.

Нормативні документи також встановлюють вимоги щодо допустимих коливань температури, параметрів вологості, швидкості руху повітря та якості повітряного середовища в приміщеннях, що забезпечує підтримання належного рівня теплового комфорту мешканців упродовж опалювального та літнього періодів.

3.3 Визначення терміну експлуатації будівель та їх конструктивних елементів

В Україні визначення терміну експлуатації будівель і їх конструктивних елементів регламентується чинними нормативними документами у сфері будівництва. Основні вимоги викладені у Технічному регламенті будівельних виробів, будівель і споруд та ДСТУ 9273:2024 «Настанова щодо обстеження будівель і споруд для визначення та оцінювання їхнього технічного стану. Механічний опір та стійкість».

Крім того, для оцінки технічного стану будівель і ступеня фізичного зносу застосовується ДСТУ 9273:2024 «Настанова щодо обстеження будівель і споруд для визначення та оцінювання їхнього технічного стану. Механічний опір та стійкість». Документ установлює порядок проведення діагностики конструкцій, критерії оцінки їх працездатності, довговічності та рівня зносу.

Ці нормативи поширюються на всі будівлі та споруди незалежно від форми власності, функціонального призначення та року побудови. Вони визначають підходи до встановлення залишкового ресурсу конструкцій, оцінювання їхньої безпечної експлуатації та прийняття рішень щодо ремонту, реконструкції або посилення будівельних елементів.

У зведенні правил ми можемо побачити:

1. Оцінку прийнятності прийнятих конструктивних рішень щодо забезпечення безпеки будівель та споруд у процесі їх експлуатації та

2. Оцінку технічного стану конструкцій та інженерних систем з фізичного зносу.

Згідно правил, конструкції та інженерні системи будівель та споруд повинні проєктуватися, влаштовуватися та експлуатуватися таким чином, щоб вони зберігали необхідні експлуатаційні показники в процесі будівництва і протягом проектного терміну експлуатації з необхідною надійністю та економічністю.

Закордонні вчені зазначають, що будинки є частиною навколишнього середовища. Будівельне середовище створюється людиною для різних цілей. Життя будівлі залежатиме від його призначення і може бути складена широка потрійна класифікація.

1. Передбачається, що такі монументальні споруди, як церкви та храми, прослужать навіть тисячу років. Індуїстський храм, нещодавно збудований у Північному Лондоні, імовірно, буде мати проєктну тривалість життя 1000 років; деякі церкви, які використовуються сьогодні, наближаються до такого віку.

2. Службові споруди, такі як мости та резервуари, повинні прослужити принаймні від 100 до 200 років.

3. Термін служби таких споруд, як офіси та житлові приміщення, рідко може досягати 100 років.

Найбільш поширені конструкційні матеріали, що використовуються в будинках, наведені нижче, разом з будівельними елементами, для яких вони використовуються:

1. Залізобетон - це, ймовірно, найпоширеніший конструкційний матеріал, що використовується в будинках за останні 50…60 років (тобто після Другої світової війни). Залізобетон - це суміш бетону, яка була посилена сталлю. Будь-яка багатоповерхова будівля зазвичай має підвісні підлоги із залізобетону.

Крім того, більшість фундаментів буде із залізобетону. Якщо будівля висотою понад 2 поверхи, вона матиме також колони та балки із залізобетону (якщо на їх місці не використовувалися елементи з конструкційної сталі). Для будівель висотою понад 5…6 поверхів, де високі швидкості крил виключають використання легких дахів також будуть використовуватися залізобетонні плоскі дахи.

2. Кладка. Кладка використовується для стін будівель. Кладка виготовлена з окремих блоків (які можуть бути цеглиною або цементом: піщані блоки), які пов’язані разом цементом: піщаним розчином.

Якщо будівля не перевищує двох поверхів, стіни можуть бути несучими елементами, усуваючи необхідність у залізобетонних чи сталевих колонах. Однак для більш високих будівель будуть використовуватися бетонні або сталеві колони, а кладка буде служити заповненням, для того, щоб забезпечити зовнішню оболонку та внутрішні перегородки для будівлі. Випадкова цегляна кладка використовується у будівництві фундаментів.

3. Сталь. Крім використання в залізобетоні, сталеві балки та колони іноді використовуються в багатоповерхових будинках. Однак це поширене лише в будинках старше 60 років (тобто до Другої Світової війни). Сьогодні це найчастіше використовують залізобетонні балки та колони. Іноді сталеві балки та колони укладені в бетон або кам'яну кладку; інакше вони залишаються відкритими або, можливо, заховані у дерев'яних стулках. Сталь також використовується у фермах на довгі прольоти.

4. Деревина – вона використовується в основному на дахах будівель. У деяких старих будинках (знову ж таки, мабуть, до Другої Світової війни, а отже, старше 60 років) деревина використовувалася в підвісні підлоги.

В таблиці 3.2 наведені місця, в яких зазвичай зустрічаються вищезгадані конструкційні матеріали.

Таблиця 3.2 - Основні конструкційні матеріали та їх загальне розташування у будинках

Матеріали	Фундамент	Стіни	Колони/Підлоги	Покрівля	Балки
Залізобетон	√		√	√	√
Кам'яна/ Цегляна кладка	√	√			
Сталь			√		√
Брус				√	√

Крім перерахованих вище конструкційних матеріалів, звичайними оздоблювальними матеріалами є штукатурки (з цементу, піску і, можливо, вапна) для стін і підлог, азбестова та глиняна черепиця для дахів, керамічна плитка для підлоги (і стін ванної кімнати) та скління для зовнішньої оболонки.

З точки зору довговічності, однією з основних функцій таких оздоблювальних матеріалів є захист основних конструктивних елементів, особливо вологи.

Термін служби будівлі в основному залежить від його основних конструктивних матеріалів та навколишнього середовища середовищі, в якому він знаходиться. Соціально економічні міркування людей можуть впливати на вищезгадану тривалість, тому що на сьогоднішній день є тенденція скорочувати тривалість будівель, тоді як інші намагаються збільшити її.

Є різні потреби різних власників, а також ми можемо сказати, що зміни вигляду міста або району, в якому знаходиться будівля, можуть призвести до того, що будівля застаріє ще до того, як воно буде придатним для експлуатації. Є різні інвестори чи будівельники, які можуть не захотіти інвестувати у будівлю із надмірним терміном служби. Але також є власники, які намагаються використати вже існуючі будівлі понад термін його служби, тому що знесення та реконструкція можуть їх змусити на нові правила та норми. Крім того, як тільки термін служби будівлі перевищує певний термін, власник чи навіть інші заінтересовані сторони можуть побажати продовжити його термін служби ще більше, якщо воно вважається національним надбанням.

Термін служби конструкцій залежить від різних факторів як:

- їхнє призначення;
- соціально-економічне міркування;
- матеріали та конструкції;
- довкілля;
- ступінь технічного обслуговування.

Ці фактори, що впливають на термін служби, можуть змінюватись не тільки від будівлі до будівлі, але навіть і всередині цієї будівлі. Наприклад, якість субструктури, надбудови та навіть конструкції дахи в будівлі може змінюватись, якщо за них відповідають різні субпідрядники; довкілля, якої піддається будівля варіюються від зовнішніх елементів до внутрішніх елементів, а також від сторони моряків стороні суші (якщо вона знаходиться

поблизу узбережжя); та різні будівельні елементи можуть отримувати різний ступінь технічного обслуговування залежно від їхньої доступності та якості.

Розрахунковий період 30 років було використано розрахунку оптимальної теплоізоляції житлових будинків.

Економічний життєвий цикл будівель та їх елементів, що використовуються в розрахунках були визначені відповідно до ДСТУ EN 15459-1:2017 «Енергоефективність будівель. Процедура економічного оцінювання енергетичних систем будівлі. Частина 1. Процедури розрахунку, Модуль М1-14 (EN 15459-1:2017, IDT)». Цей стандарт визначає економічний життєвий цикл конструктивні елементи нового житлового будинку із розрахунку на 80 років. Життєвий цикл теплоізоляції стін, дахи та перекриття будівлі, за винятком їх оздоблювального та захисного шарів, встановлюються на 50 років.

Залишкова вартість будівельних елементів визначається з використанням лінійної норми амортизації від початкових інвестиційних витрат до кінця розрахункового періоду та дисконтовані на початку розрахункового періоду. Оскільки обробка не пов'язана з заходами енергоефективності будівлі, вона передбачається, що після 30 років експлуатації залишкова вартість огороджувальних конструкцій будівлі становить 62,5 % від початкового значення залишкова вартість шарів теплоізоляції становитиме 40%. Життєвий цикл вікна та двері - 30 років, тому залишкова вартість цих будівельних елементів після розрахунку період дорівнює 0.

3.4 Створення моделей репрезентативних житлових будинків

Після проведеного нами аналізу проєктів новобудов в Запоріжжі одноповерховий житловий будинок загальною площею 143,5 м², з внутрішнім об’ємом 625,8 м³, був обраний як модель для цього дослідження. Будинок спроєктований у європейському стилі з усіма зручностями для спокійного

життя без втрати міського ритму. У м. Запоріжжя дуже багато таких будівель з дуже хорошим розташуванням.

У спроєктованому будинку 4 кімнати та власна ділянка з паркувальними місцями для двох машин. Територія котеджного містечка облагороджена, огороджена, охороняється, а за порядком слідкує сервісна служба.

Стіни будинку будуватимуться за класичною цегляною технологією із сучасних матеріалів, що повною мірою відповідають критеріям екологічної безпеки. Зовнішні стіни з цегли утеплюються, що забезпечує гарні експлуатаційні характеристики житла. Висота будівлі становить 3,0 м, а розрахунковий повітрообмін у при перепаді тиску 50 Pa n50 - 1,0 разів на годину. Площа вікон становить 13,3 % площі підлоги та 12,3% площі стін будівлі.

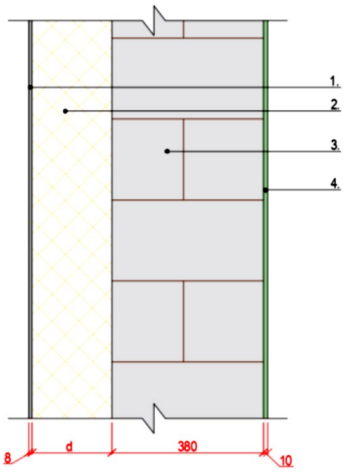
Площа вікон у північному, східному, південному та західному напрямках становить 2,3 % …19,5 %...9,1 % та -18,4 % загальної площі стін відповідно. Відношення площі скління вікна до загальної площі вікна - 0,8.

Конструкція будівлі – монолітно-каркасна. Зовнішні стіни з керамічної цегли, утепленого пінополістиреном або мінеральною ватою, із зовнішньою кладкою. Кладка будівлі посилена вертикальними залізобетонними вставками, арматура якої з’єднується у верхній частині стін монолітною стрічкою.

Внутрішні перегородки масивні, з цілісної керамічної цегли. Стеля та вентильована горище з монолітного залізобетонного або дерев’яного каркасу, утепленого мінеральною ватою. Дах скатний, з вентильованим горищем. Вікна та вхідні двері пластикові, з тепловідбивним склопакетом.

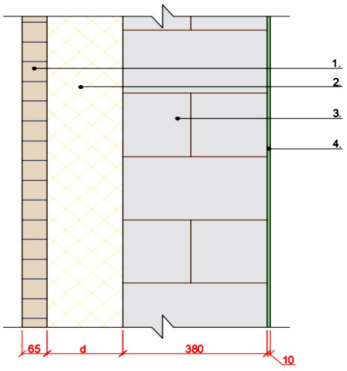
Підлога влаштована на ущільненому ґрунті, з фібробетону з різними внутрішніми покриттями.

Фундамент безперервний (заливний), із залізобетону на подушці з екструдованого пінополістиролу. Детальні дані про елементи огороджувальної конструкції будівлі, використані при розрахунку представлені нижче на рисунках.



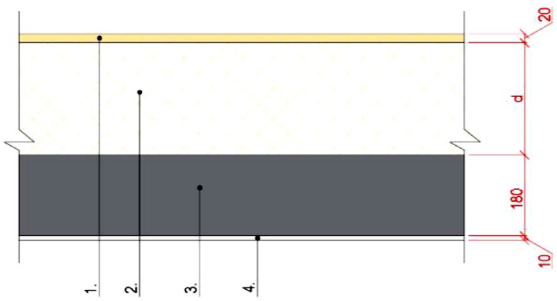
№	Найменування робіт	Ціна за 1 м², грн
1	Зовнішня штукатурка (з армувальною сіткою)	350–420 грн/м²
2	Утеплення фасаду 10 см (пінопласт або мінвата)	450–550 грн/м²
3	Цегляна кладка	900–1100 грн/м²
4	Внутрішня штукатурка	220–300 грн/м²
	Загальна орієнтовна вартість робіт за 1 м² (з матеріалами та роботою)	2000–2400 грн/м²

Рисунок 3.5 – Стіна 1 тип



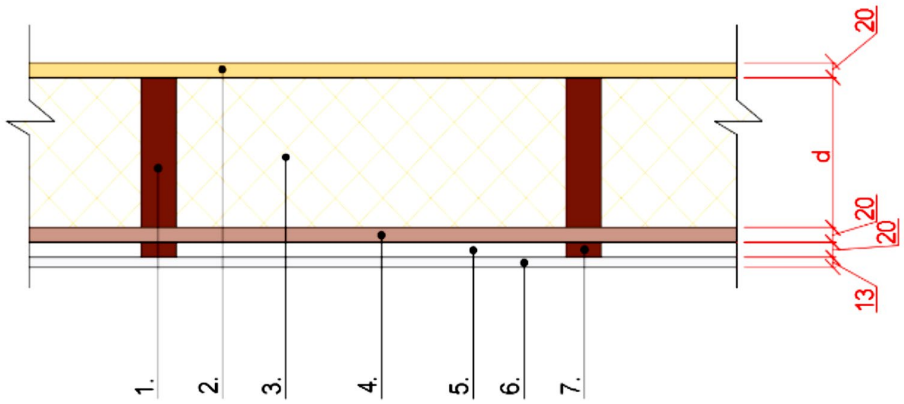
№	Найменування робіт	Ціна за 1 м², грн
1.	Зовнішня цегляна кладка	950–1200 грн/м²
2.	Теплоізоляція фасаду 10 см (пінопласт або мінвата)	450–600 грн/м²
3.	Кладка цегли внутрішніх стін	900–1100 грн/м²
4.	Внутрішня штукатурка	220–300 грн/м²
	Загальна вартість за 1 м² (з матеріалами, роботою, витратами)	2500–3100 грн/м²

Рисунок 3.6 – Стіна 2 тип



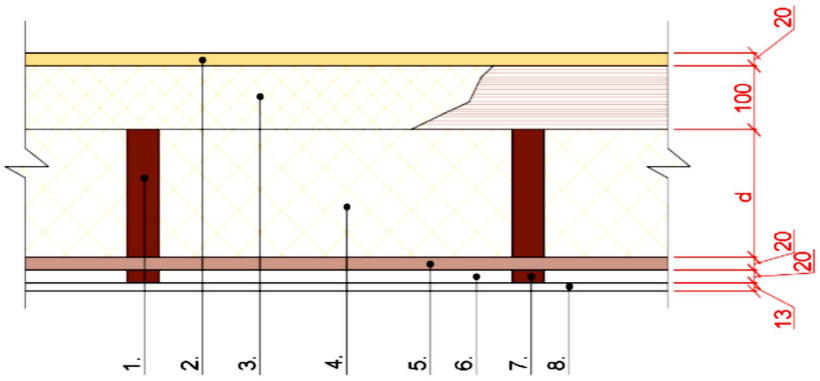
№	Найменування робіт	Ціна за 1 м², грн
1.	Вітрозахисна ізоляція (мінвата, мембрана)	120–160 грн/м²
2.	Теплоізоляція 10 см (пінопласт або мінвата)	450–600 грн/м²
3.	Залізобетонна плита (монтаж або влаштування перекриття)*	1500–2200 грн/м²
4.	Внутрішня штукатурка	220–300 грн/м²
	Загальна орієнтовна вартість за 1 м² (матеріали + робота)	2300–3300 грн/м²

Рисунок 3.7 – Перекриття по горищу 1 тип



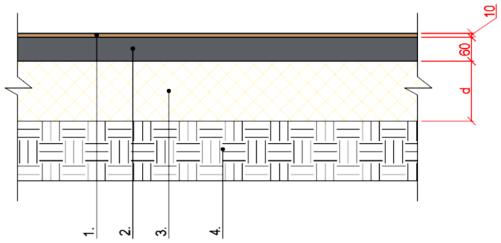
№	Найменування робіт	Ціна за 1 м², грн
1.	Дерев’яна балка 10 см (монтаж)	250–350 грн/м²
2.	Вітрозахисна ізоляція (мінвата, мембрана)	120–160 грн/м²
3.	Теплоізоляція між балками 10 см (мінвата)	450–650 грн/м²
4.	Дерев’яний настил (дошка, монтаж)	350–500 грн/м²
5.	Повітряний прошарок (утворення конструкцією)	
6.	Гіпсокартон (монтаж по каркасу)	350–450 грн/м²
7.	Дерев’яна балка додаткова (монтаж)	200–300 грн/м²
	Загальна орієнтовна вартість за 1 м² (матеріали + робота)	1800–2400 грн/м²

Рисунок 3.8 – Перекриття по горищу 2 тип



№	Найменування робіт	Ціна за 1 м², грн
1.	Дерев’яна балка 10 см (монтаж)	250–350 грн/м²
2.	Вітрозахисна ізоляція (мінвата, мембрана)	120–160 грн/м²
3.	Теплоізоляція між балками 10 см (мінвата)	450–650 грн/м²
4.	Теплоізоляція додаткова між балками 10 см	450–650 грн/м²
5.	Дерев’яний настил	350–500 грн/м²
6.	Повітряний прошарок	
7.	Додаткова дерев’яна балка	200–300 грн/м²
8.	Гіпсокартон з оздобленням (шпаклювання + шліфування)	450–600 грн/м²
	Загальна орієнтовна вартість за 1 м² (матеріали + робота)	2300–3200 грн/м²

Рисунок 3.9 – Перекриття по горищу 3 тип



№	Найменування робіт	Ціна за 1 м², грн
1.	Покриття підлоги (ламінат/лінолеум/плитка — середній рівень)	350–600 грн/м²
2.	Бетонна стяжка з армуванням	350–500 грн/м²
3.	Теплоізоляція 5 см (пінополістирол або мінвата)	200–350 грн/м²
4.	Утрамбований ґрунт (підготовка основи)	80–150 грн/м²
	Загальна орієнтовна вартість за 1 м² (матеріали + робота)	980–1600 грн/м²

Рисунок 3.10 – Конструкція підлоги

3.5 Створення бази даних інвестицій на будівництво

Початкові інвестиції на теплоізоляцію елемента огороджувальної конструкції будівлі розраховуються шляхом підсумовування всіх витрат, необхідних для завершення будівництва та введення в експлуатацію для передачі його власникам. Це витрати на проєктування будівлі, закупівля матеріалів, встановлення конструкцій, включаючи підключення до інших будівельних конструкцій. Для цілей цього дослідження початкові інвестиції були розраховані шляхом підсумовування витрат, на придбання та встановлення теплоізоляційних матеріалів, включаючи накладні витрати на будівництво – 10 % від вартості матеріалів та 15 % від вартості робіт, витрати на проєктування та технічне обслуговування – 2 % від вартості будівлі.

Середні ціни на теплоізоляційні матеріали, що використовуються для теплоізоляції будівлі, залежно від їх цільового призначення, взяті з офіційних сайтів торгових організацій України та Запорізької області.

Розрахунки проводилися для 1 м² теплоізоляційного шару завтовшки 5 см. Вартість дерев’яного каркасу була додана для встановлення скатного даху, дерев’яного каркасу стелі та стіни. Для розрахунку початкової вартості

утеплення дахів, стін та підлог використовувалася така формула:

$$C_1 = 1{,}02 \cdot (1{,}1 \cdot C_{ti} + 1{,}15\, C_{in} \cdot 1{,}12) \quad (3.3)$$

де:

C_1 - початкові інвестиції на встановлення 1 м² теплоізоляційного шару завтовшки 5 см, євро;

C_{ti} - ціна 0,05 м ³ теплоізоляційного матеріалу, євро;

C_{in} - ціна установки теплоізоляційного шару завтовшки 1 м² 5 см, євро.

Таблиця 3.3 - Початкові інвестиції на теплоізоляцію елементів огороджувальних конструкцій будівлі

Будівельний елемент	Теплоізоляційний матеріал	Тепло-провід-ність W/(m·K)	Ціна 1 м² матеріалу, EUR	Ціна 1 м² установки, EUR	Початкові інвестиції на 1 м² товщиною 5 см, EUR
Скатний дах	Мінеральна вата	0.037	2.2	1.1	5.5
Плоский дах	Мінеральна вата високої щільності	0.039	3.3	1.3	7.3
Дерев'яна каркасна стеля	Мінеральна вата	0.037	2.1	1.0	5.2
Залізобетонне перекриття	Мінеральна вата	0.036	3.0	1.2	7.0
Стіна з цегляною кладкою (зовнішня)	Мінеральна вата	0.036	2.8	1.2	6.8
	EPS (пінополістирол)	0.039	2.2	1.0	5.4
Стіна з зовнішньою штукатуркою	Мінеральна вата	0.036	2.8	1.2	6.8
	EPS	0.039	2.2	1.0	5.4
Вентильована фасадна стіна	Мінеральна вата	0.035	3.4	1.5	8.2
Дерев’яна каркасна стіна	Мінеральна вата	0.037	2.1	1.0	5.2
Підлога 1-го поверху	EPS	0.038	2.3	1.0	5.6
	Мінеральна вата	0.036	3.0	1.2	7.2

Початкова інвестиція вікон - це ціна 1 м² вікна певного типу. Для цього дослідження були обрані вікна з пластиковою рамою (товщиною 60, 70 та 80 мм), склопакети з 2 та 3 стекол, 1 або 2 склопакети з низькоемісійними покриттями. Ціна 1 м² вікон у торгових компаніях коливається від 75 до 111

EUR. Вартість установки вікна не залежить від теплоізоляційних властивостей.

Початкові інвестиції вікон показані нижче таблиці 3.4 [10].

Щорічними витратами на заходи щодо енергозбереження є щорічні витрати на теплову енергію, а також частину витрат з податками на використання, технічне обслуговування та заміну елементів всієї будівлі. При розрахунку річних витрат, пов'язаних з утепленням стін, дахів та підлог, враховується тільки вартість теплової енергії, оскільки жодних інших витрат протягом розрахункового періоду не виникало. Для розрахунку оптимальних мінімальних рівнів теплоізоляції також застосовується фактична ставка дисконтування, що відображає зміну вартості грошей за розрахунковий період. У розрахунках використовувалися два фактичні значення ставки дисконтування 2 % та 4 %. При розрахунку річних витрат, пов'язаних із вікнами, 2% від первісної інвестиційної вартості додається до вартості теплової енергії, таким чином, враховуючи витрати на обслуговування вікон.

Таблиця 3.4 - Конструкції, характеристики, передачі енергії вікон

Опис вікна	Товщина рами, мм	Склопакет (кількість стекол / Low-E)	Теплопередача U, $W/m^2 \cdot K$	Сонячний коеф. g	Ціна за 1 м², EUR	Втрати тепла при ΔT = 10 °C, kWh/m^2	Втрати тепла при ΔT = 12 °C, kWh/m^2	Приріст сонячного тепла за опалювальний сезон, kWh/m^2
W600-2LoE	60	2/1	1.6	0.65	80	52	73	240
W700-2LoE	70	2/1	1.4	0.63	90	45	67	230
W703-3LoE	70	3/1	1.2	0.54	110	39	59	209
W803-3LoE	80	3/2	1.0	0.50	130	31	48	194

3.6 Визначення енергетичних витрат житлових будинків протягом терміну експлуатації

Для розрахунку оптимального рівня теплоізоляції будівельних конструкцій використовувалися офіційні ціни на теплову енергію теплових мереж та природний газ, постачається побутовим споживачам. Проаналізувавши прогнози зміни цін на енергоносії ЄС у різних секторах у 2019 році [12] та порівнявши їх з цінами на теплову енергію та природний газ за останні 5 років, для розрахунків використовували 2 % зростання річних цін на енергоносії.

Для розрахунку оптимальних мінімальних рівнів теплоізоляції також застосовується фактична ставка дисконтування, що відбиває зміну вартості грошей за розрахунковий період. У розрахунках використовувалися два фактичні значення ставки дисконтування 2% та 4 %. Перший передбачає дуже стабільну, контрольовану державою економічну ситуацію (де зростання цін на енергоносії компенсується інфляцією), другий більшою мірою відповідає глобальним економічним подіям відсутність серйозних криз. Ціни на теплову енергію, що використовується для опалення будівель, та їх прогноз на найближчі 30 років подано у таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 - Сценарій цін на отримання та зміну теплової енергії від теплових мереж та на природний газ

Тип палива або джерела енергії	Рік	Ціни на енергоносії з урахуванням зростання, 0,01 EUR/кВт·год	Вартість палива з урахуванням дисконту, 0,01 EUR/кВт·год
			r = 2%
Теплова енергія (централізоване опалення)	2019	1.45	1.45
	2029	1.90	1.55
	2039	2.35	1.53
	2049	2.75	1.49
Природний газ (населення)	2019	1.00	1.00
	2029	1.25	0.96
	2039	1.55	0.90
	2049	1.90	0.89

3.7 Розрахунок річних витрат за підвищення теплоізоляції що огороджують конструкцій

Теплоізоляція елементів огороджувальних конструкцій будівлі збільшується з кроком 0,05 м товщини теплоізоляційного шару даху, стіни та підлоги від неізольованої конструкції до 0,25 м завтовшки. При збільшенні товщини теплоізоляційного шару оболонки були розраховані відповідні коефіцієнти теплопередачі оболонки відповідно до EN ISO 6946:2017 [103], а втрати тепла через дахи, стелі, стіни та підлоги були розраховані для опалювального сезону відповідно до EN ISO 13790:2008 [104]. Коефіцієнти теплопередачі вікон взяті із декларацій виробника вікон, які відповідають описам вікон. Теплопередача через вікно розраховується двічі: щодо стін і дахів, то розраховуються втрати тепла через 1 м² вікна протягом опалювального сезону, і це споживання енергії використовується для розрахунку річних витрат. Крім того, були розраховані втрати тепла та приріст сонячного тепла через вікна за кожен місяць опалювального сезону, результати розрахунку були використані для додаткової оцінки оптимальних теплових властивостей вікон. Приріст сонячного тепла за кожен місяць був розрахований відповідно до рівняння:

$$Esol = q_{sol} \cdot g_{gl} \cdot 0.9 \cdot A_{gl}; \quad (3.4)$$

де:

E_{sol} – приріст сонячного тепла за місяць, на 1 м² вікна, кВт * год/м²;

q_{sol} – середньомісячна кількість сонячної радіації, кВт * год/м²;

g_{gl} – коефіцієнт повної передачі сонячної енергії заскленої частини вікна, коли сонячна радіація перпендикулярна до заскленої частини вікна (частини одиниць вимірювання);

0,9 – коефіцієнт поправки на нечіткість сонячного випромінювання до заскленої частини вікна.

A_{gl} – площа скління 1 м² вікна, м².

Річне споживання енергії розраховувалося як втрати тепла через 1 м² елемента огородження протягом кожного опалювального сезону різної тривалості. Річна вартість енергії розраховувалася для кожного року з урахуванням різних джерел теплової енергії та сценаріїв зростання ціни на енергію. Загальна вартість енергії протягом 30-річного періоду є сумою річних витрат за енергію.

До кожного етапу ізоляції розраховуються початкові інвестиції, річні та загальні витрати.

Тепловтрати через 1 м² оболонки протягом опалювального сезону розраховуються у 2 випадках: температури початку та кінця опалювального сезону - tif = + 10 °C та tif = + 12 °C відповідно, тривалість сезону 182 та 212 днів, а середня температура зовнішнього повітря відповідно становить: - 0,8 °C та - 0,2 °C.

Щорічні витрати на заходи щодо покращення теплоізоляції є щорічною вартістю теплової енергії, а також частина витрат з податками на експлуатацію, технічне обслуговування та заміну елементів усієї будівлі. При розрахунку річних витрат, пов’язаних із утепленням стін, дахів і підлог, враховується тільки вартість теплової енергії, оскільки жодних інших витрат протягом розрахункового періоду не виникало. При розрахунку річних витрат, пов’язаних з вікнами, 2 % початкової інвестиційної вартості додається до вартості теплової енергії, таким чином, приймаючи до уваги витрати на обслуговування вікон .

Опис елементів огороджувальної конструкції будівлі та етапи зміни товщини теплоізоляції в процесі оптимізації наведено нижче.

4 РЕЗУЛЬТАТИ ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОГО РІВНЯ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЇ ЖИЛИХ БУДІВЕЛЬ І ЙОГО ВПЛИВУ НА ЗНИЖЕННЯ ТЕПЛОВТРАТ БУДІВЕЛЬ І НАСТУПНОГО СКОРОЧЕННЯ ЕМІСІЇ ПАРНИКОВИХ ГАЗІВ

4.1 Розрахунок та аналіз оптимальної теплоізоляції огороджувальних конструкцій житлових будівель

Результати поетапного розрахунку оптимальної теплоізоляції огороджувальних конструкцій житлових будівель методику визначення оптимального рівня теплоізоляції представлені в таблиці 4.1. Сірим кольором позначені мінімальні загальні витрати, що відповідають оптимальній теплоізоляції кожного елемента огородження.

Аналіз загальних витрат на скатні утеплені дахи показав, що оптимальна товщина ізоляції для використання централізованого та газового опалення складає 15 см. Це в середньому 0,29 Вт/(м² К). Більш детальний аналіз загальних витрат показав, що у разі використання централізованого теплопостачання загальні витрати незначно збільшуються, коли товщина шару теплоізоляції досягає 20 см, а у разі газу ця різниця більша. У разі тривалішого опалювального сезону мінімальні значення загальних витрат наближаються до тоншого шару ізоляції. Узагальнюючи результати розрахунків, за заданих умов та подальше використання енергії оптимальне значення коефіцієнта теплопередачі пропонованої утепленого скатного даху становить 0,25 Вт/м²·К.

Таблиця 4.1 – Зведена таблиця конструкцій, енергоспоживання та вартості

Дахи										
Конструкція	Товщина ізоляції(м)	Тепло-пере-дача U, W/ м ^{2}·K	Інвести-ції, вартість 1 року, грн	Річне споживання енергії кВтч/м^2		Загальна вартість, грн/м^2, централізованого теплоспоживання			Загальна вартість, грн/м^2 Газове опалення	
				t=+10ºC	t=+12 ºC	r=2		r=4	Газ r2	Газ r4
Скатний дах (мінвата)	0.05	0.78	46	74	84	2620		2230	1820	1450
Скатний дах (мінвата)	0.1	0.42	92	41	46	1970		1610	1330	1080
Стелі										
Дерев'яна стеля (мінвата)	0.05	0.79	44	74		85	2610	2200	1810	1440
Бетонна стеля (мінвата)	0.1	0.28	50	31		35	1820	1510	1230	1010
Стіни 1										
Цегла+мінвата	0.05	0.48	34	47		53	2620	2180	1790	1450
Цегла+ППУ	0.1	0.32	58	31		35	2170	1780	1470	1210
Стіни 2										
Вентильована+мінвата		0.1	0.33	104		31		35	2400	1960	1610	1340
Каркас+мінвата		0.15	0.28	156		27		31	2150	1790	1470	1230
Підлоги										
Підлога+ППС	0.05	0.48	28	47		53	2710	2260	1860	1520
Підлога+мінвата	0.1	0.32	80	30		34	2320	1900	1560	1300

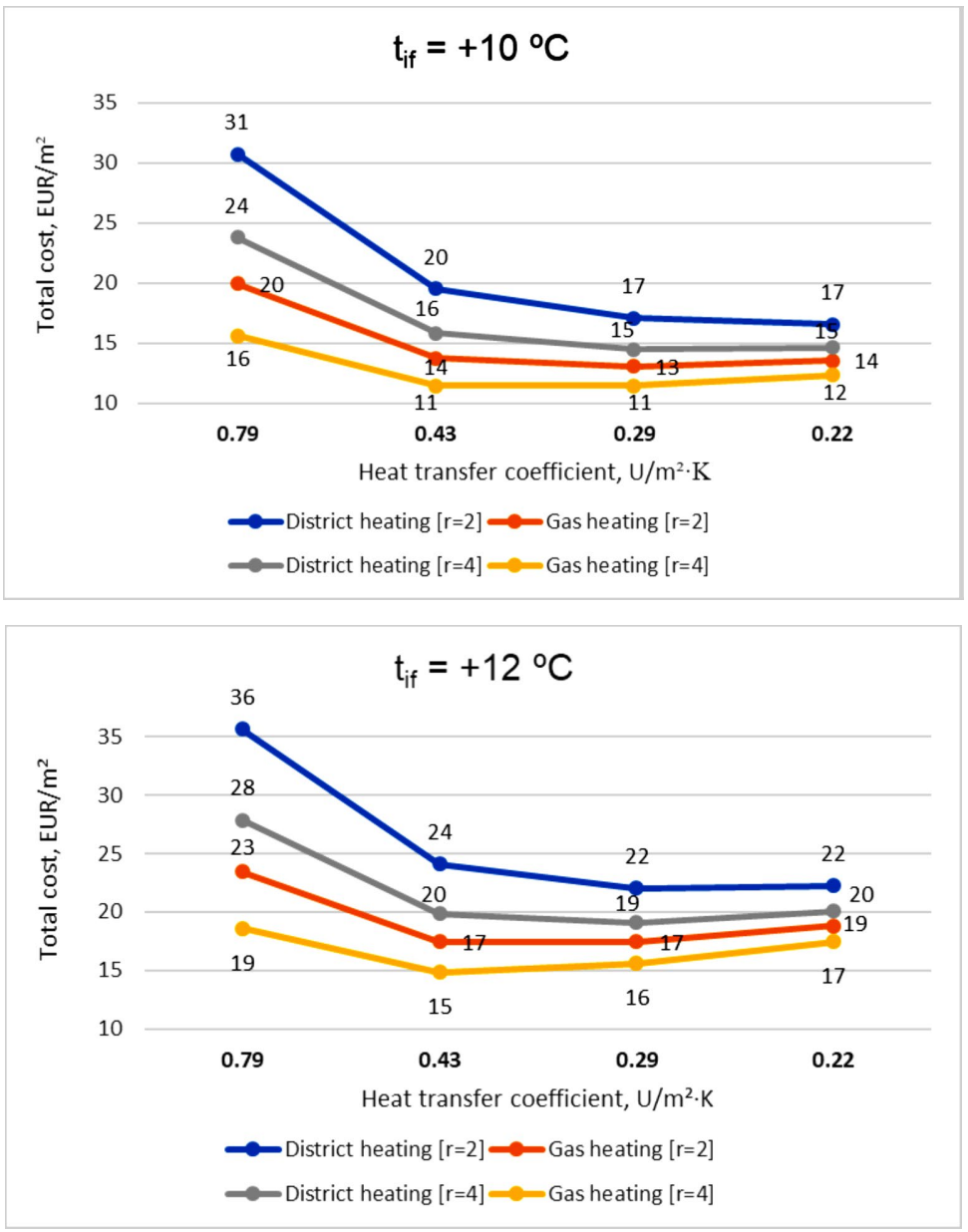


Рисунок 4.1 - Залежність загальної вартості скатних дахів від коефіцієнта теплопередачі для більш коротких (t_{if} = +10 °C) та більш тривалих (ti_f = +12 °C) опалювальних сезонів

Мінімальні загальні витрати на плоскі дахи виходять за товщини теплоізоляції 15 см, але оптимальний коефіцієнт теплопередачі цієї конструкції менше, ніж у скатних утеплених дахів, так як відсутній вплив деревини, яка перетинає шар теплоізоляції (рис. 4.2). Вибір матеріалів з нижчою теплопровідністю зробив би економічно оптимальним досягнення коефіцієнта теплопередачі плоских дахів не більше 0,22 Вт/м²·К.

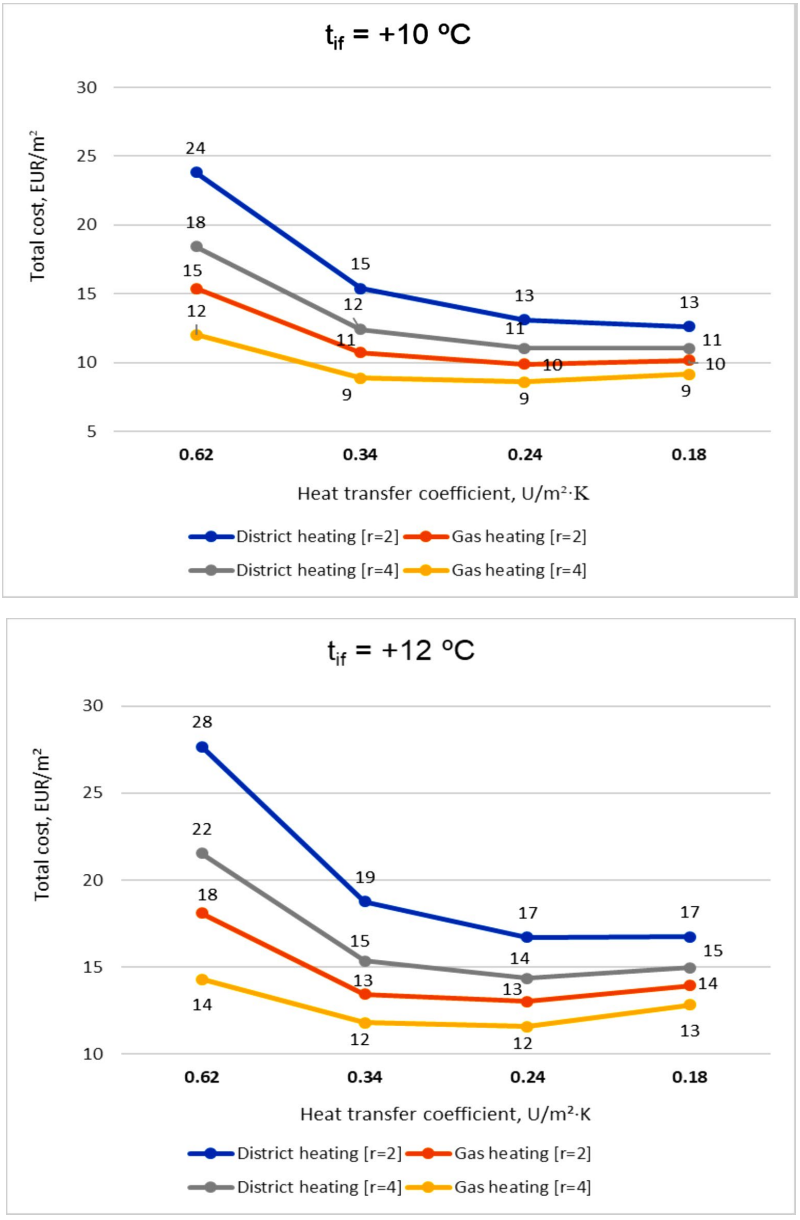


Рисунок 4.2 - Залежність загальної вартості плоских дахів від коефіцієнта теплопередачі для більш коротких (t_{if} = +10 °C) та більш тривалих (t_{if} = +12 °C) опалювальних сезонів

Аналогічна ситуація була виявлена при аналізі утеплення стель у вентильованому укритті (Рисунок 4.3). У разі дерев'яних стель найменші загальні витрати відповідають товщині ізоляції 15 см, але у разі залізобетонної стелі товщина навіть перевищує 20 см, коли коефіцієнт теплопередачі не перевищує 0,20 Вт/м²·К. Тому рекомендується, щоб це значення коефіцієнта теплопередачі розглядалося як оптимальне значення коефіцієнта теплопередачі стель вентильовані укриття. У дерев'яних каркасних стелях слід

використовувати ефективніші теплоізоляційні матеріали або частина ізоляційного шару має бути встановлена поверх цієї стелі, щоб мінімізувати початкові інвестиції (за винятком ціни дерев'яного каркасу).

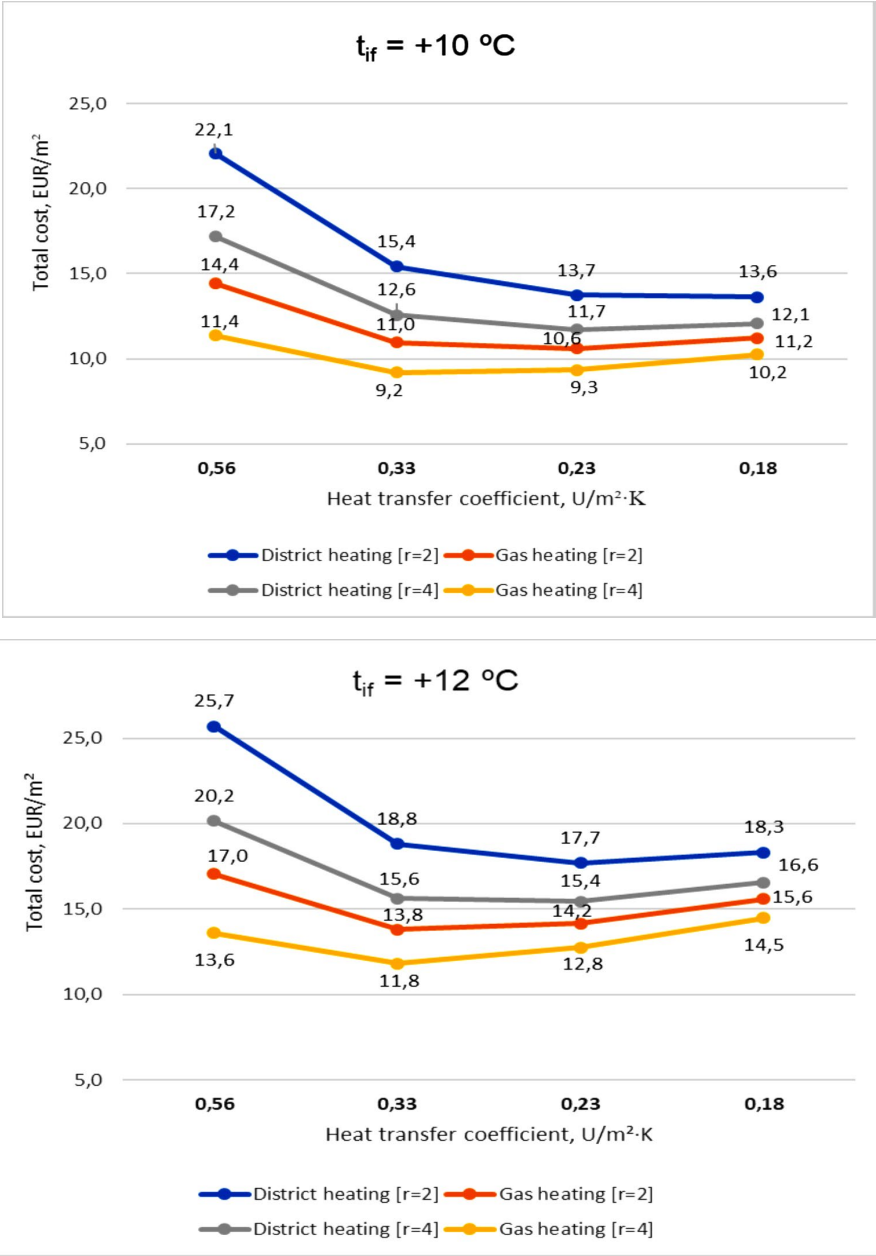


Рисунок 4.3 - Залежність загальної вартості стель у вентильованому укритті від коефіцієнта теплопередачі для більш коротких (ti_f = +10 °C) та більш тривалих (t_{if} = +12 °C) опалювальних сезонів.

Результати розрахунку загальних витрат на стіни показують, що більшість проаналізованих випадків відносяться до області найменших загальних витрат, що відповідають ізоляції завтовшки 15 см.

Найнижчі витрати переносяться на площу ізоляції 10 см з дешевшим

газовим опаленням і більш тривалим опалювальним сезоном. Через різноманітність конструкції стін та ізоляції коефіцієнти теплопередачі стін, що відповідають мінімальній загальній вартості, становлять від 0,21 Вт/м²·К до 0,29 Вт/м²·К. Після підведення підсумків рекомендується використовувати 0,25 Вт/м²·К для оптимального коефіцієнта тепловіддачі стін.

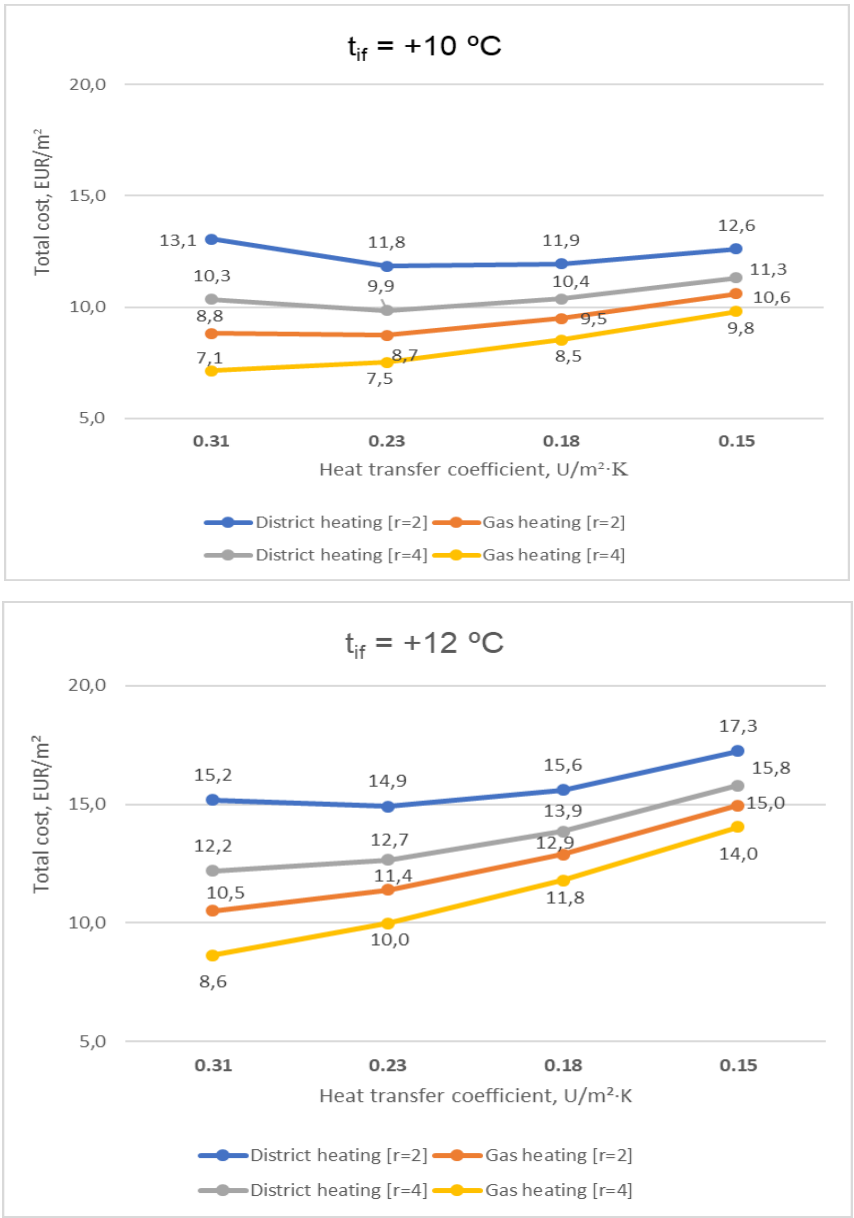


Рисунок 4.4 – Залежність загальної вартості стін від коефіцієнта теплопередачі для більш коротких (t_{if} = +10 °C) та більш тривалих (t_{if} = +12 °C) опалювальних сезонів

Розрахунки підлоги чітко показують найнижчі загальні витрати на ізоляцію підлоги завтовшки 10 см, але в у разі дорожчих теплових мереж та більш короткого опалювального сезону загальні витрати трохи збільшуються

при використанні теплоізоляційного шару товщиною 15 см (рисунок 49).

Це відповідає діапазону від 0,22 Вт/м²·До 0,30 Вт/м²·К коефіцієнта теплопередачі від статі до землі. Враховуючи, що збільшення товщини утеплювача підлоги є одним із найдешевших способів встановлення теплоізоляції, значення коефіцієнта теплопередачі залежить від розміру будівлі, а збільшення утеплювача підлоги на землі додатково знижує енергоспоживання будівлі при встановленні теплої підлоги, оптимальний коефіцієнт теплопередачі підлоги на землі може становити 0,23 Вт/м²·К.

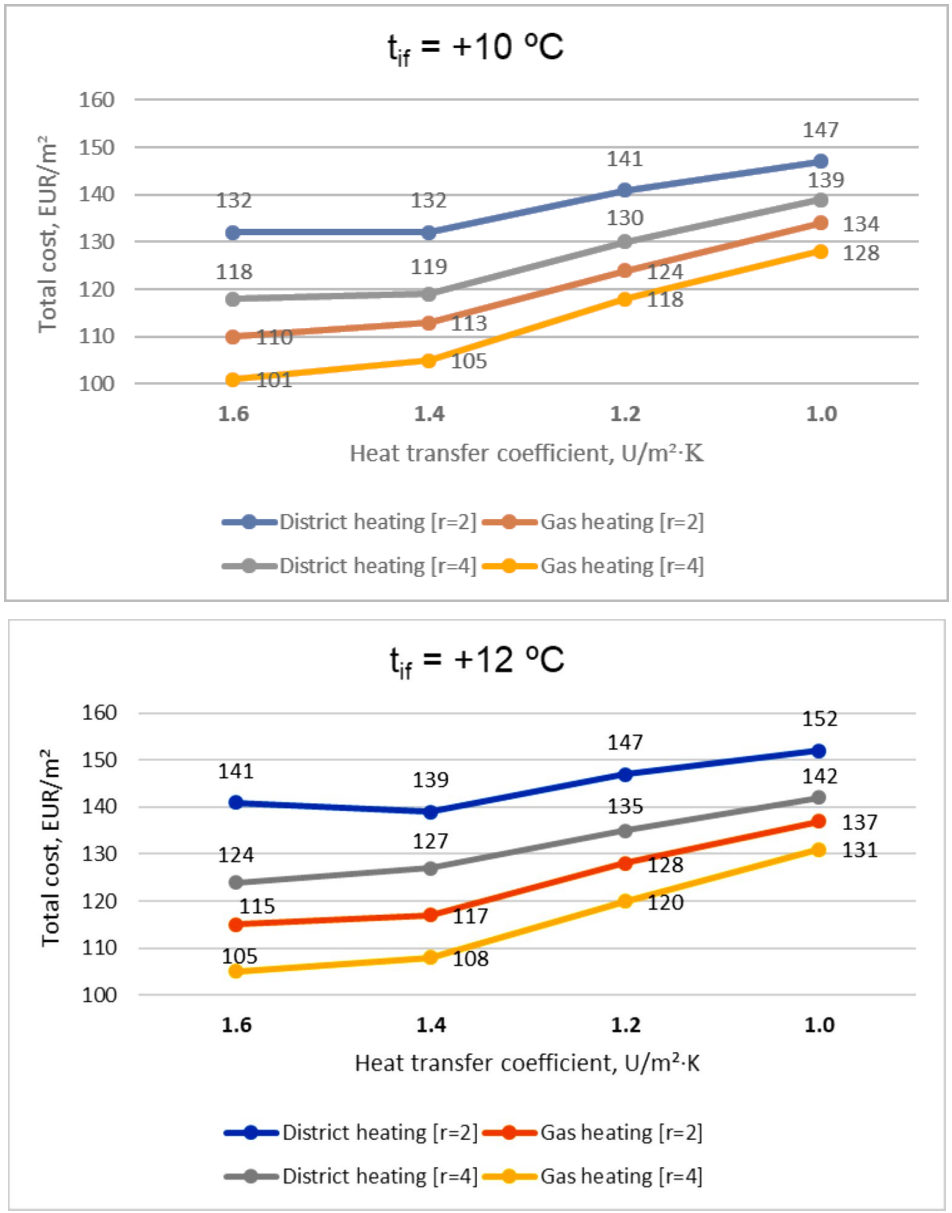


Рисунок 4.5 - Залежність загальної вартості підлоги від коефіцієнта теплопередачі для більш коротких (t_{if} = +10 °C) та більш тривалих (t_{if} = +12 °C) опалювальних сезонів

Оптимізувати вікна складніше, ніж інші елементи будівлі, оскільки вікна виконують більше функцій, ніж економія теплової енергії (рис. 4.5).

Однак, з точки зору оцінки тепловтрат, менш енергозберігаючі вікна в даний час є оптимальними через низьку ціну на електроенергію; хоча вікна товщиною 60 мм зі склопакетами з подвійним склінням і одним склопакетом з низькою випромінювальною здатністю з коефіцієнтом теплопередачі 1,6 Вт/м²·К підходять умовам мікроклімату у приміщенні. Загальна вартість лише незначно збільшується за рахунок використання віконної рами з найкращими тепловими властивостями, коли значення коефіцієнта теплопередачі вікна зменшується до 1,4 Вт/м.

Використання потрійного скління не є оптимальним у досліджуваних умовах не тільки через зростання загальних витрат, а й через зменшення кількості сонячної енергії, що надходить у будівлі через вікна. Вікно з потрійним склопакетом має менший приріст сонячного тепла, ніж економія теплової енергії порівняно зі склопакетом із подвійним склінням (таблиця 11).

Тому пропонується встановити оптимальний коефіцієнт теплопередачі вікон на рівні 1,4 Вт/м²·К, що може бути досягнуто за рахунок використання рами з кращими тепловими характеристиками та склопакета із подвійним склінням. Рекомендовані мінімальні оптимальні значення коефіцієнта теплопередачі елементів огороджувальних конструкцій будівель наведено у таблиці 4.2, рядок 1.

Таблиця 4.2 - Рекомендовані мінімальні оптимальні значення коефіцієнта теплопередачі огороджувальної конструкції будівлі

Конструкція / елемент	Скатний дах	Плоский дах	Стеля над вентильованим горищем	Стіни	Підлоги	Вікна
Теплопередача U, Вт/м²·К (KZ)	0.25	0.22	0.20	0.25	0.23	1.4
Теплопередача U, Вт/м²·К (LT)	0.15	0.15	0.15	0.165	0.18	1.0

4.2 Розрахунок енергетичних характеристик зразкових будівель з рекомендованими теплоізоляційними властивостями огороджувальних конструкцій

Використовуючи рекомендовані значення коефіцієнтів теплопередачі частин будинків, що огороджують, були розраховані характеристики енергоефективності будинку, який взятий як зразок, результати представлені у таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 - Характеристики енергоефективності зразкового будинку

Показник	Дах	Стіни	Підлога	Вікна і двері	Теплові мости	Вентиляція	Приріст тепла: сонячний	Приріст тепла: внутрішній
Теплові втрати/прирости, кВт·год/м²·рік	23.82	32.66	19.91	21.92	20.34	22.96	34.92	17.80

Втрати тепла через зовнішню оболонку зразкової будівлі становлять 118,7 кВт·год/м²·рік, втрати тепла при вентиляції - 23,0 кВт·год/м²·рік, а приріст тепла - 52,7 кВт·год/м²·рік. Приблизно споживання теплової енергії у цій зразковій будівлі становить 90 кВт·год/м² рік. Як приклад для порівняння, середнє споживання теплової енергії для будівель на 1…2 сім'ї в Німеччині у 2019 році становило 122 кВт·год/м²·рік [12].

Низька вартість теплової енергії та більш короткий опалювальний сезон призводять до зниження щорічні витрати на опалення будівлі. Це не сприяє підвищенню енергоефективності будівель та економії енергоресурсів.

Аналіз загальних витрат на електроенергію, пов'язаних з вікнами, як приклад, показав, що існуючий взаємозв'язок між цінами на енергоносії та витратами на впровадження енергозберігаючих заходів стримує впровадження інноваційних енергозберігаючих заходів. Продовження опалювального сезону для покращення мікроклімату в приміщеннях призводить до більш високому довгостроковому споживанню енергії за низького рівня ізоляції будівель.

Для зниження довгострокового споживання теплової енергії та покращення теплового режиму в будинках їх енергоефективність має бути вищою, ніж розраховано в даному дослідженні. Рекомендується частково перерозподілити енергетичні субсидії для реалізації енергоефективних заходів у секторі житлового будівництва [10].

4.3 Аналіз можливостей зниження емісії парникового газу підвищуючи енергоефективність нових житлових будівель

Стратегія дослідження скорочення викидів вуглекислого газу за рахунок підвищення енергоефективності нових житлових будівель складалися з декількох етапів. Аналіз наукових публікацій показав, що більшість дослідників використовують зразкові будинки для аналізу енергоспоживання. Це можуть бути реальними або змодельованими будинками, що відповідають групі будівель, що цікавлять, з чіткими характеристиками енергоефективності

У дослідженні використання зразкових будівель наближає отримані результати до реальних умовам, а певні значення легше застосовувати у реальних будинках. Тому першим завданням дослідження стає виявлення технічних характеристик реальних будівель або їх чітке визначення, якщо використовуються будівлі, що моделюються. Наступним завданням дослідження стає вибір заходів щодо енергозбереження та зниження викидів CO_2 та створення їх комбінацій для зразкових будівель, оскільки переваги має лише комплексне розгортання. Ці комбінації повинні відповідати перспективним тенденціям розвитку та використання будівель. Третім етапом дослідження є розрахунок споживання теплової енергії у зразкових будівлях після реалізації різних комбінацій заходів, що знижують споживання цієї енергії. Викиди CO_2 у будівлі розраховуються на основі розрахункової кількості теплової енергії для кожної комбінації та використовуваного джерела енергії. Отримані результати використовуються для розрахунку

збільшення щорічних викидів CO_2 за рахунок опалення нових житлових будівель.

Зразкові будівлі є прикладом гіпотетичного чи реального будівлі, яка відповідає типовій геометрії будівлі з типовими елементами огороджувальних конструкцій та енергетичних систем, типовою структурою використання та витрат, представляє кліматичні умови та географічне положення. Після аналізу проектів нового будівництва в якості зразкової будівлі для дослідження було обрано одноповерховий житловий будинок загальною площею 143,5 м² та дев'ятиповерховий житловий будинок загальною площею 5543,18 м².

Технічні дані зразкового будинку, що використовуються для дослідження, представлені в таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 - Технічні характеристики будівель, які взяті як зразкові будинки

Тип будівлі	Опалювана площа, м²	Внутрішній об'єм, м³	Висота, м	Площа даху/підлоги, м²	Площа стін, м²	Площа вікон і дверей, м²	Питома площа засклення (відношення)	Герметичність n_{50}, кратність
Одноповерховий житловий будинок	143.5	625.8	3.0	142.0	182.2	22.8	0.8	1.0
Дев'ятиповерховий житловий будинок	5543.2	19476	28.9	534.18	2942.4	762.7	0.8	1.0

Конструкція будівлі є монолітний каркас. Внутрішні перегородки масивні, з цілісної керамічної цегли. Вікна виконані з пластику, з утепленими склопакети. Підлоги на ущільненому ґрунті із залізобетону з різним внутрішнім оздобленням.

Зовнішні стіни одноповерхової будівлі виконані з керамічної цегли, утеплені пінополістиролом і виконані з різним оздобленням. Кладка будівлі посилена вертикальними залізобетонними вставками, арматура яких з'єднана

у верхній частині стін монолітною прикордонною планкою. Зовнішні стіни дев'ятиповерхової будівлі виконані із залізобетону, утеплені пінополістиролом та виконані з різною обробкою. Стеля у горищі, що вентилюється, одноповерхової будівлі і стеля в технічному поверсі дев'ятиповерхової будівлі виконано з монолітного залізобетону, утеплено мінеральною ватою.

Створення комбінацій енергозберігаючих заходів щодо зниження викидів CO_2 в теплову енергію. Початкове значення енергії на опалення та викиди CO_2 розраховується відповідно до проєктованої теплоізоляцією будівель: утеплення стін – 100 мм пінополістиролу (EPS), утеплення підлоги – 25 мм пінополістиролу (EPS) та утеплення стелі - 50 мм мінеральної вати, з вікнами з подвійних склопакетів.

Одноповерховий будинок опалюється з використанням газового котла (коефіцієнт корисної дії CoP - 92%) у будівлі; дев'ятиповерховий будинок опалюється централізованою тепловою мережею. Обидві будівлі оснащені автоматизованими системами керування теплом та мають систему природної вентиляції. На основі огляду літератури та практичного досвіду були обрані наступні заходи щодо зниження теплової енергії будівлі та викидів CO_2: підвищена теплоізоляція огороджувальної конструкції будівлі (150 мм EPS для стін, 100 мм для підлоги та 200 мм для стелі), використання вікон з трьома склопакетами та покриттями з низькою випромінювальною здатністю, встановлення системи примусової вентиляції з рекуперацією тепла (сезонний коефіцієнт продуктивності SPF - 0.35 Wh/m^3, CoP − 82), встановлення теплового насоса (сезонний коефіцієнт продуктивності – ScoP - 4) використання електроенергії із зовнішньої мережі та використання відновлюваних джерел енергії від фотоелектричної електростанції на даху Теплова енергія та викиди CO_2 були розраховані для обох будівель і для однієї і тієї ж комбінації.

Методи, кліматичні дані та дані про викиди для розрахунку теплової енергії та викидів CO_2 у зразкових будівлях. Значення коефіцієнтів

теплопередачі елементів, що огороджують конструкцій будівель розраховувалися відповідно до стандарту EN ISO 6946:2017 [13].

Споживання енергії для опалення будівлі було розраховане з використанням програмного забезпечення NRG5, яка відповідає стандарту EN ISO 13790:2008 [14].

Кількість теплової енергії, що подається в одноповерховому житловому будинку, і загальна первинна енергія, що споживається в цьому будівлі, значно зменшуються зі збільшенням теплоізоляції огороджувальної конструкції будівлі.

Використання вікон із трьома склопакетами замість склопакетів із подвійним склінням знижує потреба в тепловій енергії, що поставляється, і споживання первинної енергії менше, ніж покращена теплоізоляція огороджувальної конструкції будівлі. Використання теплового насоса значно знижує кількість теплової енергії, що поставляється ззовні, але збільшує кількість споживаної первинної енергії і лише трохи знижує викиди CO_2. Коли в будівлі встановлено фотоелектрична електростанція, будівля не потребує постачання зовнішньої теплової енергії; воно використовує тільки відновлювану енергію та не виділяє CO_2 у навколишнє середовище.

Розрахунки дев'ятиповерхової житлової будівлі показали, що теплоізоляція огороджувальних конструкцій будівлі знижує кількість теплової енергії, що подається до будівлі, але встановлення механічної системи вентиляції, що збільшує споживання електроенергії, не дозволяє зменшити викиди CO_2.

Використання більш енергоефективних вікон також не робить істотного вкладу у скорочення викидів CO_2, оскільки дев'ятиповерховий будинок має високу потребу в енергії для вентиляції та підготовки гарячої води на 1 м², що впливає на більшу частину викидів CO_2. Установка теплового насоса, тепло якого використовується для обігріву будівлі та побутової води, знижує викиди CO_2 у будівлі приблизно вдвічі, навіть якщо електрика береться з не поновлюваних джерел. Коли в будівлі встановлено фотоелектричну

електростанція, більшість споживаної електроенергії класифікується як відновлювана, але її недостатньо для всіх потреб будівлі, і електроенергія додатково береться з мережі, що призводить до викидів парникових газів [23].

Більш ефективна теплоізоляція будівель та вікон, використання механічної системи вентиляції з рекуперацією тепла, встановлення теплового насоса для опалення та підготовки гарячої води та встановлення фотоелектричної електростанції можуть знизити забруднення довкілля вуглецевими сполуками до 8 разів.

Без зміни енергетичних показників та джерел тепла будівель викиди вуглекислого газу в житловому секторі майже подвоїться протягом наступних 30 років. За рахунок збільшення теплоізоляції огороджувальних конструкцій будівель, включаючи ефективніші вікна, ми можемо вдвічі скоротити збільшення викидів CO_2. Основну увагу слід приділяти одноповерховим житловим будинкам, які значно надають більший вплив на скорочення викидів CO2, ніж багатоповерхові житлові будинки. Системи механічної вентиляції з рекуперацією тепла в одноповерхових житлових будинках набагато ефективніше знижують викиди CO_2, ніж у багатоповерхових житлових будинках, тому їх встановлення в одноповерхових житлових будинках має бути пріоритетним.

З установкою теплових насосів та фотоелектричних електростанцій в одноповерхових житлових будинках стають повністю екологічно чистими та не впливають на викиди CO_2. Досягнення такого результату у багатоповерхових житлових будинках було б утруднено через більш високе відношення площі даху до площі обігріву. Навіть якщо весь дах покритий сонячною електростанцією, виготовленою електроенергії недостатньо для всіх потреб - опалення (тепловий насос), електроприладів та підготовки гарячої води Це означає, що буде використовуватися електроенергія з мережі та будуть генеруватися викиди CO_2.

ВИСНОВКИ

Підвищення енергоефективності будівель в Україні, зокрема у м. Запоріжжя, є ключовим напрямом зменшення енергоспоживання, скорочення витрат домогосподарств та зниження навантаження на енергетичну систему держави. В умовах високої вартості енергоносіїв та актуальних викликів воєнного часу модернізація житлового фонду дозволяє значно зменшити тепловтрати і забезпечити стабільність теплопостачання навіть за обмежених ресурсів. Світовий досвід, насамперед країн ЄС, демонструє ефективність підходів, що поєднують пасивні архітектурні рішення, якісну теплоізоляцію та сучасні інженерні системи.

Для достовірної оцінки енергоефективності житлових будівель необхідно використовувати локальні кліматичні умови Запоріжжя, зокрема більш м’яку зиму та тривалу теплу пору року, а також реальні ринкові ціни на будівельні матеріали та енергоресурси. Це дозволяє визначити оптимальні техніко-економічні рішення для конкретного регіону. У ході роботи встановлено, що раціональна товщина теплоізоляції огороджувальних конструкцій у запорізькому кліматі становить близько 0,15 м із коефіцієнтом теплопровідності 0,032–0,040 Вт/(м·К), що забезпечує значне зниження тепловтрат та підвищує комфорт. Оптимальні віконні конструкції мають коефіцієнт теплопередачі близько $U = 1{,}4$ Вт/(м²·К), що відповідає сучасним вимогам до енергоефективного житла.

Застосування оптимізованих теплозахисних рішень може зменшити тепловтрати житлових будівель Запоріжжя приблизно на третину, а впровадження теплових насосів або сонячних електростанцій здатне суттєво знизити залежність від зовнішніх джерел енергії. Найбільший ефект такі технології дають у малоповерховому житловому будівництві, де площа покрівлі достатня для встановлення сонячних модулів, а потреби в теплі нижчі, ніж у багатоквартирних будинків.

Підвищення енергоефективності житлового фонду Запоріжжя сприятиме не лише економії ресурсів, а й покращенню комфорту мешканців, стабільності опалювального сезону та зниженню викидів CO_2, що відповідає сучасним державним та європейським екомінімумам. Необхідною умовою успіху є підтримка з боку міських та державних програм, стимулювання термомодернізації, розвиток локальної генерації та застосування обов'язкових стандартів енергоефективності у новому будівництві.

Додатково зазначимо, що в умовах відновлення країни після руйнувань особливо важливо закладати принципи енергоефективності вже на етапі проєктування нових житлових і громадських споруд. Це дозволить створювати сучасний, економічно вигідний та екологічно безпечний міський простір, зменшити залежність від традиційних енергоресурсів та забезпечити довготривалу експлуатаційну надійність будівель Запоріжжя.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Ascione F., De Masi R., Vanoli G. Cost-optimal analysis of building envelope retrofits. Energy and Buildings. 2020. DOI: 10.1016/j.enbuild.2020.109889.

2. ASHRAE Energy Standards Library. URL: https://ashrae.org (дата звернення: 21.09.2025).

3. Berger J., Gasparin S., Mazuroski W., Mendes N. An efficient two-dimensional heat transfer model for building envelopes. Applied Thermal Engineering. 2021. DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2021.117093.

4. Bojić M., Patou A., Boyer H. Optimization of building envelope thermal performance using simulation. Energy. 2020. DOI: 10.1016/j.energy.2020.117567.

5. Броневицький М. М. Будівельна теплофізика. Київ : Ліра-К, 2022. 268 с.

6. ДБН В.1.1-7:2016. Пожежна безпека об’єктів будівництва. [Чинний від 2017-01-01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2016. 71 с.

7. ДБН В.1.2-14:2018. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель та споруд. [Чинний від 2019-01-01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2018. 41 с.

8. ДБН В.2.2-15:2019. Житлові будинки. Основні положення. [Чинний від 2019-12-01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2019. 60 с.

9. ДБН В.2.2-40:2018. Інклюзивність будівель і споруд. [Чинний від 2019-04-01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2018. 36 с.

10. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування. [Чинний від 2014-01-01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2013. 140 с.

11. ДБН В.2.6-31:2021. Теплова ізоляція та енергоефективність будівель. [Чинний від 2022-01-01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2021. 68 с.

12. Державне агентство з енергоефективності і енергозбереження України. Офіційний сайт. URL: https://saee.gov.ua (дата звернення: 10.09.2025).

13. ДСТУ-Н Б В.2.6-101:2010. Конструкції будинків і споруд. Метод визначення опору теплопередачі огороджувальних конструкцій. [Чинний від 2011-01-01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіонбуд України, 2010. 27 с.

14. ДСТУ Б В.2.6-36:2008. Ізоляційні матеріали. Метод визначення коефіцієнта теплопровідності. [Чинний від 2009-01-01]. Вид. офіц. Київ, 2008. 20 с.

15. Електронна база ДБН. Портал e-construction.gov.ua. URL: https://e-construction.gov.ua (дата звернення: 19.10.2025).

16. European Commission. Energy performance of buildings directive (EPBD). URL: https://ec.europa.eu/energy (дата звернення: 16.11.2025).

17. Feist W. Passive House Planning Guide. Darmstadt : PHI, 2020. 176 p.

18. Fischer R., Kordina K. Passive House Construction. Berlin : Springer, 2021. 198 p.

19. Gasparin N., Berger J., Mendes N. An innovative method to determine optimum insulation thickness based on non-uniform adaptive moving grid. Energy and Buildings. 2019. DOI: 10.1016/j.enbuild.2019.109477.

20. Garde F., Boyer H., Celaire R. ECODOM standard: Building thermal optimisation. Energy and Buildings. 2019. DOI: 10.1016/j.enbuild.2019.109583.

21. Givoni B. Climate Considerations in Building and Urban Design. New York : Wiley, 2020. 464 p.

22. Green Building Council Europe. Net Zero Standards Overview. URL: https://worldgbc.org (дата звернення: 10.10.2025).

23. Грабар І. Г., Писаренко Г. С. Теплофізика будівельних матеріалів. Київ : Каравела, 2020. 288 с.

24. Halliday S. Sustainable Construction. London : Routledge, 2021. 350 p.

25. Hasan A., Sulatana S. Approaches to reducing heat losses in residential buildings. Journal of Building Engineering. 2021. DOI: 10.1016/j.jobe.2021.103037.

26. International Energy Agency. Building energy efficiency reports. URL: https://iea.org (дата звернення: 1.11.2025).

27. Кожушко А. Ф., Мартинов В. А. Енергоефективні будівлі: проєктування та оцінювання. Львів : Новий Світ, 2021. 356 с.

28. Кучер В. М., Дяченко С. В. Енергоефективність у будівництві. Харків : ХНУБА, 2020. 224 с.

29. Mandalaki M. Solar energy utilization in low-energy buildings. Renewable Energy. 2022. DOI: 10.1016/j.renene.2021.11.002.

30. McMullan R. Environmental Science in Building. London : Red Globe Press, 2018. 456 p.

31. Міністерство розвитку громад та територій України. Нормативна база будівництва. URL: https://minregion.gov.ua (дата звернення: 14.11.2025).

32. Papadopoulos A. The impact of insulation on energy consumption and CO_2 emissions. Energy Policy. 2019. DOI: 10.1016/j.enpol.2019.111041.

33. Passive House Institute. Passive House Standards. URL: https://passivehouse.com (дата звернення: 10.09.2025).

34. Perez T., Mendes N. Optimization of thermal comfort and energy demand in residential buildings. Applied Energy. 2020. DOI: 10.1016/j.apenergy.2020.114876.

35. Постанова Кабінету Міністрів України № 1056 від 27.10.2021. Про затвердження Національного плану збільшення кількості будівель з близьким до нульового рівня енергоспоживання. [Чинна від 2021-11-06].

36. Zhang X., Pan W. Thermal insulation performance study for mid-rise buildings. Building and Environment. 2021. DOI: 10.1016/j.buildenv.2021.108179.

37. Закон України «Про енергетичну ефективність будівель». [Чинний від 2018-07-01]. Відомості Верховної Ради України. 2017. № 27. Ст. 296.