

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

Кафедра промислового та цивільного будівництва

Кваліфікаційна робота

Другий магістерський рівень

(рівень вищої освіти)

На тему: **Підвищення ефективності технологічних процесів
за рахунок порівняльного аналізу огорожувальних конструкцій**

Виконав: студент 2 курсу, групи 8.1922-пцб-1
спеціальності 192 Будівництво та цивільна інженерія
(код і назва освітньої програми)

освітньої програми промислове і цивільне будівництво
(код і назва освітньої програми)

Жамілов О.Д.

(прізвище та ініціали)

Керівник проф. кафедри ПЦБ, д.е.н. Анін. В.І.
(посада, вчене звання, науковий ступень, прізвище та ініціали)

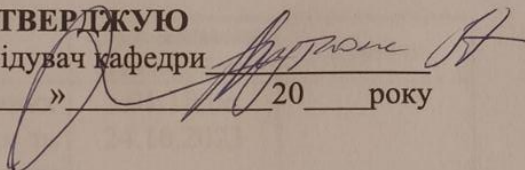
Рецензент проф., д.т.н. Арутюнян І.А.
(посада, вчене звання, науковий ступень, прізвище та ініціали)

Запоріжжя
2023

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

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри 
« » 20 року

**З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТОВІ**

Жамілов Олег Денисович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1 Тема роботи (проекту) Підвищення ефективності технологічних процесів за рахунок порівняльного аналізу огорожувальних конструкцій керівник роботи Анін В.І., д.е.н., проф. кафедри ПЦБ.

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

затверджені наказом ЗНУ від «01» 05 2023 року

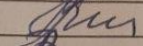
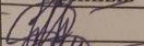
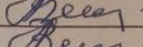

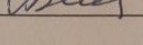
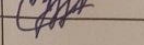
№ 635-С

2 Строк подання студентом роботи _____
3 Вихідні дані до роботи нормативно-технічна документація

4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Аналіз існуючих вітчизняних та іноземних наукових джерел стосовно визначення та формулювання аспектів впливу енергоефективності огорожувальних конструкцій на ефективність технологічних процесів будівельної галузі. 2. Визначення складових, що сприяють підвищенню ефективності технологічних процесів енергоефективності огорожувальних конструкцій та теплових витрат будівель. 3. Дослідження ефективності сучасних енергоефективних заходів та класифікації інноваційних стінових матеріалів та конструкцій 4. Проведення теплотехнічного розрахунку на основі порівняльного аналізу огорожувальних конструкцій.

5 Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) 8 аркушів

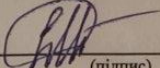
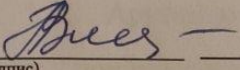
6 Консультанти розділів роботи

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

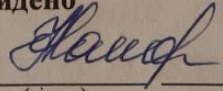
7 Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз існуючих вітчизняних та іноземних наукових джерел стосовно визначення та формулювання аспектів впливу енергоефективності огорожувальних конструкцій на ефективність технологічних процесів будівельної галузі	з 01.10 по 24.10.2023	
2	Визначення складових, що сприяють підвищенню ефективності технологічних процесів енергоефективності огорожувальних конструкцій та теплових витрат будівель	з 25.10 по 10.11.2023	
3	Дослідження ефективності сучасних енергоефективних заходів та класифікації інноваційних стінових матеріалів та конструкцій	з 11.11 по 30.11.2023	
4	Проведення теплотехнічного розрахунку на основі порівняльного аналізу огорожувальних конструкцій	з 01.12 по 06.12.2023	

Студент  (підпис) _____ О.Д. Жамілов (ініціали та прізвище)Керівник роботи (проекту)  (підпис) _____ В.І. Анін (ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройдено

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

АНОТАЦІЯ

Жамілов О. Д. Підвищення ефективності технологічних процесів за рахунок порівняльного аналізу огорожувальних конструкцій.

Кваліфікаційна випускна робота для здобуття ступеня вищої освіти магістра за спеціальністю 192 Будівництво та цивільна інженерія.

Науковий керівник В.І. Анін, Інженерний навчально-науковий навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потебні Запорізького національного університету, 2023.

Робота являє собою аналіз існуючих підходів до принципів вибору огорожувальних конструкцій у розрізі підвищення ефективності технологічних процесів. Розгляд тенденцій вибору матеріалів обґрунтовує сучасні напрямки розвитку наукових досліджень в сфері будівельного виробництва, таких як підвищення енергетичної ефективності та енергозбереження. Аналіз можливостей впровадження іноземних технологій на основі використання сучасних будівельних матеріалів та виробів в розрізі підвищення енергоефективності будівель задля зменшення енергетичної залежності України в складних не визначених умовах.

Досліджено здобутки досягнень сучасного матеріалознавства з потенціалом використання їх у будівельній галузі. Проведено аналітичний розбір міжнародного нормативного регулювання й вимог до значень теплопередачі і термічного опору огорожувальних елементів, зокрема стін. Запропоновано використання інноваційних шляхів підвищення енергоефективності огорожувальних конструкцій та технологічних процесів в цілому .

Ключові слова. *Будівельне виробництво, огорожувальні конструкції, енергетична ефективність, теплопровідність, термічний опір, інноваційні матеріали, іноземний досвід.*

Жамілов О.Д., В.І. Анін, І.А. Арутюнян. Підвищення ефективності технологічних процесів за рахунок порівняльного аналізу огорожувальних конструкцій. *III Всеукраїнської науково-практичної конференції за участю молодих науковців «АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ СТАЛОГО НАУКОВО-ТЕХНІЧНОГО ТА СОЦІАЛЬНО-ЕКОНОМІЧНОГО РОЗВИТКУ РЕГІОНІВ УКРАЇНИ»*. Запоріжжя: ІННІ ЗНУ, 2023.

ANNOTATION

Zhamilov O. D. Increasing efficiency of technological processes by means of comparative analysis of enclosing structures.

Qualification final work for obtaining a master's degree in specialty 192 Construction and civil engineering.

Supervisor V.I. Anin, Engineering Education and Research Institute of Zaporizhzhia National University, 2023.

The paper is an analysis of existing approaches to the principles of selection of enclosing structures in terms of improving the efficiency of technological processes. Consideration of the trends in the choice of materials substantiates the current directions of development of scientific research in the field of construction production, such as improving energy efficiency and energy saving. Analysis of the possibilities of introducing foreign technologies based on the use of modern building materials and products in the context of improving the energy efficiency of buildings to reduce Ukraine's energy dependence in difficult and uncertain conditions.

The achievements of modern materials science with the potential for their use in the construction industry are investigated. An analytical analysis of international regulations and requirements for the values of heat transfer and thermal resistance of building envelope elements, in particular walls, is carried out. The use of innovative ways to improve the energy efficiency of building envelopes and technological processes in general is proposed.

Keywords. *Construction production, building envelope, energy efficiency, thermal conductivity, thermal resistance, innovative materials, foreign experience.*

Oleh Zhamilov, Victor Anin, Irina Arutyunyan. Increasing the efficiency of technological processes through comparative analysis of enclosing structures. *III All-Ukrainian Scientific and Practical Conference with the participation of young scientists "ACTUAL ISSUES OF SUSTAINABLE SCIENTIFIC, TECHNICAL AND SOCIO-ECONOMIC DEVELOPMENT OF THE REGIONS OF UKRAINE"*. Zaporizhzhia: INNI ZNU, 2023.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
I ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ВИКОРИСТАННЯ ЗОВНІШНІХ СТІНОВИХ КОНСТРУКЦІЙ В ПІДВИЩЕННІ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ БУДІВЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСУ	11
1.1 Проблеми енергетичної ефективності будівельної галузі.....	11
1.1.1 Передумови і наслідки енергетичної кризи	11
1.1.2 Енергетична бідність	16
1.1.3 Руйнування енергетичної інфраструктури	20
1.2 Складова огорожувальних конструкцій в теплових витратах будівель	23
1.2.1 Питомі тепловитрати огорожувальних конструкцій.....	23
1.2.2 Фізико-технічні характеристики матеріалів	25
1.2.3 Значення технологічного процесу монтажу та утеплення елементів будівель	34
2 АНАЛІЗ ДОСВІДУ КРАЇН З ВПРОВАДЖЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ ЗАХОДІВ ТА МАТЕРІАЛІВ.....	42
2.1 Законодавче регулювання енергетичних стандартів країн світу.....	42
2.1.1 Законодавчий фреймворк та нормативи щодо енергоефективності в будівництві України.....	42
2.1.2 Загальноєвропейська енергоефективна політика.....	46
2.1.3 Досвід і практика України у впровадженні та виконанні енергетичних заходів ⁴⁹	
2.2 Дослідження класифікації сучасних будівельних матеріалів	53
2.2.1 Сучасні ізоляційні та конструкційні матеріали.....	53
2.2.2 Інноваційні світлопрозорі конструкції.....	62
2.2.3 Огляд високопотенційних технологій.....	69

3. ОПТИМІЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ БУДІВНИЦТВА ПРИ ПРОЄКТУВАННІ ЖИТЛОВОЇ БУДІВЛІ	74
3.1 Прийняття шарів огорожувальних конструкцій	74
3.2 Порівняльний теплотехнічний розрахунок огорожувальних конструкцій	80
ВИСНОВКИ.....	85
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	86

ВСТУП

Не важко обумовити сучасні тенденції прагнення країн світу до підвищення своїх показників енергозбереження та енергоефективності. Підґрунтям цих понять є не тільки більш економічне ставлення до паливно-енергетичних ресурсів. З метою зменшення енергетичної залежності, наукове суспільство десятиліттями знаходиться у пошуках заходів, здатних зменшити споживання енергетичних ресурсів. Ми прагнули зменшити залежність від імпортованих енергоресурсів, обмежити негативний вплив на навколишнє середовище, скоротити витрати на енергоносії.

Енергоефективність обумовлює собою використання мінімальної кількості енергії для опалення, охолодження, обладнання та освітлення, що потрібне для підтримання комфортних умов у будівлі. Важливим фактором, що впливає на енергоефективність, є огорожувальна конструкція будівлі. Це включає в себе усі будівельні елементи між інтер'єром і екстер'єром будівлі, такі як: стіни, вікна, двері, дах і фундамент. Усі ці компоненти повинні працювати разом, щоб зробити будівлю енергоефективною.

У даній роботі розглянуто проблематику саме стінових огорожувальних конструкцій та їх роль у тепловитратах будівлі. Проведено огляд тенденцій з вирішення цієї проблеми в Україні та країнах ЄС. Проаналізовано іноземний досвід з підвищення ефективності технологічних процесів шляхом впровадження інноваційних матеріалів та конструкцій, в розрізі яких було запропоновано порівняльний аналіз для вибору найоптимальніших конструкцій в умовах вітчизняного будівельного виробництва.

Актуальність теми. Будівельний комплекс був і залишається одним з найбільших споживачів енергії. Щонайменше 40% загального споживання енергетичних ресурсів країн Європи приходить на будівлі. У час активної російської агресії проти України, великих руйнувань зазнала енергетична інфраструктура, що забезпечує опалення й освітлення житлового фонду. Через це загострилися питання енергетичної автономності цілих регіонів. Саме тому

стратегічного значення набула проблема низької ефективності споживання енергетичних ресурсів.

Зовнішні стіни, як один з елементів огорожувальних конструкцій, залишаються джерелом основних теплових витрат під час всього періоду експлуатації. Не дивлячись на активний розвиток інноваційних матеріалів у галузі будівництва, виробники будівельної продукції продовжують використовувати в проектах морально-застарілі технології прирікаючи житловий фонд на значну енергетичну марнотратність та коштові витрати.

Скрутна паливно-енергетична ситуація в країні вимагає від виробників пошуку інноваційних шляхів підвищення енергетичної ефективності будівельного фонду. Саме використання методів порівняльного аналізу застарілих та сучасних матеріалів (конструкцій, виробів) є шляхом покращення технологічних процесів, які можуть бути впроваджені у вітчизняне будівельне виробництво.

Метою роботи є обґрунтування теоретичних та практичних рекомендацій з оптимізації технологічних процесів огорожувальних конструкцій, підвищення їх енергоефективності шляхом порівняльного аналізу сучасних матеріалів та конструкцій.

Предмет дослідження – методи оптимізації технологічних процесів та заходи підвищення енергоефективності стінових конструкцій при зведенні цивільної будівлі на основі порівняльного аналізу.

Об'єктом дослідження є політика енергоефективності та ресурсна-матеріальна база цивільного будівельного фонду країн ЄС.

Задачі дослідження. Досягнення поставленої мети зумовило необхідність вирішення наступних завдань:

1. Аналіз існуючих вітчизняних та іноземних наукових джерел стосовно визначення та формулювання аспектів впливу енергоефективності огорожувальних конструкцій на ефективність технологічних процесів будівельної галузі.

2. Визначення складових, що сприяють підвищенню ефективності технологічних процесів енергоефективності огорожувальних конструкцій та теплових витрат будівель.
3. Дослідження ефективності сучасних енергоефективних заходів та класифікації інноваційних стінових матеріалів та конструкцій.
4. Проведення теплотехнічного розрахунку на основі порівняльного аналізу огорожувальних конструкцій

Методи дослідження. У роботі використано теоретичні методи, порівняльний аналіз існуючих технологій, оптимальні моделі енергоефективних огорожувальних конструкцій.

Наукова новизна полягає у визначенні необхідності оптимізації технологічних процесів на підґрунті проведення порівняльного аналізу теплотехнічних характеристик огорожувальних конструкцій із застосуванням інноваційних матеріалів в сучасному будівництві, відображаючи їх переваги перед існуючими, що є платформою для розробки оптимізаційної моделі, опираючись на енергетичні потреби проектованої будівлі.

Практичне значення. Використання порівняльного аналізу огорожувальних конструкцій на практиці дозволяє значно підвищити енергоефективність цілої будівлі, зменшити енергозалежність від критичної інфраструктури, заощадити кошти цивільних мешканців та підвищити комфортність умов проживання.

I ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ВИКОРИСТАННЯ ЗОВНІШНІХ СТИНОВИХ КОНСТРУКЦІЙ В ПІДВИЩЕННІ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ БУДІВЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСУ

1.1 Проблеми енергетичної ефективності будівельної галузі

1.1.1 Передумови і наслідки енергетичної кризи

Останнє століття - це період швидкого промислового розвитку в усьому світі, що супроводжується надзвичайно динамічним зростанням кількості населення, а також просуненням науково-технічного прогресу. Європа є одним з найбільш урбанізованих континентів у світі, де близько 72% населення проживає в міських районах [1].

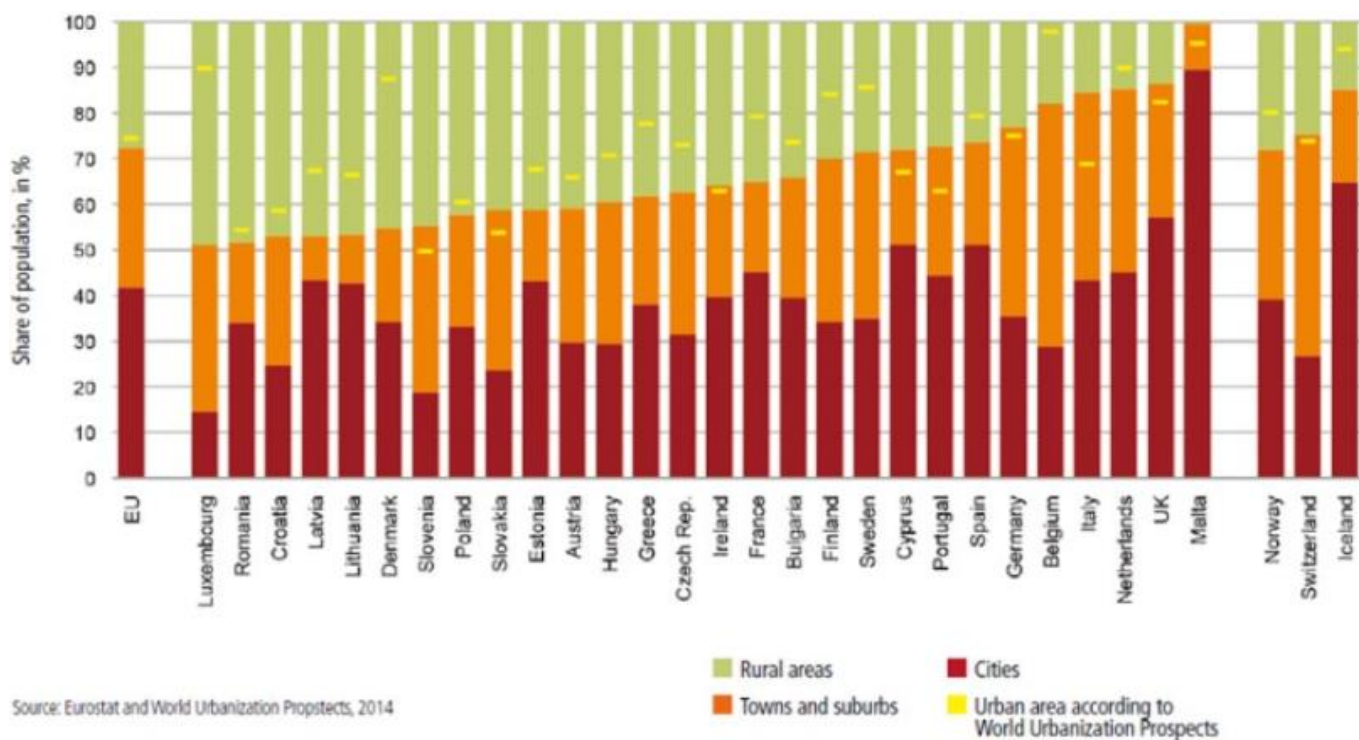


Рисунок 1.1 - Частка міського населення в ЄС та країнах-учасницях у % від загальної кількості

Загалом, урбанізація призводить до швидкого зростання кількості міст, які характеризуються високим рівнем споживання енергії, особливо для опалення, охолодження, освітлення та транспорту. Збільшення кількості автотранспорту на дорогах призводить до більшого використання рідкого пального, такого як бензин, дизельне пальне і скороченню запасів нафти. Також збільшується кількість споживання природного газу для опалення та електрогенераторів. Таким чином, швидкий розвиток міст створює попит на енергетичні ресурси.

Швидкий технологічний розвиток приводить до зростання споживання енергії. Зі збільшенням обсягів споживання енергії внаслідок урбанізації і технологічного розвитку, зростає інтерес до альтернативних джерел енергії, таких як сонячна та вітрова енергія. Проте впровадження цих джерел може потребувати значних інвестицій та часу. Але одночасно, такий розвиток також може призвести до збільшення загального обсягу виробництва з використанням електроніки та інших енергоємних технологій.

Міські райони особливо відповідальні за погіршення стану навколишнього середовища. У зв'язку з цим європейські країни, починаючи з 90-х років минулого століття, проводять рішучі дії щодо вирішення проблем деградації навколишнього середовища і покриття енергетичних потреб.

Енергетика відіграє важливу роль і в економіці України – енергетичний сектор є першим за сплатою податків. Для вироблення одиниці ВВП Україна витрачає енергії майже втричі більше, ніж Польща, яка має подібну чисельність населення. Україна залишається серед десяти найбільш енергоємних країн у світі, енергоємність якої майже втричі перевищує середній показник організації економічного співробітництва та розвитку [2]

Після розпаду Радянського Союзу Україна успадкувала енергоємну економіку, неефективні системи централізованого опалення та морально-застарілі будівлі. Історично Україна була залежною від імпорту російського природного газу. З 1991 по 2008 роки Україна імпортувала близько 80% спожитого природного газу. Після економічного спаду в 2009 і 2010 роках та різкого підвищення цін на природний газ Україна почала займатися питанням своєї енергетичної залежності від російського

газу. Частка імпорту в споживанні природного газу зменшилася з 60% у 2012 році до 33% у 2018 році, однак в 2019 році знову зростає – до 48%.

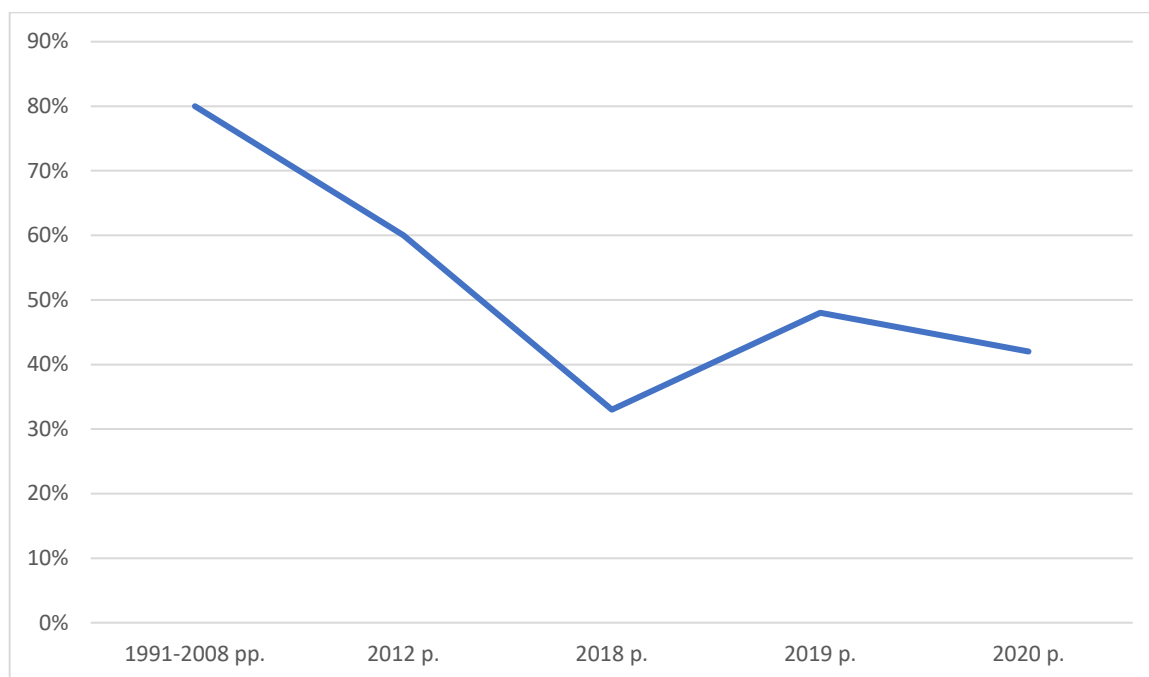


Рисунок 1.2 – Частка імпорту російського газу у 1991-2020 рр.

Росія виступає як один з провідних світових постачальників вугілля, нафти і газу, і використовує цей факт для тиску на інші країни, особливо ті, які вводять економічні санкції через її вторгнення на територію України. Продаж нафти та газу стає джерелом фінансування для подальшого проведення війни. Світ приймає заходи для обмеження цього впливу: Європейський союз приймає санкційні пакети, включаючи ембарго на російське вугілля з серпня 2022 року; Польща розірвала газову угоду з Росією достроково, а Сполучені Штати Америки вводять заборону на імпорт російської нафти та газу.

Подолати залежність, яка накопичувалася протягом багатьох років, не є завданням, яке можна виконати протягом кількох місяців. Згідно з даними Фінського Центру досліджень енергетики та чистого повітря [3], хоча з березня доходи Росії від експорту енергетичних ресурсів зменшуються через поступове відмовлення від них деякими країнами, вони все ще залишаються на високому рівні.

Країна, що прагне до вступу у ЄС повинна усвідомити, що залежність від використання вугілля та інших викопних палив має серйозні екологічні, політичні і економічні наслідки. Ця проблема стає особливо небезпечною, коли країною-експортером цих ресурсів є країна з диктаторським режимом. Росія, яка є державою-агресором, активно використовує цю залежність, провокуючи кризи в областях продовольства та енергетики, підсилюючи контроль над іншими країнами завдяки своїм ресурсам. [4]

Енергетична криза та залежність від корисних копалин мають серйозний негативний вплив на навколишнє середовище. Перше, що варто відзначити, це забруднення повітря та землі, яке супроводжує видобуток та споживання вугілля, нафти і газу. Викиди парникових газів, таких як вуглекислий газ і метан, призводять до глобального потепління. Це впливає на погодні умови, спричиняє негоди, підвищує рівень морів та загрожує біорізноманіттю.

Далі, видобуток корисних копалин часто призводить до знищення природних екосистем і втрати життєвого середовища для численних видів тварин і рослин. Великі промислові шахти і нафтові родовища можуть спричинити викиди забруднюючих речовин у водні ресурси, що призводить до забруднення водних екосистем і загрози здоров'ю людей і тварин.

Більше того, ця ситуація також призводить до загострення проблеми клімату на планеті. Замість того, щоб активно прискорювати перехід до альтернативних джерел енергії, які допомогли б зменшити залежність від викопного палива, країни вимушені реагувати кризово та шукати інші джерела для видобутку нафти, газу і вугілля.

Не менш важливою в енергетичному положенні країни є галузь будівельного фонду. За оцінками Директиви про енергетичні характеристики будівель [5], на будівлі припадає 40% загального енергоспоживання та 36% викидів парникових газів.. З них, 85 % енергоспоживання будівлі витрачається на обігрів і охолодження, а 15 % – на електроенергію, яка переважно йде на освітлення. Вагомий вплив на споживання енергії мають, головним чином, стінові матеріали, перекриття, двері і вікна, а також вентиляція. Скорочення енергоспоживання та використання

відновлюваних джерел енергії в секторі будівель є важливими напрямками, необхідними для зменшення енергетичної залежності та викидів парникових газів.

Оцінюючи енергоефективність будівельного фонду України в контексті вимог, викладених у директивах Ради, Європейського Парламенту і в українському законодавстві (Закон України «Про енергетичну ефективність будівель») [6], було виявлено, що будівлі в Україні характеризуються низькою енергоефективністю, а споживання енергії для їх функціонування відповідно до призначення є відносно високим.

Важливо не плутати терміни енергозбереження та енергоефективність, хоча вони взаємопов'язані. Енергоефективність - це більш технологічний підхід, який передбачає найбільш продуктивне використання доступних ресурсів для забезпечення необхідних потреб. У випадку енергозбереження, мета полягає в зменшенні загальної кількості енергії, що використовується без особливої зміни обсягу роботи чи результатів.

Іншими словами, енергозбереження спрямоване на зменшення загального споживання енергії, тоді як енергоефективність прагне до досягнення кращого результату або функції з тією ж або меншою кількістю енергії. Обидва ці підходи важливі для сталого використання енергії і заощадження ресурсів.

Сучасні новобудови в багатьох випадках характеризуються незадовільною якістю енергоефективності та енергозбереження. Не дивлячись, що українські будівельні нормативні акти вимагають, щоб нові будівлі проектувалися і будувалися таким чином, щоб забезпечити відповідні енергетичні характеристики і раціоналізацію енергоспоживання, а детальні вимоги щодо цього закріплені в Положенні про технічні умови, яким повинні відповідати будівлі та їх розміщення, сучасні будівлі дуже часто не відповідають мінімальним вимогам і тому їх енергетична якість є незадовільною. Серед причин фахівці називають як неузгодженість чинного законодавства, так і нестачу висококваліфікованих інженерів, проектувальників та підрядників, що зацікавленні у виробництві якісної будівельної продукції. Важливість фактору освіти та підвищення екологічної свідомості підкреслюється на чергових галузевих зустрічах - особливо в контексті

вимог, які Європейський Союз висуває до новозбудованих громадських та житлових будівель.

1.1.2 Енергетична бідність

Проблема енергоефективності в будівництві також нерозривно пов'язана з проблемою енергетичної бідності. Енергетична бідність негативно впливає не лише на якість життя постраждалих, але й на навколишнє середовище, через деградацію житлового фонду та довкілля, що унеможливорює економію енергоресурсів. Сам термін "енергетична бідність", який давно відомий в Європі, зазвичай асоціюється з певною групою людей, які страждають від депривації, так званою соціально вразливою групою. Ця група не може використовувати достатню кількість енергії для гідного життя, або взагалі не має доступу до неї. В Україні проблема енергетичної бідності різко загострюється через економічні проблеми, втрату робочих місць, зростання безробіття, міграцію населення до міст, а також зростання групи людей, які живуть у крайній бідності і не можуть дозволити собі оплачувати рахунки не тільки за енергію, паливо та інші комунальні послуги (необхідні для гідного повсякденного життя), але й за житло. Причини, які визначають, чи постраждала особа або люди від енергетичної бідності, включають:

- погане матеріальне становище,
- дуже низька енергоефективність житлових будинків або квартир,
- поганий технічний стан будинків або квартир,
- використання старих котлів та інших джерел тепла,
- користування неенергозберігаючою побутовою технікою та приладами,
- проблеми з розумним використанням електроенергії та її економією.

Особливо гостро стоїть проблема в Україні, де значна частина населення має низький рівень доходів та змушена віддавати велику частину свого бюджету на оплату комунальних послуг.

Таким чином, за даними Державної служби статистики України, витрати населення на комунальні послуги у IV кварталі 2021 р. складає 18,2% від загальних споживчих витрат (рис. 1.3).

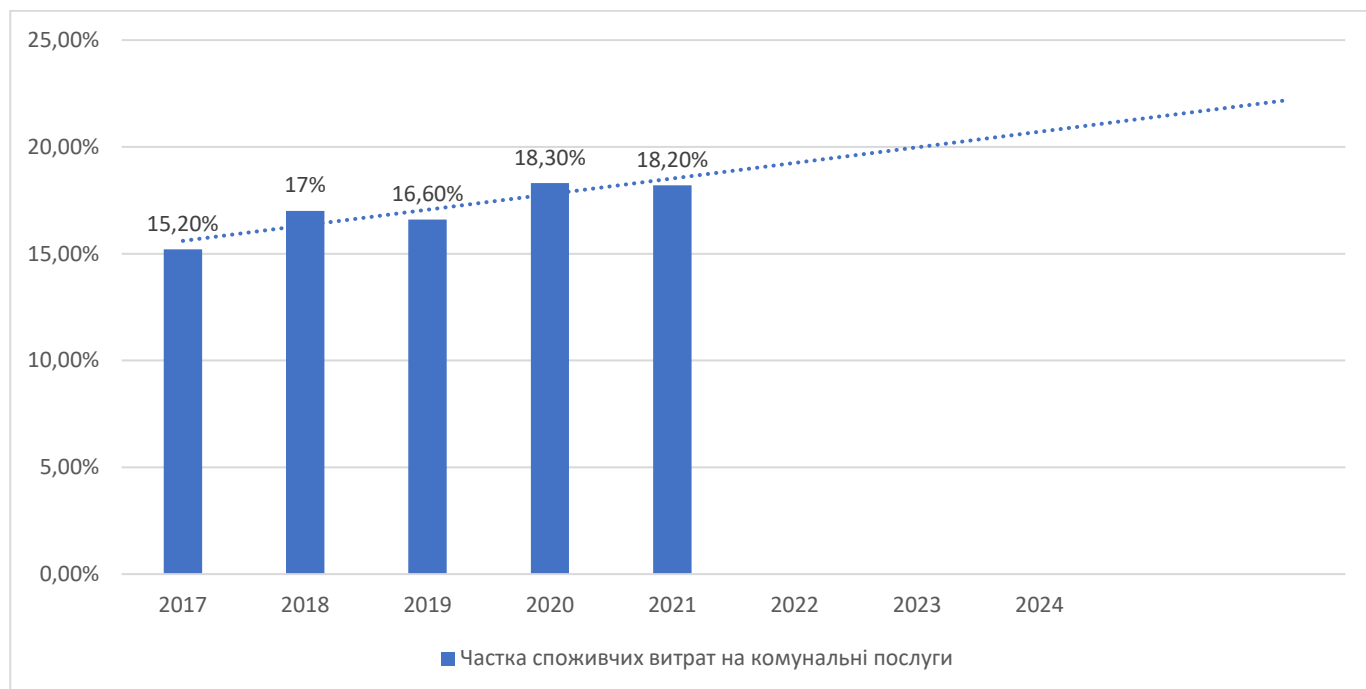


Рисунок 1.3 – Частка споживчих витрат на комунальні послуги 2017-2021 рр.

При цьому заборгованість населення за той же період складає понад 68 млрд. грн. тільки за опалення, постачання газу та електроенергії (табл. 1.1). Згідно заяв експертів, наразі цей показник, з урахуванням окупованих територій, щонайменше вдвічі більше.

Таблиця 1.1 – Заборгованість населення за IV квартал 2021 р.

Вид наданої послуги:	Заборгованість, тис. грн.
Постачання газу	33 795 702,2
Постачання теплової енергії	26 596 385,3
Постачання електричної енергії	7 675 116,0

Для України проблема енергетичної бідності стала особливо актуальною в 2015 році через війну на Донбасі, анексію Автономної Республіки Крим та окупацію окремих територій Донецької і Луганської областей. За останні п'ять років кількість

українських домогосподарств, які не можуть забезпечити оптимальний температурний режим в своїх житлах, зросла з 24,2% до практично 30% [7] (рис. 1.4). Низка результатів свідчить про те, що багато господарств не мають можливості забезпечити собі комфорт у плані опалення та охолодження.

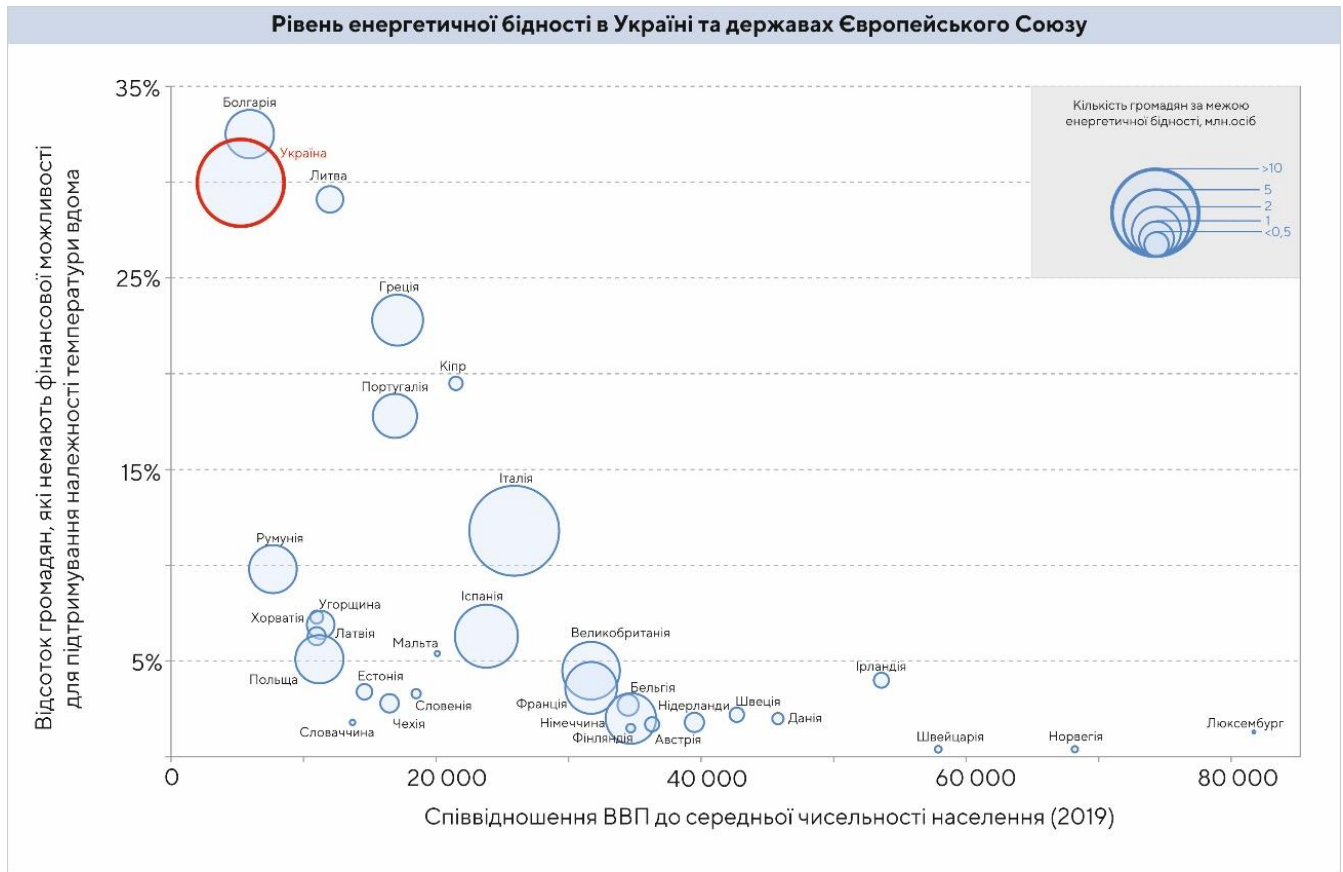


Рисунок 1.4 - рівень енергетичної бідності в Україні та країнах ЄС

Чисельні соціологічні дослідження вказують на те, що більшість українців, а саме 61% занепокоєнно перш за все зростанням цін на тарифи. А вже в другу чергу – на охорону здоров'я та соціальний захист. Ця ситуація обтяжена економічними труднощами і політичними конфліктами, що вразливо впливає на соціальний та економічний стан населення та погіршує умови для забезпечення енергетичної безпеки громадян.

Ситуація стає ще більш складною через той факт, що енергетична галузь України перебуває в кризовому стані з-за низької прозорості в регулюванні, застарілого обладнання та інфраструктури, високого рівня залежності від імпорту та

недостатньої енергоефективності. Усі ці фактори призводять до важкостей в українському суспільстві, де головним викликом стають високі ціни на енергетичні ресурси, які не відповідають рівню доходів громадян.

Погіршення житлових умов призводить до вимушеної економії, що призводить до недогріву житлових приміщень і, як наслідок, до втрати здоров'я або навіть життя.

Наслідки ігнорування проблеми енергетичної бідності в Україні в перспективі можуть мати серйозні наслідки для економіки, суспільства і політичної ситуації.

У сфері економіки і соціальних аспектів відбудуться наступні зміни:

1. Втрата трудових ресурсів: Зростання рівня смертності та скорочення середньої тривалості життя може призвести до втрати робочої сили. Це спричинить серйозні втрати для економіки, оскільки зменшиться кількість працездатних громадян.
2. Еміграційний приріст: за недостатньо комфортних умов в Україні багато людей можуть шукати кращі умови життя за кордоном, що призведе до еміграційного приросту і втрати робочої сили.
3. Обмеження витрат громадян: швидке зростання цін на енергоресурси може призвести до вимушеного скорочення витрат громадян, зокрема, зміни раціону харчування та обмеження можливостей у лікуванні та придбанні медикаментів.
4. Погіршення морально-психологічного стану: некомфортні умови в будинках можуть впливати на психічний стан людей, призводячи до загострення хронічних хвороб та погіршення загального здоров'я.

Енергетична бідність нерозривно пов'язана і залежить від якості будівельного виробництва. Будівельні конструкції та огорожувальні системи мають визначальний характер у витраті цінного тепла та енергії.

Огорожувальні конструкції будівлі, такі як стіни, покрівля, підлога та вікна, відіграють критичну роль у збереженні тепла в приміщенні та впливу зовнішнього середовища. Ефективні огорожувальні конструкції дозволяють знижувати втрати тепла та енергії, що забезпечує більш ефективне використання опалення та кондиціонування повітря. У той же час неякісні або неправильно встановлені огорожувальні конструкції можуть призводити до значних втрат тепла та

збільшення енергетичних витрат для забезпечення комфортних умов у приміщенні. Так, наприклад, огорожувальні конструкції з високою теплоізоляційною якістю можуть значно знизити потребу в опаленні взимку та кондиціонуванні влітку. Це дозволяє знижувати витрати на оплату комунальних послуг для населення та сприяє покращенню життя.

Значна кількість населення проживає в будівлях, які за замовчуванням були енергонеефективні ще на етапі проектування, особливо порівнюючи з сучасними нормами. Тому, з метою зниження власної енергозалежності та, відповідно, енергетичної бідності, громадяни вживають заходів щодо покращення умов проживання, шляхом підвищення якості характеристик конструкцій які їх оточують. Так, Одним з ефективніших способів покращення ізоляції будівлі є додавання теплоізоляційних матеріалів до зовнішнього шару стін чи даху. Цей метод може включати в себе встановлення теплоізоляційних плит або матеріалів, а потім облицювання або закриття їх зовнішнім матеріалом. Зовнішня теплоізоляція може значно підвищити ефективність існуючих огорожувальних конструкцій. Особливого поширення цей метод набув у національних програмах термомодернізації будівель та споруд. Реалізуючись інвестиційними та муніципальними коштами, побідні проекти енергоефективно відновлюють будівлі по всій країні – лікарні, дитсадки, школи, об'єкти соціальної, адміністративної та культурної сфери і житлові будівлі.

Також, розглядаючи більш технологічний підхід, огорожувальні конструкції можуть бути спеціально спроектовані для використання сонячних панелей, вітрових турбін, теплових насосів та інших енергоефективних технологій. Це дозволяє жителям будівель мінімізувати залежність від традиційних джерел енергії та зменшувати витрати.

1.1.3 Руйнування енергетичної інфраструктури

Та найактуальнішою проблемою наразі є масштабні руйнування енергетичної інфраструктури, внаслідок завдання країною-агресором повітряних атак. 10 жовтня

2022 року Російська Федерація розпочала атаки на об'єкти критичної інфраструктури України. У всіх областях почали вимикати світло, опалення та гаряче водопостачання. Тільки за одну добу було пошкоджено 30% енергетичної інфраструктури України.

Згідно із офіційною заявою Президента України від 19 листопада 2022, було пошкоджено близько 50% загальної інфраструктури та генеруючих потужностей енергетичної системи країни. Країна-агресор ставить собі за ціль руйнування ТЕС, ТЕЦ і підстанції - це об'єкти, ураження яких призводить до часткового розбалансування всієї енергосистеми країни. Станом на 22 вересня внаслідок збройної агресії росії на території України загалом уражено 349 об'єктів критичної інфраструктури у сфері теплопостачання, а саме: 335 котельні (332 пошкоджено та 13 зруйновано), 11 ТЕЦ (7 пошкоджено і 4 зруйновано) та 3 ТЕС. У плановому режимі державою здійснюється фінансування робіт з відновлення Охтирської, Чернігівської ТЕЦ та системи централізованого теплопостачання у Кременчуці.

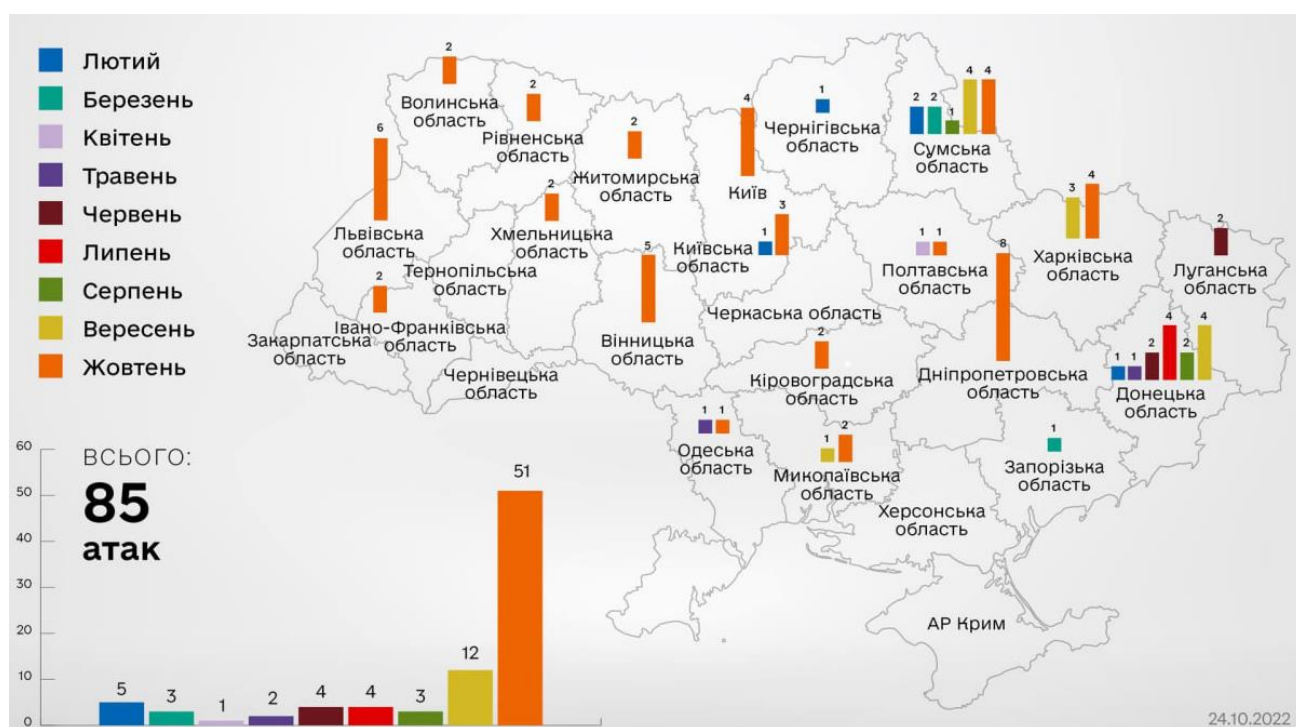


Рисунок 1.5 – Удари ЗС РФ по об'єктам електроенергетики на момент 24.10.2022

Це може привести до значних проблем і в будівельному комплексі, адже найпоширенішим засобом обігріву осель в Україні залишається централізоване опалення, яке покриває близько 60% опалення житлово фонду [8]. До цього можна

віднести різні види магістралей та джерел теплової енергії, що розносяться по будинках. Треба зазначити, що центральний тип опалення помітно менш залежний від електроенергії, ніж індивідуальний, бо для його роботи в будинках не повинно бути додаткове електричне обладнання. То ж руйнування безпосередньо енергетичної інфраструктури направленої на вироблення електроенергії не є дуже критичним для населення з точки зору забезпечення опалення. Проте, на сьогоднішній невизначений стан не можна виключати ризики, що ворог почне масову атаку саме по тепловій інфраструктурі, як вже було з енергетичною. Хоч завдати враження тепловій мережі значно складніше, специфічне розміщення генеруючих тепло джерел робить їх потенційними цілями. Так, наприклад Кременчуцька ТЕЦ в Полтавській області, що забезпечувала не менше 70% потреб міста, зазнала значних руйнувань.



Рисунок 1.6 - Регіональний розподіл кількості зруйнованих або пошкоджених котелень

Останнім засобом захисту населення від зовнішньої середи, яке втратило тепло й гарячу воду в опалювальний сезон, є огорожувальні конструкції, які, нажаль, не відповідають сучасним вимогам з енергоефективності та теплозбереження. Не існує

конструктивних рішень, які зможуть забезпечити комфортні умови перебування у будівлі взимку без систем опалення. Але люди, які переживали зиму у подібних умовах мали досвід відчутти, наскільки швидко остигає будівля без достатньої ізоляції. Відповідні теплотехнічні рішення здатні не лише збільшити час перебування приміщення у теплому стані, а й зменшити необхідну кількість енергії на його прогрів.

1.2 Складова огороджувальних конструкцій в теплових витратах будівель

1.2.1 Питомі тепловитрати огороджувальних конструкцій

За оцінками, близько 70% загального споживання енергії в будівлях у Європі припадає на опалення та охолодження приміщень. Тому дії, спрямовані на зменшення енергетичних витрат та підвищення ефективності виробництва енергії, матимуть значущий вплив на покращення енергоефективності будівель. Нижче наведено схему, яка демонструє розподіл індивідуальних втрат тепла через перегородки та вентиляцію у енергетичному балансі будівлі.

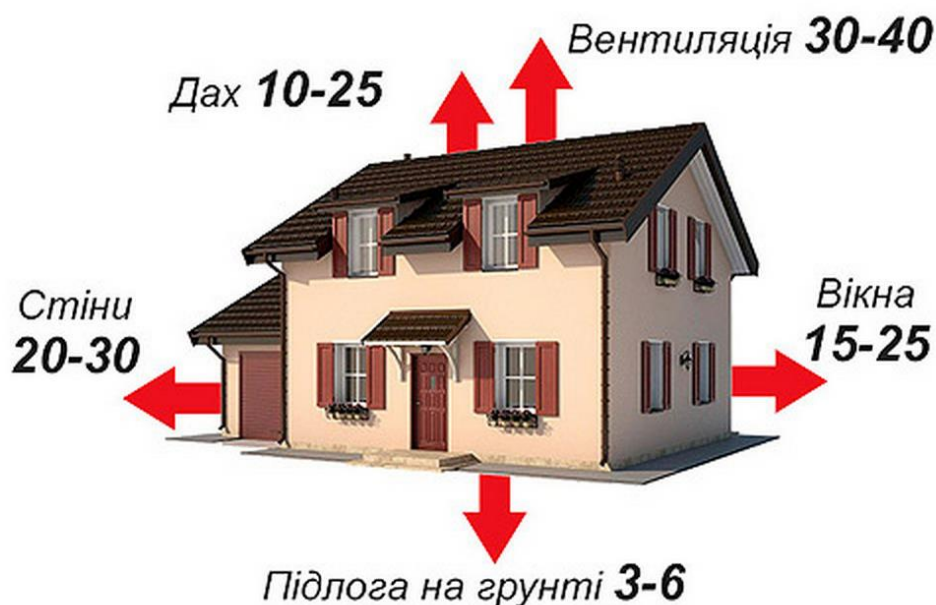


Рисунок 1.4 – відсоткове відношення тепловитрат у сучасній будівлі

Важливо відзначити, що основні тепловтрати в будівлі пов'язані з втратами тепла через огороджувальні конструкції, зокрема через засклені перегородки, стіни та дах, що становлять приблизно 60-70% від загального балансу. У той же час, системи вентиляції відповідають за 30-40% втрат. Таким чином, надзвичайно важливо мінімізувати втрати тепла та ефективно використовувати отриману енергію для забезпечення енергоефективності будівель.

Головними конструкціями ізоляції внутрішнього простору будівлі від зовнішньої середовища є непрозорі (стіни, двері) та світлопрозорі (вікна, балкони, вітражі, світлини і т.д.). Маючи великий перелік функцій (захист споруди від шуму, вологи, вітру і температурного впливу), вони потребують до себе особливої уваги з ціллю забезпечення комфортного мікроклімату для потреб людини.

Прикладом невдалої енергоефективної політики в будівництві є чисельні «серійні» споруди радянських років. На сьогодні, вони заслужено мають статус морально та фізично застарілого житла. Ідеологія та економічна ситуація того часу вимагали від проєктувальників створення універсальних конструкцій, які будуть відповідати вимогам компактності, економічності та швидкості зведення. Але у двадцять першому столітті ми бачимо лише тісні проходи та незручні планування. Головною вимогою до огороджувальних конструкцій була довговічність, тому показники теплової надійності не розглядалися та не піддавалися оцінкам, в порівнянні з сьогоденням. Багато цих будівель не відповідає сучасним вимогам тепло-так енергоефективності та потребують додаткового утеплення та звукоізоляції.

Окремою проблемою енергоефективності пострадянських будівель є дерев'яні вікна, на які приходилися до 40% теплових витрат. У порівнянні з затвердженим законодавством мінімальними вимогами опору теплопередачі (0,75–0,6 м²К/Вт), старі вікна мають майже у двічі нижчу ефективність: 0,39–0,42 м²К/Вт. Також, ці конструкції зазнавали надмірного зволоження і характеризувалися поганою герметичністю, у порівнянні з сучасними склопакетами.



Рисунок 1.5 – серійні будинки минулого століття

1.2.2 Фізико-технічні характеристики матеріалів

Усі будматеріали мають певну будову і володіють своєрідними фізичними властивостями, в основі цього лежать:

- розмірність кристалів структури;
- фазовий стан речовини;
- ступінь кристалізації;
- анізотропія теплопровідності кристалів;
- об'єм пористості і структури;
- напрямок теплового потоку.

Все це – чинники впливу. Певний вплив на рівень теплоефективності також надає хімічний склад і домішки. А Мірою теплоізоляції огорожувальних конструкцій є характеризуюче їх значення коефіцієнта теплопередачі.

Розглянемо деякі властивості будівельних матеріалів, які впливають на їх теплозахисні властивості.

Відповідно до досліджень, мінімальним значенням теплопровідності, приблизно $0,023 \text{ Вт/м}^\circ\text{С}$, володіє сухе повітря. З точки зору використання сухого повітря в структурі будівельного матеріалу, необхідно створити конструкцію, в якій

сухе повітря знаходиться всередині численних замкнутих просторів обмеженого обсягу. Структура такої конфігурації представляє собою багато порожнистих областей всередині матеріалу. Звідси логічно випливає висновок: будівельний матеріал, який має низький коефіцієнт теплопровідності, повинен мати пористу структуру всередині. При цьому, в залежності від максимально припустимого рівня пористості матеріалу, значення його теплопровідності може підходити до значення коефіцієнта теплопередачі сухого повітря.

Чим більше пор певного об'єму присутнє в структурі матеріалу, тим кращий коефіцієнт теплопровідності можна досягти. Сучасні технології виробництва будівельних матеріалів включають такі методи для отримання пористої структури:

1. Піноутворення: Використовується пінополіуретан або інші подібні матеріали, які збільшують об'єм матеріалу під час виробництва, утворюючи пори.
2. Газоутворення: Додавання спеціальних газоутворювачів, які створюють пухляку структуру у матеріалі.
3. Водозатворення: Додавання речовин, які розчиняються у воді під час виробництва, а потім випаровуються, залишаючи пори.
4. Спучування: Використовуються реакції, які вивільнюють гази, що спричиняють утворення пор.
5. Впровадження добавок: Додавання спеціальних добавок до матеріалу для створення пористої структури.
6. Створення волоконних каркасів: Використовується волокна або волоконні матеріали для утворення структур з порами.

Але взаємозв'язок пористої структури, густини (щільності) та теплопровідності для будматеріалів складніший, ніж видається на перший погляд

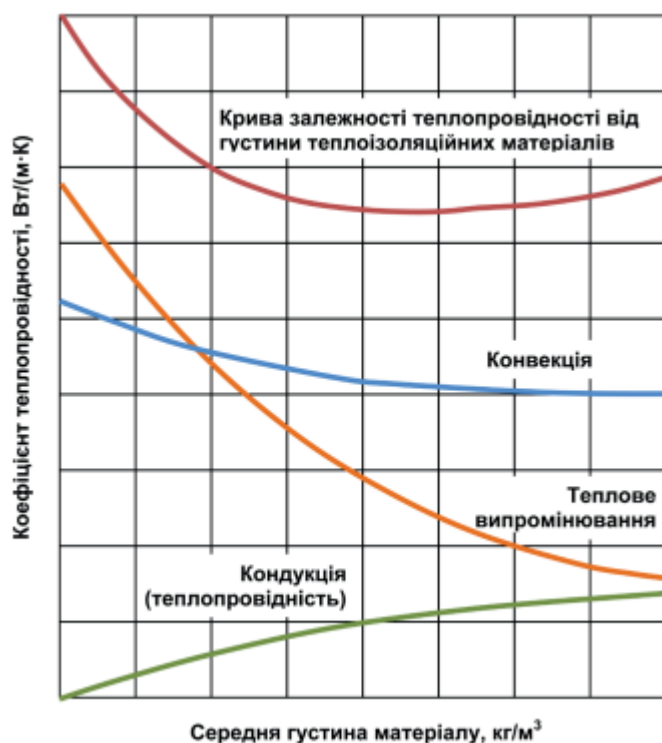


Рисунок 1.6 - Вплив різних факторів на сумарний показник теплопровідності

У процесі передачі тепла через теплоізоляційний матеріал розрізняють різні види теплопереносу. Ці види включають:

1. **Кондукцію:** Цей вид теплопереносу відбувається через тверду структуру матеріалу. Він виникає внаслідок передачі тепла від одного молекули до іншого через твердий матеріал.
2. **Конвекцію:** Конвекція включає мікроциркуляцію повітря або газу в порах матеріалу. Вона може виникати, коли гарячий повітря піднімається і холодне повітря заміщує його, створюючи обмін тепла.
3. **Випромінювання:** Це передача тепла шляхом електромагнітних хвиль, таких як інфрачервоне випромінювання. Випромінювання може відбуватися між поверхнями матеріалу, що мають різний рівень температури.

Вплив кожного з цих елементарних процесів може варіювати в залежності від виду теплоізоляційного матеріалу і умов його використання. Для вимірювання теплоізоляції матеріалу важливо звертати увагу на різні властивості матеріалу, такі як його щільність, теплоємність і теплопровідність. Такі параметри визначають

ефективність теплоізоляції і можуть впливати на вибір матеріалу для конкретних будівельних завдань.

Коефіцієнт теплопередачі конструкції є важливою мірою її теплоізоляції. Цей коефіцієнт визначається на основі коефіцієнта теплопровідності матеріалів, з яких складаються окремі шари стіни (включаючи конструкційний шар, ізоляцію та оздоблення), а також їх товщини. За загальним принципом, чим менше коефіцієнт теплопровідності матеріалу, тим ефективніше його теплоізоляція. Це означає, що для досягнення бажаного значення коефіцієнта теплопередачі зовнішньої стіни (яке може бути визначено в технічних умовах або нормах), можна використовувати наступні стратегії:

1. **Використання матеріалів з низьким коефіцієнтом теплопровідності (λ):** Вибір матеріалів з високою теплоізоляційною якістю, тобто з низьким значенням λ , може допомогти досягти бажаного рівня теплоізоляції без збільшення товщини перегородки.
2. **Збільшення товщини шарів:** Іншим способом є використання більш товстих шарів конструкційних та ізоляційних матеріалів. Це також може допомогти підвищити теплоізоляцію, навіть якщо матеріали мають менш сприятливі властивості.
3. **Комбінування матеріалів:** Використання комбінації матеріалів з різними характеристиками теплоізоляції може бути ефективним підходом для досягнення бажаного коефіцієнта теплопередачі.

Теплоізоляція є одним з основних факторів, що впливають на величину потреби в теплі для опалення будівлі і, відповідно, на вартість експлуатації будівлі. Добре ізольовані огорожувальні конструкції приводять до низьких значень коефіцієнта теплопередачі (U) цих перегородок, що сприяє зменшенню втрат енергії та витрат на опалення. Одноразова інвестиція в якісну теплоізоляцію та її правильне виконання дозволяє заощаджувати протягом кожного опалювального періоду усього терміну експлуатації будівлі.

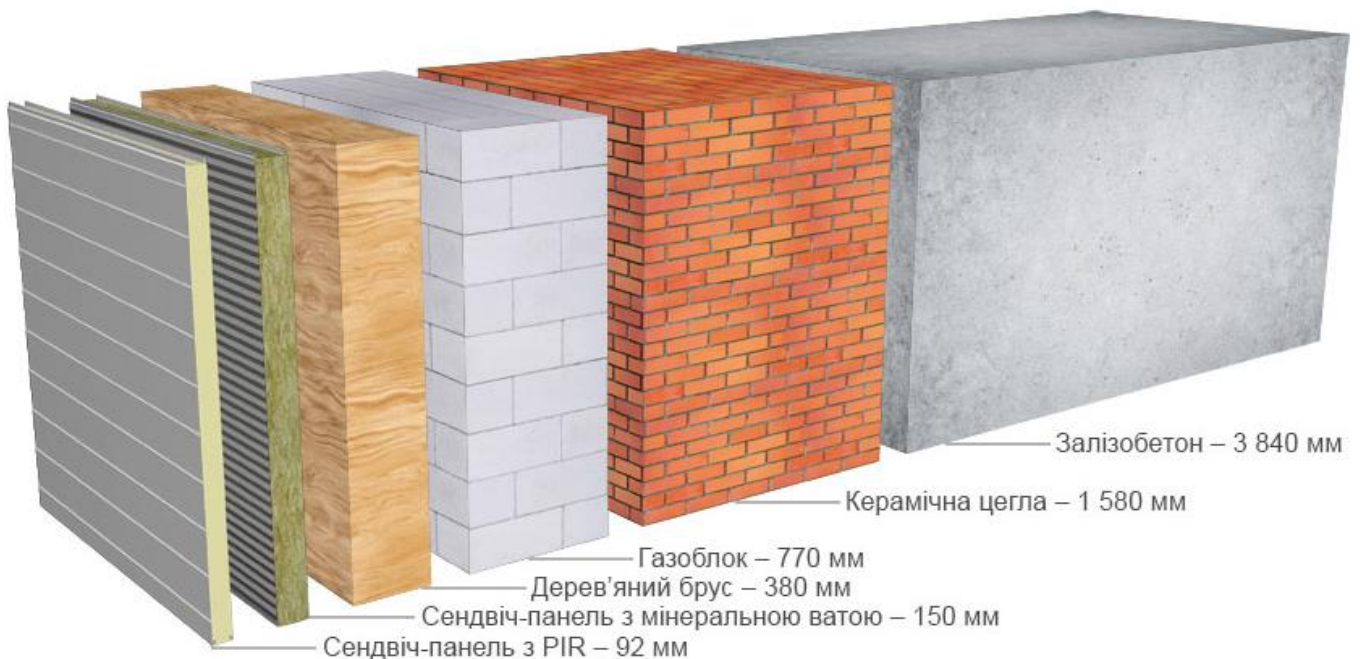


Рисунок 1.7 - Необхідна товщина стінових конструкцій для отримання опору теплопередачі $R=4,0$ ($\text{м}^2 \cdot \text{К}$)/Вт

Прозорі зовнішні перегородки, такі як вікна, балконні двері, скляні перегородки або мансардні вікна, є будівельними елементами, які викликають найбільші втрати тепла. Вони характеризуються набагато нижчою теплоізоляцією, ніж зовнішні стіни, тому спричиняють більші втрати тепла через проникнення.

Прозорі перегородки складаються з двох основних частин: прозорої частини, тобто склопакета, і непрозорої частини, тобто рами вікон, дверей або стійок і фрамуг у легких навісних стінах. Основним параметром, що визначає втрати тепла через даний тип елементів житла, є коефіцієнт теплопередачі: U_w для вікон, U_D для дверей, U_{cw} для навісних стін.

Чим менше коефіцієнт теплопередачі, тим більше теплоізоляція перегородки. Величина коефіцієнта теплопередачі визначається окремо для: склопакета, віконної та дверної коробки, фрамуг U , а також лінійними коефіцієнтами теплопередачі, що характеризують теплоізоляцію з'єднань.

Слід мати на увазі, що вікна, призначені для енергоефективних будівель, які мають найбільш сприятливі параметри теплопередачі, не підтримують вентиляцію, як це передбачено в традиційному будівництві. Такі вікна не мають механізму

розгерметизації, а ущільнювачі належним чином спроектовані і виготовлені з якісних матеріалів. Тому, якщо в будівлі використовується вентиляція, відмінна від механічної, при заміні вікон слід подбати про те, щоб нові вікна були обладнані вентиляторами, які забезпечать надходження потрібної кількості повітря в будівлю і дозволять вентиляційній системі функціонувати належним чином.

Розглядаючи властивості конструкції вікон, треба зазначити її найбільш відповідальний елемент – раму. Для отримання мінімально можливого значення коефіцієнта тепловіддачі рами U_f необхідно враховувати:

- товщину секцій,
- розташування пустот, так званих камер, у секціях,
- заповнення порожнеч теплоізоляцією,
- відповідне розташування (заглиблення) скління,
- покращення теплоізоляції в зоні торця скла за допомогою додаткових пінокомполімерних ізоляторів.

Більша товщина секцій збільшує кількість пустот у профілі, що в свою чергу дозволяє правильно розподілити їх і забезпечує кращу теплоізоляцію каркаса, а отже, менше значення коефіцієнта теплопередачі U_f . Крім того, сучасні вікна оснащені додатковим утеплювачем віконної рами (тепловставка). На ринку представлені алюмінієві рами і рами з ПВХ, дерев'яних і дерево-алюмінієвих профілів.

Але, звісно, найбільший елемент віконної конструкції – це її скління. В середньому на скління припадає близько 70% площі вікна або більше, у випадку легких стійко-ригельних навісних фасадів, тому воно має значний вплив на теплотехнічні характеристики такої прозорої перегородки. Сучасний ринок віконних конструкцій представлений у вигляді -одно, -дво та трикамерних склопакетів.

Газ, що міститься в просторі між скляними панелями, забезпечує теплоізоляцію. Сьогодні найчастіше використовується аргон, меншою мірою криптон або ксенон. Використання різних типів газу ґрунтується на тому, що чим вища атомна вага газу, тим кращі його ізоляційні властивості.

Крім використання різного заповнення простору між стеклами, ринок пропонує скла з різними властивостями з точки зору характеристик світлопропускання і

відбиття світла та сонячної енергії, які мають значний вплив на баланс надходжень і втрат тепла, а отже, і на можливість ефективного використання енергоресурсів.

На ефективність скління також впливає те, з яких матеріалів і як сконструйований склопакет. Серед іншого, важливу роль відіграє дистанційна рамка. Її функція в склопакетах полягає в тому, щоб забезпечити передбачену відстань між стеклами і створити можливість розміщення матеріалу, що поглинає водяну пару, яка висушує шар газу, розміщений між стеклами в комплекті (в камері). Стандартним рішенням є використання рамок з алюмінію або нержавіючої сталі, які мають отвори (перфорацію) з боку камери для забезпечення роботи вологопоглинача, розташованого всередині рамки. Однак металева розпірка є тепловим містком, який погіршує теплоізоляцію вікна.

Форма, орієнтація та оточення будівлі відіграють важливу роль у формуванні її енергетичної ефективності. Найкраще, якщо ці фактори будуть враховані на самому ранньому етапі створення проекту будівлі.

Якщо необхідно покращити енергетичні характеристики будівлі, важливо переконатися, що найбільший приріст енергії може бути досягнутий з найменшими можливими втратами. Досягненню цього результату сприяє не лише орієнтація самої будівлі за сторонами світу, але й дизайн прилеглої території.

У зимову пору року оточення повинно забезпечувати якомога більше світла з південного боку, а в літню - захищати від надмірного перегріву. Крім того, на північній стороні, де немає сонячного світла, повинна бути буферна зона, щоб захистити будівлю від тепловтрат.

Прикладом середовища, яке дозволяє виконати ці вимоги, є розміщення зони листяних дерев з південного боку, які забезпечують достатню тінь в літній сезон і дозволяють сонячному світлу потрапляти в будівлю взимку, коли вони втрачають листя. З іншого боку, з північної сторони доцільно розмістити хвойні дерева, які створюють буферну зону проти вітру протягом усього року, тим самим мінімізуючи тепловтрати. Геометрія будівлі, внутрішнє планування приміщень і спеціальне обладнання та елементи дизайну, такі як ролети, карнизи або зимовий сад, також відіграють важливу роль у виконанні вищезазначених вимог.

На зменшення тепловтрат впливають не тільки параметри використовуваної теплоізоляції, але й геометрія будівлі. Для досягнення сприятливих енергетичних характеристик відношення площі поверхні огорожувальних конструкцій будівлі до її опалювального об'єму має бути якомога меншим. Чим менша площа, через яку будівля втрачає тепло, тим краще. Тому оптимальним є максимально компактний корпус будівлі. У будівлі також слід уникати додаткових зовнішніх елементів (технічних і декоративних), таких як ордери або мансардні вікна, які збільшують площу тепловтрат через огорожувальні конструкції і підвищують ймовірність виникнення теплових мостів. Якщо таких елементів неможливо уникнути, слід подбати про те, щоб їхня теплоізоляція була виконана дуже ретельно.

Тепловий міст - це ділянка огорожувальної конструкції, яка має значно вищий коефіцієнт теплопередачі, ніж решта огорожувальних конструкцій. Це призводить до того, що при значній різниці температур між внутрішньою і зовнішньою температурами відбувається точкове промерзання огорожувальних конструкцій. Це явище має дуже негативний вплив на тепловий баланс будівлі, оскільки часто може призвести до дуже високих втрат енергії. Крім того, замерзання теплового мосту може призвести до появи вогкості в результаті конденсації, що, в свою чергу, може призвести до появи цвілі і навіть до пошкодження огорожувальних конструкцій. Видалити існуючий тепловий місток дуже складно, а в деяких ситуаціях навіть неможливо. Через ці наслідки дуже важливо проаналізувати на етапі проектування та реалізації проекту всі місця, які можуть призвести до виникнення теплових мостів.

Навіть використання високоякісних матеріалів, не завжди забезпечує комфорт приміщення. Не рідкісні випадки зволоження приміщення, розвитку грибків та наявність повітряного протягу через порушення технологій монтажу металопластикових вікон. Дорогі та якісні прозорі конструкції втрачають свою функцію при умовах порушенні герметизації і це стає новим шляхом для чергової втрати тепла.

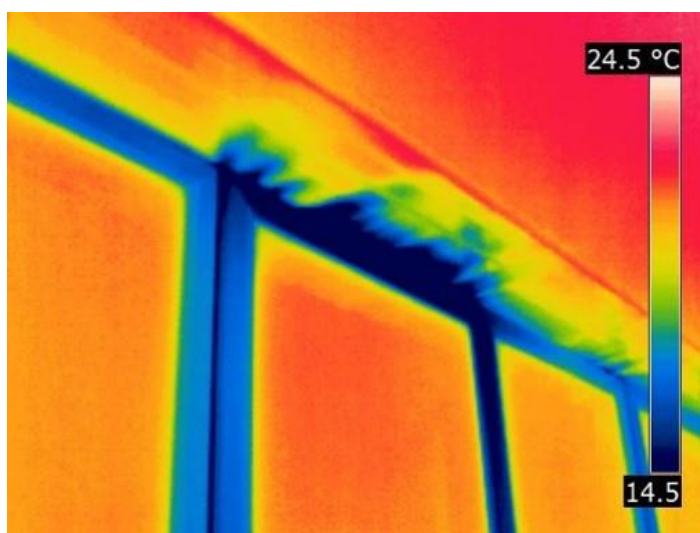


Рисунок 1.8 – термографічне зображення невидимих втрат тепла через вікно

Для вирішення цих проблем, будівельне виробництво потребує, в першу чергу, ідеологічна реформація. Розроблення та впровадження нових технологій повинно керуватися національними ідеями енергетичного розвитку. Питання тепло-ефективності та заощадження паливно-енергетичних ресурсів повинно зайняти більш вагоме місце у розрахунках окупності нових об'єктів. На користь цьому може піти підтримка розвитку сучасних матеріалів та технологій, а також аналіз іноземних інновацій. Особливо тих, які мають успішні кейси впровадження у реальне будівництво.

Термічна неоднорідність сучасних огорожувальних конструкцій вимагає від проектувальників використовувати математичне моделювання, як метод аналізу процесів теплопереносу. При цьому, в ДБН В.2.6-31:2006 “Конструкції будинків і споруд. Теплова ізоляція будівель” зазначено, що оцінка теплового режиму конструкції може бути визначена як експериментальним дослідженням, так і за результатами розробки тривимірної моделі. Знайдені характеристики проектованої конструкції порівнюються з характеристиками нормативних вимог, що є обґрунтуванням для її використання у проекті. Адже ще на початковій стадії можливо виявити невідповідність даного технічного рішення до умов ефективної експлуатації та ввести коригування.

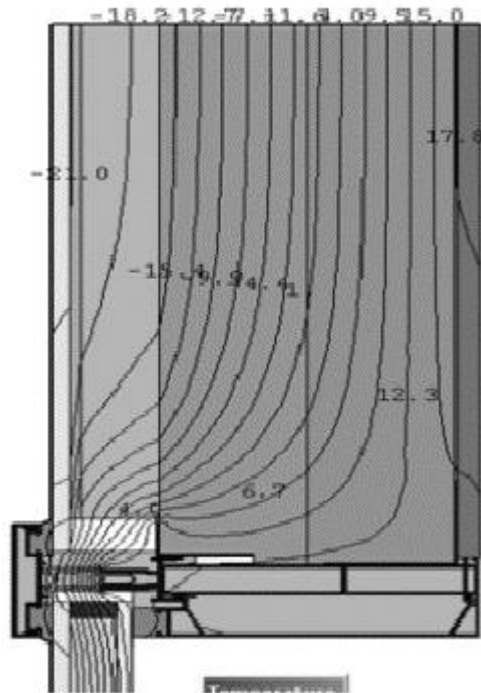


Рисунок 1.9 – моделювання температурного поля конструкції з відповідними до вимог параметрами

Нехтування вимогами призводить до неправильної роботи конструкції і порушенню енергоефективності. Неефективна теплова робота є причиною того, що стіни житлових будівель зазнають зволоження неправильним вологісним потоком та вкриваються цвільлю. Причиною цього часто є прийняття невірних розташування теплоізоляції та конструктивних шарів, які з першого погляду мають достатній рівень термічного опору, але обумовлюють конденсацію вологи та розповсюдження пліснявих утворень.

1.2.3 Значення технологічного процесу монтажу та утеплення елементів будівель

На ринку представлені різні види будівельних матеріалів для теплоізоляції. Мінімальна товщина теплоізоляції впливає з максимального значення коефіцієнта теплопередачі, передбаченого технічними та будівельними нормами. Ізоляція повинна бути суцільною, мати постійну товщину і адаптуватися до типу перегородки.

Крім того, основа повинна бути належним чином підготовлена (очищена), а укладені теплоізоляційні плити повинні переходити одна в одну в наступних шарах ізоляції. Крім того, точки з'єднання між різними типами перегородок і проникнення ізоляції з механічними з'єднувачами особливо схильні до ризику теплових містків. Як ми знаємо, тепловий місток є одним із найбільш небажаних явищ у будівлі. У зв'язку з,

У разі, наприклад, утеплення скатного даху, використовується два шари теплоізоляції: один шар утеплювача, найчастіше мінеральної вати, укладається між кроквами, а другий – поверх першого з мансардна сторона. Крім того, щоб уникнути теплових містків, важливо правильно утеплити віконні та дверні прорізи. В такому випадку неприпустимо з'єднувати сусідні дошки в кутах отвору. Ізоляційні плити повинні бути розрізані таким чином, щоб кут віконного або дверного отвору був оточений однією теплоізоляційною плитою.

У свою чергу, у випадку з балконною плитою важливо влаштувати теплоізоляцію по всій довжині плити – як зверху, так і збоку та знизу балконної плити. Правильне утеплення місця сполучення між зовнішньою стіною та балконною плитою значно зменшить втрати тепла. Також можливе використання т. зв. теплоізоляційні з'єднувачі між балконною плитою та зовнішньою стіною, які призначені для зменшення теплового містка при збереженні безперервності арматури між стелею та балконними плитами (однак, через доцільність конструкції, це рішення призначене для новозбудованих будівлі).

Утеплення стіни зовні – найпоширеніше і правильне рішення з точки зору будівельної фізики. Однак буває, що, наприклад, через історичний характер будівлі, теплоізоляція на фасаді не є бажаним рішенням. У таких випадках, коли ми хочемо покращити теплоізоляцію зовнішніх стін, можна використовувати утеплення зсередини.

Перевагою такого рішення є можливість зберегти первинний зовнішній вигляд фасаду та підвищити енергоефективність окремого приміщення або приміщення в будівлі, де не планується комплексна термомодернізація.

Слід враховувати, що недбале утеплення зсередини може призвести до відволоження стін і сприяти розвитку цвілевих грибків. Крім того, зовнішня стіна, яка

при традиційних рішеннях знаходиться в опалювальній зоні і може акумулювати тепло і стабілізувати температуру в приміщенні, при утепленні зсередини піддається впливу морозу і пов'язаної з цим деградації в результаті опадів і низьких температур.

При утепленні зсередини найважливішим параметром виробів, що використовуються для теплоізоляції, є їх дифузійний опір, тобто здатність пропускати водяну пару. В основному є два рішення при утепленні зсередини:

- спосіб утеплення з щільною пароізоляцією зсередини (використання виробів з високим опором дифузії),
- метод з використанням паропроникних виробів (використання виробів з низьким опором дифузії).

У першому з перерахованих вище рішень на стіну на дерев'яну або металеву сітку укладається шар теплоізоляції, найчастіше з використанням плит з мінеральної вати або пінополіуретану, потім покривається пароізоляційною плівкою для створення щільного шару, який перешкоджає потраплянню вологи з приміщення в шар утеплювача і її подальшої конденсації на стику з холодною стіною. Наступний шар — штукатурка або гіпсокартон і фінішна обробка. Слід пам'ятати, що при застосуванні цього розчину особливу увагу слід приділяти ефективній роботі вентиляції, бажано механічної, яка забезпечить видалення водяної пари та підтримку належного рівня вологості в приміщенні. Другий метод передбачає використання матеріалів, які дозволяють водяній парі вільно протікати, напр. вапняно-силікатні або газобетонні плити. Ці матеріали мають пористу структуру і здатність поглинати водяну пару з приміщення і рівномірно розподіляти його по всій своїй поверхні, а потім віддавати накопичену водяну пару при зниженні вологості в приміщенні.

Використовуючи ізоляцію зсередини, ви завжди повинні проводити аналіз вологості приміщення та аналізувати кількість можливої конденсації всередині стіни та можливість випаровування накопиченої води, щоб правильно вибрати технологію відповідно до потреб користувачів та умови використання будівлі.

Як вже зазначалося, прозорі огорожувальні конструкції викликають найбільші тепловитрати. З точки зору енергозбереження важливий і спосіб встановлення

вікон. Найменші втрати тепла через теплові містки відбуваються, коли вікна та двері закладені в теплоізоляційний шар або на межі стіни та ізоляції.

Сам спосіб вбудовування віконних виробів у стіни чи дах також може спричинити втрати через утворення теплових мостів. Однак, завдяки вмілому розташуванню та відповідній конструкції цих перегородок, вони можуть стати джерелом більшого прибутку енергії, ніж втрат, які вони можуть спричинити. З цієї причини більшість вікон доцільно розміщувати на південній стороні.

В EN ISO 10211 "Теплові мости в будівлях - Теплові потоки і температури поверхні - Детальний розрахунок" тепловий міст визначається як частина огорожувальної конструкції, де рівномірний термічний опір суттєво змінюється внаслідок:

- повним або частковим проникненням в огорожувальні конструкції матеріалів з різною теплопровідністю;
- зміною товщини шарів матеріалу;
- різниця між внутрішньою та зовнішньою поверхнями огорожувальної конструкції, як у випадку примикання стіни/підлоги/стелі.

Місця в конструкції, де найчастіше можна спостерігати теплові містки, - це, наприклад, з'єднання балконів зі стелею, обрамлення, перемички, краї віконних прорізів і балконних дверей.

Ще однією можливістю покращення енергоефективності є створення теплової буферної зони на південній стороні будівлі, наприклад, у вигляді зимового саду. Така зона повинна характеризуватися великою кількістю застелених поверхонь. Таке рішення не спричиняє втрат тепла, оскільки зимовий сад не потрібно опалювати, і в той же час він є джерелом сонячного тепла.

При плануванні приміщень необхідно враховувати доступ сонячного світла і пов'язане з цим збільшення енергії. Форма оболонки будівлі, її розташування і напрямок, в якому вона звернена, призначені для того, щоб якомога більше приміщень були освітлені сонячним світлом, що надходить з півдня. Ідеальний варіант - це коли всі приміщення в будівлі освітлюються таким чином. Однак наявність денного світла - не єдиний фактор, що впливає на планування приміщень -

їхні теплові характеристики також важливі. Приміщення, в яких зазвичай підтримується вища температура (наприклад, ванні кімнати), слід розміщувати подалі від огороджувальних конструкцій, оскільки більша різниця температур в огороджувальних конструкціях може збільшити тепловтрати. Підсобні приміщення, де мешканці не проводять багато часу (гаражі, сходові клітки, комори) мають відносно найнижчу температуру серед усіх приміщень. Крім того, в цих приміщеннях немає необхідності в сонячному світлі. З цієї причини такі приміщення слід розміщувати біля північної стіни будівлі. Таке розташування створює додаткову теплову буферну зону з північного боку.

Часто використовуваним рішенням, наприклад, у пасивних багатоквартирних будинках, є розміщення сходових кліток поза зоною обігріву, за межами будівлі. Такі сходові клітки мають незалежну від будівлі несучу конструкцію і не впливають на теплові характеристики самої будівлі.

Правильно спланувавши каркас будівлі та прилеглу територію, можна зменшити потребу в традиційному кондиціонуванні або опаленні. Тепловий комфорт у спроектованій таким чином будівлі може бути забезпечений дуже хорошою ізоляцією, енергією сонячного світла та енергією, регенерованою з повітря, що видаляється з внутрішніх приміщень будівлі.

У пошуку шляхів підвищення енергоефективності оболонки за рахунок конструктивних особливостей, є доцільним функціональний перегляд плану приміщень. Адже теплові потреби будівлі залежать від таких факторів, як: геометрична форма, орієнтація в просторі, площа віконних та дверних розрізів, габаритні розміри. Таким чином, сучасні плани складної конфігурації, що обґрунтовані прагненням естетичного архітектурного вигляду, стають причинами додаткових теплових витрат. Згідно досліджень [9], їх можна значно скоротити, збільшуючи розмір кутів на плані та зменшуючи їх кількість, шляхом використання скошених або закруглених кутів. Звісно, поширення криволінійних стінових елементів може призвести до підвищення складності та строків зведення конструкцій. Проте за розрахунками енергетичних паспортів згідно настанов (серед будівель однакової опалювальної площі), саме план круглої форми мав на 22% приведених

тепловитрат менше, ніж план з великою кількістю кутів, що визначило їх різними за класами енергоефективності.

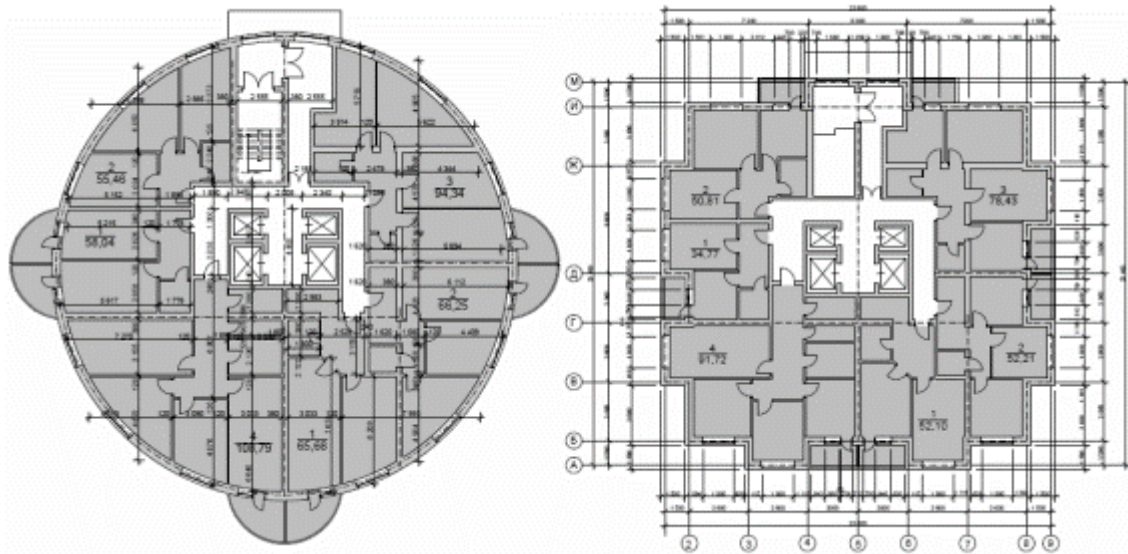


Рисунок 1.10 - Будинки різної конфігурації в плані

З метою підвищення експлуатаційних характеристик застарілих технологій, комунальні підприємства та населення вживає заходи з підвищення енергоефективності огорожувальних конструкцій старого зразка. Поширення в таких будівлях набуло зовнішнє утеплення фасаду мінеральною ватою або пінополістиролом з подальшим штукатуренням поверхні. Навіть якщо цей метод здатен підвищити термічний опір стіни до необхідного рівня, великою проблемою є те, що роботи з утеплення часто проводяться по-квартирно, залишаючи без уваги інші, значні ділянки потенційної втрати тепла. Безвідповідальні виробники та неусвідомлені замовники часто не приділяють увагу зміні теплової роботи оновленої конструкції, що в підсумку стає причиною нових проблем.



Рисунок 1.11 – обвалення утеплювача з неочищеного фасаду

Інша ситуація з об'єктами нового будівництва. Забудовники зацікавлені в заощадженні виробництва. Тому використання неякісних матеріалів простежується на кожному етапі робіт. Кажучи про огорожувальні конструкції, треба зазначити, що виробники не зацікавлені у використанні сучасних технологій. Навіть більшість об'єктів новітнього будівництва задовольняються примітивною конструкцією стін.

У погоні за низькою ціною власники споруд часто припускаються помилки – неправильний вибір, наприклад, пінопласту. Відомі випадки використання в якості теплоізоляції пакувального пінопласту, який зовсім не відповідає вимогам теплозахисту. Незадовільної якості так само можуть виявитися витратні матеріали. Використання не спеціалізованого клею, неправильних механічних кріплень, сіток, оброблюючих матеріалів призводить до порушення технологічних процесів і руйнуванню конструкцій. Не менш важливою проблемою є порушення технологій монтажу та кріплення. Методом шахового укладання ізолюючих плит періодично нехтують у важкодоступних місцях, наприклад навколо вікон, у наслідку – утворення тріщин. Не треба забувати і про гідрозахисний шар фасаду, що є єдиним захистом теплоізолюючого матеріалу від впливу води та нещадного ультрафіолету.

Будівельна сфера володіє значним потенціалом для впровадження економічно ефективних заходів щодо підвищення енергоефективності. За допомогою зниження споживання енергії в будівлях на приблизно 30%, можна досягти зменшення

енергоспоживання в Європі на 11%. Реалізація цього потенціалу призведе до позитивного впливу на навколишнє середовище і підвищення конкурентоспроможності Європейського Союзу.

2 АНАЛІЗ ДОСВІДУ КРАЇН З ВПРОВАДЖЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ ЗАХОДІВ ТА МАТЕРІАЛІВ

2.1 Законодавче регулювання енергетичних стандартів країн світу

2.1.1 Законодавчий фреймворк та нормативи щодо енергоефективності в будівництві України

В Україні, в порівнянні з ЄС, будівельна галузь має статус не самого провідного секторів економіки, проте відіграє ключову роль в економії енергії, використанні відновлюваних джерел, мінімізації викидів парникових газів, зменшенні впливу на клімат та навколишнє середовище, а також на здоров'я та благополуччя людей, які користуються будівлями. Будівельна галузь посідає важливе місце в зусиллях щодо реалізації сталого розвитку, маючи значний вплив на три його пріоритетні аспекти:

- екологічний - на будівництво та експлуатацію будівель припадає 42% кінцевого споживання енергії, 35% викидів парникових газів, значне споживання сировини (вода, заповнювачі тощо). Будівельне сміття також може становити загрозу для довкілля;
- Соціальна - правильне внутрішнє середовище та комфорт будівель має величезний вплив на якість життя людей;
- економічний - в Україні будівництво генерує близько 2,2% ВВП (10% в ЄС) та забезпечує зайнятість (включно неформальну) 17% робочої сили.

Розвиток будівельної галузі, що передбачає впровадження інноваційних технологій та сучасних рішень, які поєднуюватимуть сприятливі економічні ефекти з турботою про здоров'я та комфорт користувачів, зменшуючи при цьому негативний вплив будівель на навколишнє середовище та клімат, відіграє життєво важливу роль у виведенні української економіки на шлях сталого європейського розвитку. Саме тому питання сталого будівництва є предметом багатьох документів та директив Європейського Парламенту на яких гуртуються українські плани національного розвитку. Найбільша кількість законодавчих актів та ініціатив ЄС стосується

екологічних аспектів сталості в будівництві. Вони охоплюють питання будівель протягом усього їх життєвого циклу - від проектування, будівництва, експлуатації до знесення. Зокрема, вони стосуються: підвищення енергоефективності шляхом зменшення попиту на енергію та використання нетрадиційних і відновлюваних джерел енергії, використання сировини, що відповідає певним критеріям, зменшення викидів у воду/повітря/грунт, покращення впливу на глобальне та місцеве довкілля тощо.

Однак проблема підвищення енергоефективності в будівельному секторі є складною і неоднозначною. Тому проектні рішення часто розробляються на основі теоретичних припущень та на основі спостереження за рішеннями, що реалізуються сьогодні в різних країнах. Для цього кожна з відібраних та впроваджених будівельних одиниць буде моніторитися з метою аналізу ефективності прийнятих заходів, щодо зменшення їх енергетичної залежності та негативного впливу на оточуюче середовище. Спроектвані таким чином об'єкти можуть слугувати типовими рішеннями як для майбутніх нових запланованих поселень, так і для ревіталізації існуючих.

На реформи особливо впливає Угода про асоціацію, підписана з Європейським Союзом у червні 2014 року. Відповідно до угоди, Україна взяла на себе зобов'язання щодо впровадження директив Європейського Союзу (ЄС) в енергетичному секторі і має відповідати вимогам третього та четвертого енергетичних пакетів.

В Україні, як і в більшості країн ЄС, спостерігається поступове скорочення енергоспоживання в нових будівлях та будівлях, що перебувають на стадії реконструкції та модернізації. В рамках Європейського Союзу за останні роки було запроваджено низку директив, спрямованих на покращення енергоефективність будівель. Серед найбільш важливих можна виділити наступні:

1. Директива 2004/8/ЄС від 11 лютого 2004 року про сприяння когенерації на основі корисного попиту на тепло на внутрішньому енергетичному ринку.
2. Директива 2006/32/ЄС від 5 квітня 2006 року про ефективність кінцевого споживання енергії та енергетичні послуги.

3. Директива 2009/28/ЄС від 23 квітня 2009 року про заохочення використання енергії, виробленої з відновлюваних джерел.
4. Директива 2009/125/ЄС від 21 жовтня 2009 року, що встановлює рамки для встановлення вимог до екодизайну для продуктів, пов'язаних з енергетикою.
5. Директива ЄС 2010/30/ЄС від 19 травня 2010 року про зазначення у маркуванні та стандартній інформації про продукцію споживання енергії та інших ресурсів продуктами, пов'язаними з енергією.
6. Директива 2010/31/ЄС від 19 травня 2010 року про енергетичні характеристики будівель.
7. Директива 2012/27/ЄС від 25 жовтня 2012 року про енергоефективність, внесення змін до директив 2009/125/ЄС і 2010/30/ЄС та про скасування директив 2004/8/ЄС і 2006/32/ЄС

Україна робить поступові кроки у вирішенні питань енергоефективності в будівлях. Наприклад, було прийнято низку законодавчих актів. На національному рівні були запроваджені програми стимулювання громадян до впровадження енергоефективних заходів з термомодернізації житлового та нежитлового фонду. Також започатковано використання механізму енергосервісу, як додатковий інструмент фінансування енергоефективних проектів в ОСББ. З ціллю мобілізації фінансування має бути розроблена спеціальна довгострокова стратегія термомодернізації будівель відповідно до вимог статті 4 Директиви Європарламенту про енергетичні характеристики будівель від 19 травня 2010 року. Ці вимоги визначають необхідність вживання заходів з встановлення мінімальних енергетичних характеристик до будівель, а також методологію розрахунків цих характеристик. Держави-члени повинні забезпечити вживання нових встановлених вимог до елементів будівель, що мають чинний вплив на загальні енергетичні характеристики каркасу, щоб досягнути оптимального рівня витрат енергії. Такі вимоги повинні враховувати загальні умови мікроклімату в приміщеннях, щоб уникнути можливих негативних наслідків, таких як неналежне вентилявання, а також місцеві умови, призначення будівлі та її вік.

Головним документом, що визначає сучасний напрям енергетичного розвитку України є «Національний план дій з енергоефективності на період до 2030 року», що був затверджений відповідним розпорядженням від 29 грудня 2021 р. Документ розроблений згідно вимог дійсної Директиви 2012/27EU Європейського Парламенту та керується принципом задекларованим ЄС у Регламенті 2018/1999 Європейського Парламенту та Ради від 11 грудня 2018 року – «Energy efficiency first», яким передбачається пріоритетне врахування питань енергоефективності при розробці політик, програм, законодавства. Національний план містить перелік цілей енергоефективності у короткострокових, середньострокових та довгострокових перспективах. Базою документу є аналіз існуючих та встановлення нових секторальних і межсекторальних заходів направлених на забезпечення виконання встановлених цілей енергетичної ефективності до 2030 року. Розглянемо окремі статті Національного плану, що стосуються теплової ефективності житлового сектору.

Пункт 3.2 Національного плану цілком присвячений будівельному сектору. Відповідно до вимог зазначеної статті стратегія термомодернізації будівель поширюється на житлові та нежитлові будівлі усіх форм власності та містить:

- огляд стану будівель в країні на основі відповідної статистичної вибірки;
- визначення економічної доцільності підходів з впровадження відповідних заходів в розрізі типу будівлі та кліматичної зони;
- заходи заохочення щодо термомодернізації будівель у випадку їх економічної доцільності;
- залучення інвестицій до сфери забезпечення енергетичної ефективності будівель довгостроковими цілями з реновації;
- обов'язковий розрахунок прогнозованого обсягу економії енергії та інших результатів енергоефективних заходів.

Захід з індексом В-2, згідно з положеннями Закону України «Про енергетичну ефективність будівель» визначає необхідність обов'язкової енергетичної сертифікації для ряду будівель. Описуються етапи заходу, серед яких є: первинна перевірка та внесення до бази енергетичних сертифікатів, проведення вибіркової повної перевірки

енергетичних сертифікатів. Практична користь сертифікації полягає в оцінці відповідності розрахункових рівнів енергетичної ефективності встановленим мінімальним вимогам до енергетичної ефективності будівель. А також надання рекомендацій щодо підвищення рівня енергетичної ефективності будівель, що враховують місцеві кліматичні умови, є технічно та економічно обґрунтованими.

Заходи Р-3, Р-4 спрямовані на впровадження енергоменеджменту, енергомоніторингу та санації будівель бюджетних установ комунальної форми власності. Запровадження енергомоніторингу як невід'ємної складової системи енергоменеджменту може призвести до суттєвого скорочення споживання енергії. Захід з санації передбачає здійснення інвестицій в енергоефективність будівель органів державної влади та забезпечення енергетичної ефективності таких будівель на рівні не нижчому, ніж встановлено мінімальними вимогами щодо енергетичної ефективності будівель. Також, серед інших, в Національному плані є заходи з підтримки ефективного опалення / охолодження у секторі житлових та публічних (комерційних) будівель.

Зазначені заходи з енергоефективності повинні дозволити досягнути показників економії різних видів енергії та скорочення парникових викидів [40].

2.1.2 Загальноєвропейська енергоефективна політика

Зменшення споживання енергії та відходів є питаннями, які набувають все більшого значення для ЄС. Заходи з енергоефективності розглядаються не лише як засіб забезпечення сталого енергопостачання, скорочення викидів парникових газів, підвищення надійності постачання та скорочення витрат на імпорт енергоресурсів, але й як засіб сприяння конкурентоспроможності Європи. За останні 15 років законодавство ЄС щодо енергоефективності значно змінилося. У 2018 році лідери ЄС поставили мету скоротити щорічне споживання енергії в ЄС на 32,5% до 2030 року. У березні 2023 року вони погодили цілі ЄС щодо скорочення споживання первинної та кінцевої енергії на 38% та 40,5% відповідно до 2030 року.

Загальні рамки і вимоги щодо енергетичної ефективності будівель у ЄС висуває відповідна директива Директива (ЄС) 2010/31 (Директива про енергетичну ефективність будівель) зі змінами, внесеними у 2018 році. Вона має на меті забезпечити, щоб кожна держава-член ЄС мала високоенергоєфективний та декарбонізований будівельний фонд до 2050 року. Директива про енергетичну ефективність будівель запроваджує обов'язкові довгострокові стратегії для підтримки оновлення національного будівельного фонду, як державного, так і приватного, з метою забезпечення високоефективного та низьковуглецевого будівельного фонду до 2050 року. Директива прискорює перетворення існуючих будівель на будівлі з майже нульовим споживанням енергії до 2050 року, а всі нові будівлі повинні бути будівлями з майже нульовим споживанням енергії з 2021 року; вона також підтримує модернізацію всіх будівель за допомогою розумних технологій.

15 грудня 2021 року. Комісія запропонувала переглянути Директиву про енергетичні характеристики будівель, щоб привести її у відповідність до цілі ЄС щодо скорочення викидів парникових газів на 55% та досягнення кліматичної нейтральності до 2050 року. У новій редакції викладено бачення та надано інструменти для досягнення нульового рівня викидів вуглецю в будівлях до 2050 року, введено нове визначення будівель з нульовим рівнем викидів вуглецю та уточнено існуючі визначення, такі як "будівля з майже нульовим споживанням енергії" та "капітальна реконструкція". Він замінює довгострокові стратегії реновації національними планами реновації будівель, більш оперативними і такими, що підлягають більш ретельному моніторингу, які мають бути представлені до 30 червня 2024 року. Мінімальні енергетичні стандарти були підвищені, вимагаючи, щоб усі нові будівлі в ЄС були будівлями з нульовим рівнем викидів з 2030 року, а всі нові громадські будівлі - з 2027 року, щоб усі нежитлові будівлі, що належать до класу енергоефективності G, були реконструйовані принаймні до класу F до 2027 року, а до 2030 року - до класу E, а всі житлові будівлі - щонайменше до класу F до 2030 року та до класу E до 2033 року. Перегляд забезпечив порівнянність національних стандартів для сертифікатів енергоефективності до 2025 року, запровадив добровільні паспорти реновації до 2024 року та індикатор готовності будівель до "розумних"

мереж до 2026 року, а також надав фінансову підтримку для скорочення паливної бідності.

18 травня 2022 року, вже після російського вторгнення в Україну, Комісія внесла зміни до Директиви про енергетичні характеристики будівель та збільшила підтримку сонячної енергії в будівлях, включаючи вибіркове поетапне впровадження обов'язкового встановлення фотоелектричних панелей на дахах (Ініціатива "Сонячна енергія на дахах") та заходи зі зниження попиту на енергію.

Хвиля реновації. У жовтні 2020р. Комісія опублікувала нову стратегію реновації під назвою "Хвиля реновації для Європи - озеленення будівель, створення робочих місць, підвищення якості життя". Вона має на меті щонайменше подвоїти темпи реновації протягом наступного десятиліття та забезпечити, щоб реновація призвела до підвищення енерго- та ресурсоефективності. Ініціатива "Хвиля реновації" ґрунтується на заходах, узгоджених в рамках пакету "Чиста енергія для всіх європейців", зокрема на вимозі до кожної держави-члена опублікувати довгострокову стратегію реновації енергетичних і кліматичних планів держав-членів.

Когенерація. Комісія включила стратегію ЄС у сфері опалення та охолодження до пакету документів щодо енергетичного союзу 16 лютого 2016 року. Стратегія спрямована на підвищення енергоефективності будівель та тіснішу інтеграцію систем електропостачання з системами централізованого теплопостачання, значне збільшення використання відновлюваних джерел енергії та створення стимулів для повторного використання відпрацьованого тепла та холоду, що виробляються промисловістю. Законодавство щодо стратегії включено до пакету "Чиста енергія для всіх європейців".

Переглянута у 2018 році Директива з енергоефективності вимагає від держав-членів оцінити доцільність використання вискоелективної когенерації та централізованого тепло- і холодопостачання на своїй території та повідомити Комісію про результати цієї оцінки, а також провести аналіз витрат і вигод на основі кліматичних умов, економічної доцільності та технічної придатності (за деякими винятками).

Запропонований Комісією перегляд Директиви про енергоефективність у липні 2021 року запровадив більш суворе планування та моніторинг комплексних оцінок, переглянув визначення ефективних систем опалення та охолодження, а також додаткові критерії питомих викидів від високоефективної когенерації (270 г CO₂/кВт-год). У травні 2022 року поправка щодо енергоефективності будівель зобов'язала держави-члени сприяти встановленню сонячних установок на будівлях [10].

2.1.3 Досвід і практика України у впровадженні та виконанні енергетичних заходів

Енергоефективність та підвищення теплоізоляції будинків є важливими аспектами у зусиллях зменшення споживання енергії та покращення комфорту життя. В Україні, як і в багатьох інших країнах, існує програма, яка спрямована на підтримку громадян і підприємств у виконанні енергоефективних заходів та покращенні теплоізоляції своїх будинків, відома як "теплий кредит". Це програма державної підтримки, спрямована на стимулювання енергоефективних заходів та зменшення витрат на опалення та охолодження житлових будівель та інших об'єктів. Ця програма надає фінансову допомогу та кредити громадянам та підприємствам для здійснення різноманітних заходів з покращення теплоізоляції та енергоефективності. Програма, компенсує від 20% до 35% витрат, що здійснюються на покупку технологій і матеріалів, спрямованих на підвищення енергоефективності. Серед таких виробів можуть бути багатозонні лічильники, теплоізоляційні матеріали, енергозберігаючі вікна, опалювальні котли та радіатори, сонячні батареї та інші. Проведення теплової модернізації житла сприяє зниженню витрат газу, води та електроенергії на забезпечення комфорту всередині будівель і, відповідно, зменшує загальну суму щомісячних платежів за комунальні послуги.

Надаючи подібні фінансові пільги, держава підтримує сталий "зелений" напрямок розвитку економіки та сприяє зростанню пулу енергоефективних житлових

об'єктів. Ці заходи також сприяють підвищенню довіри громадян до держави та стимулюють їх вчасно розраховуватися за споживані природні ресурси.

Програма "теплий кредит" в Україні започаткована національним урядом з метою підвищення енергоефективності будівель та зменшення залежності від імпортованих джерел енергії. Вона була запущена в 2014 році та поступово розширювалася та удосконалювалася з часом.

12 вересня 2023 року Команда Buildings Performance Institute Europe спільно з DiXi Group представила аналітичний звіт під назвою «Енергоефективність у зеленому відновленні: кращі практики та можливості для України». В цьому звіті були виділені програми Фонду енергоефективності під назвами "Енергодім" і "ВідновиДІМ", які були включені до списку найкращих механізмів термомодернізації та відновлення житлового фонду, що постраждав внаслідок війни. [11]

У звіті наведено загальні результати досягнення прогресу виконання зобов'язаностей перед Угодою з асоціацією з Євросоюзом, прогрес імплементації законодавчої бази у сфері енергоефективності будівель. Також, виділено результати проєктів відновлення житлового фонду.

У рамках програми Фонду енергоефективності під назвою "ВідновиДІМ" надаються безоплатні та безповоротні гранти для відновлення житлових будинків, що пошкоджені внаслідок війни, з урахуванням вимог енергоефективності. На момент березня 2023 року вже було відновлено перші чотири будинки в місті Ірпінь, Київська область, завдяки участі ОСББ у програмі "ВідновиДІМ". Загалом ОСББ отримали близько 13 мільйонів гривень, які були витрачені на ремонт фасадів, відновлення інженерних систем, заміну вікон та балконних дверей, а також зовнішніх та внутрішніх вестибюльних дверей для підвищення енергоефективності будинків.

Крім того, існують інші ініціативи з реконструкції громадського сектору. У жовтні 2022 року Європейський інвестиційний банк та Програма розвитку Організації Об'єднаних Націй (ПРООН) підписали угоду на 2 мільйони євро, фінансовану E5P, для підтримки українських міст у фінансуванні термомодернізації громадських будівель та ремонту та адаптації будівель, пошкоджених внаслідок війни. З кінця березня 2023 року розпочався відбір проєктів за програмою "Енергоефективність

громадських будівель в Україні" з бюджетом у 300 мільйонів євро від Світового банку для фінансування термомодернізації громадських будівель, таких як заклади охорони здоров'я, школи, дитячі садки, спортивні та культурні центри, адміністративні будівлі та інші. Програма також передбачає фінансування ремонту пошкоджених війною об'єктів, будівництво бомбосховищ та адаптацію будівель до умов, що краще відповідають потребам внутрішньо переміщених осіб та громад, що їх приймають.

Також варто відзначити, що Світовий банк надасть Україні 232 мільйони доларів США на компенсацію витрат на усунення пошкоджень і ремонти приватних будинків та квартир, які постраждали від російського вторгнення. Фінансування цього проєкту складається з позики Міжнародного банку реконструкції та розвитку на суму 70 мільйонів доларів США, яка забезпечена гарантією Уряду Японії, та гранту на суму 162,5 мільйонів доларів США від багатостороннього Цільового фонду підтримки, відновлення, відбудови та реформування України. Згодом передбачається отримання додаткового фінансування до 800 мільйонів доларів США від Світового банку та партнерів у вигляді кредитних гарантій, грантів та інших внесків.

Ці заходи дозволять компенсувати витрати на усунення пошкоджень і ремонти близько 98 тисяч окремих будинків та 8 тисяч домогосподарств у 160 багатоквартирних будинках у п'яти регіонах України. Очікується, що цей проєкт сприятиме відновленню близько двох третин пошкоджених житлових будинків в Україні, які можуть бути відремонтовані.

Гарним показником енергоефективного розвитку є показник сертифікації будівельного фонду України. Так, за період з 2017 по 2021 рік, відповідно до Закону "Про енергетичну ефективність будівель," було здійснено сертифікацію приблизно 6 тисяч будівель. Значна частина сертифікованих об'єктів є житловими будинками (див. рис. 2.1), і близько 46% з них отримали сертифікат класу енергоефективності G. До 2023 року кількість сертифікатів зросла і становить понад 17 тисяч.

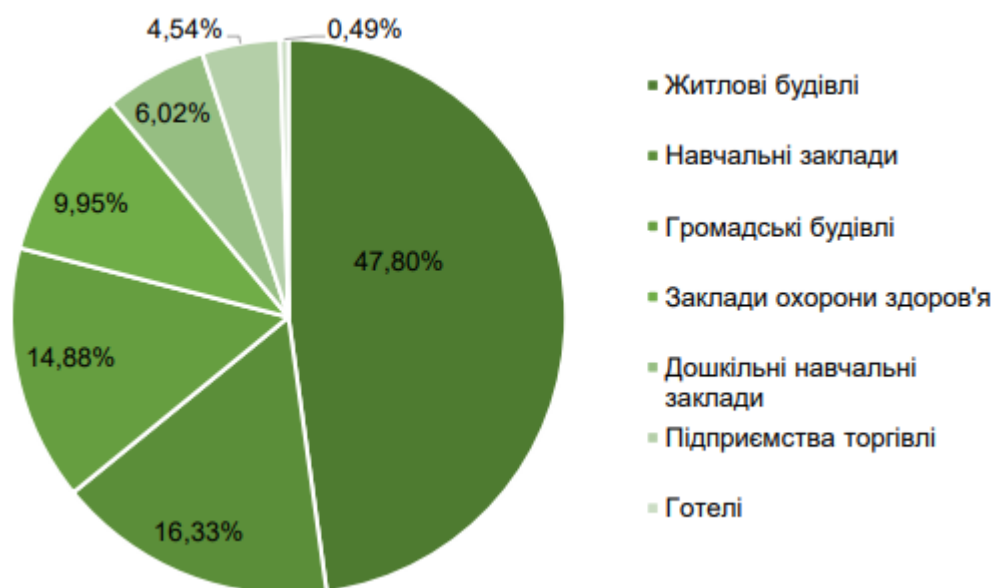


Рисунок 2.1 - Енергетичні сертифікати видані до 2021 р

Завдяки введенню нових Державних будівельних норм, які стають обов'язковими при будівництві нових об'єктів, тепер усі нові будівлі пройдуть сертифікацію та мають відповідати стандартам більш високої енергоефективності, що не може бути нижче класу "С". Практика встановлення класу енергоефективності для будівель широко розповсюджена у розвинених країнах світу. Наприклад, в Європі інформація про клас енергоефективності часто відображається на фасаді будинку та доступна у електронних базах даних, оскільки є важливим критерієм при виборі житла. Фактично, клас енергоефективності вказує на те, скільки коштуватиме обслуговування житла для власника щомісяця. Так, у будинках з класом енергоефективності А відхилення від максимально допустимого рівня питомих тепловитрат становить мінус 50% і менше. Для класу В відхилення від максимально допустимого рівня складає від мінус 49% до мінус 10%, для класу С - від мінус 9% до 0%. Для класу D відхилення від максимально допустимого рівня становить від 1% до 25%, для класу Е - від 26% до 75%, а для класу F - 76% і більше.

На ринку будівельного виробництва України вже чимало компаній, що зосереджені на створенні максимально комфортних умов для життя мешканців і проектують лише сучасні та енергоефективні житлові комплекси

Наприклад, житловий комплекс "Main House" від Івано-Франківської компанії "blago developer" вже отримав сертифікат енергоефективності класу В. Схожий рівень енергетичної ефективності будуть мати і будинки масштабного сучасного району "Manhattan UP". Такий рівень енергетичної ефективності дозволяє забезпечити максимальний комфорт, енергозбереження та відповідно зниження витрат власників квартир на комунальні послуги.



Рисунок 2.2 - ЖК Main House від компанії забудовника Blago developer

2.2 Дослідження класифікації сучасних будівельних матеріалів

2.2.1 Сучасні ізоляційні та конструкційні матеріали

Загально, за функціональним призначенням, елементи огорожувальних конструкцій можна поділити на конструктивні та ізоляційні. До перших віднесемо складову, що відповідає за стійкість та надійність будівлі. Зазвичай, вона може бути зведена з бетону, цегли, сталевих конструкцій тощо. Вибір матеріалу залежить від функціонального призначення будівлі та будівельних стандартів. Важливо

враховувати, що несуча конструкція повинна мати високий рівень міцності та стійкості до навантажень. Розглянемо деякі сучасні матеріали та відповідні технічні рішення.

Технологія «**SYSTEM 3E**» - це польська перевірена технологія, заснована на екологічному та здоровому матеріалі - перлітових елементах 3E. Інноваційність 3E полягає в поєднанні унікальної рецептури, точної форми і простоти застосування, що дозволяє швидко зводити стіни будівель без розчину, без ізоляції і без шкідливих хімічних речовин. Екологічно чистий, енергоефективний та економічний. [12]

Однією з ключових переваг технології SYSTEM 3E є її безшовність. Цей інноваційний підхід усуває необхідність у затірці швів, що означає відсутність теплових мостів і слабких місць у конструкції. Як це можливо? У місцях з'єднання елементів 3E використовується дія конуса Морзе, а спеціальний кут використовується для максимізації сили тертя, створюючи систему самозакріплених поверхонь. В результаті процес зведення стін надзвичайно швидкий (1 м² стіни 3E зводиться всього за 4,5 хвилини) і нагадує складання цеглинок конструктора.

Завдяки передовим технологіям і точності виробництва, точність елементів 3E становить +/- 1 мм. Це гарантує ідеальне прилягання та відмінну якість при будівництві стін вашого будинку.

Також, перевагою технології SYSTEM 3E є використання природного перліту для виробництва елементів 3E. Перліт має чудові теплоізоляційні властивості, завдяки чому в будинку цілий рік зберігається оптимальна температура - тепла взимку і приємна прохолода влітку. Це також означає мінімізацію втрат енергії, необхідної для обігріву або охолодження будівлі.

Зі слів виробника, стіни, зведені за технологією SYSTEM 3E, не потрібно ізолювати, наприклад, пінополістиролом на масляній основі, тому перегородка "дихає". Паропроникний матеріал стін діє як природна вентиляція, дозволяючи повітрю вільно циркулювати і регулюючи рівень вологості в будинку. Відсутність вологи на стіні означає менший ризик появи цвілі і грибка, які негативно впливають на здоров'я - саме тому SYSTEM 3E особливо рекомендується людям з алергією і

респіраторними захворюваннями, такими як астма. Технологія 3E дозволяє створити безпечний мікроклімат в будинку, найкращий вибір для вас і ваших близьких.

Властивості перліту зумовили його широке застосування в будівельній галузі, насамперед як теплоізолятора. Однак SYSTEM 3E розробила просторовий будівельний матеріал з перліту, який є одночасно і конструкційним, і теплоізоляційним елементом. Стіна з елементів 3E на сьогоднішній день є найтоншою, найтеплішою і найміцнішою одношаровою перлітовою стіною, доступною на ринку з наступними заявленими характеристиками:

- Теплоізоляція $U = 0,198 \text{ Вт/м}^2 \text{ К}$
- Звукоізоляція $R_w = 45 \text{ дБ}$
- Вогнестійкість REI 240 + M
- Міцність на стиск $\geq 1,5 \text{ Н/мм}^2$
- Водопоглинання слідів через $10' \leq 40 \text{ г/м}^2 * \text{с}^{0,5}$
- Коефіцієнт теплопровідності $0,072 \pm 0,003 \text{ Вт/мК}$
- Розширення за рахунок вологи $\leq 0,35 \text{ мм/м}$
- Паропроникність $\mu \leq 15$
- Вага = 32 кг

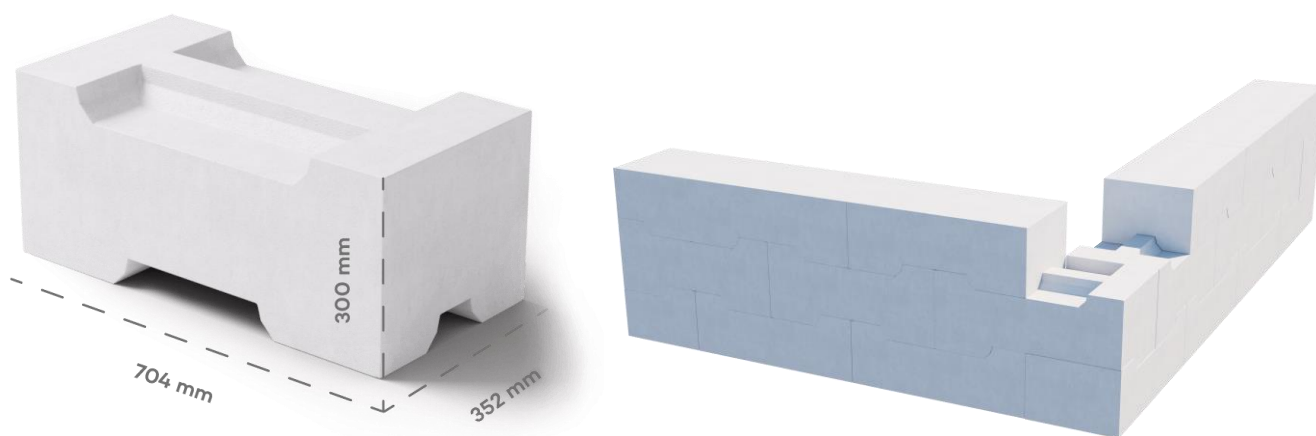


Рисунок 2.3 - Елемент «SYSTEM 3E», приклад виконання кладки

Завдяки чудовим теплоізоляційним властивостям перліту споживання енергії будівлею значно нижче, що призводить до зниження витрат на опалення, скорочення

викидів CO₂ в атмосферу та зменшення використання викопного палива. Крім того, процес виробництва елементів 3E є низькоенергетичним і відповідає принципам сталого розвитку.

Наведену технологію «SYSTEM 3E» було реалізовано в понад 100 проєктів, у тому числі односімейний житловий масив «Leśna Awangarda» поблизу Варшави [13]. Двоповерхові будинки з двосхилим дахом без підвалу будуються з екологічних матеріалів: стіни з натурального перліту, перголи - з сибірської ялини, балюстради - з подвійного загартованого скла, тераси вимощені бруківкою, паркани з габіонів та декор навколо будинків заповнені камінням. Антрацитовий колір передньої огорожі та дахів поєднується з білим тинькуванням фасаду.. Будинки з перліту будують не тільки в Польщі, а й в Іспанії, Швеції, Нідерландах і Великобританії.



Рисунок 2.4 - житловий масив «Leśna Awangarda»

Теплоізоляційний газобетон «**AEROC ENERGY**». Компанія AEROC стала першою в Україні, і, можливо, навіть в країнах СНД, яка змогла виготовити теплоізоляційні плити з ячеїстого бетону, щільність яких становить до D200, а їх теплопровідність майже рівна теплопровідності ефективних утеплювачів на основі пінополістиролу або мінеральної вати, при цьому гарантується міцність не менше 1 МПа. [14]

Блоки AEROC Energy - це виключно теплоізоляційні елементи, які використовуються як зовнішні утеплювачі несучих стін з газобетону та інших матеріалів. За своїми характеристиками теплоізоляційні блоки AEROC Energy є унікальними серед сучасних ізоляційних матеріалів. Вони володіють видатними теплофізичними властивостями та надійністю в експлуатації. Блоки абсолютно негорючі, мають тверду та рівну поверхню із стабільними розмірами, що полегшує їх монтаж. Широкий діапазон робочих температур, висока паропроникність, стійкість до агресивних середовищ, ультрафіолетового випромінювання та високі механічні характеристики - все це підтверджує доцільність використання цього продукту в якості утеплювача.

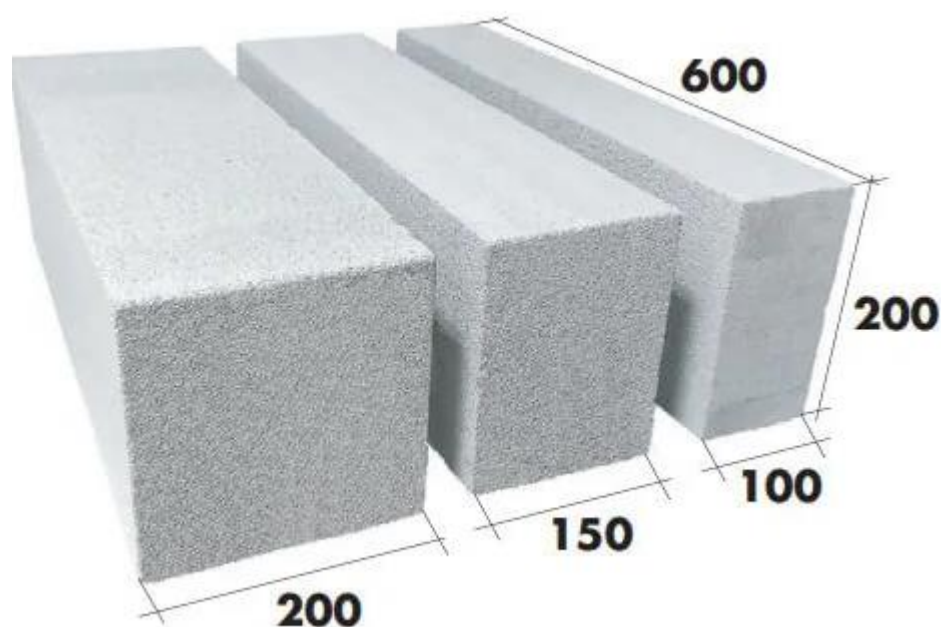


Рисунок 2.5 - Теплоізоляційні блоки AEROC Energy

Технічні характеристики блоків AEROC Energy D150 наступні:

- Середня щільність: 150 кг/м^3 .
- Міцність на стиск: більше $0,4 \text{ МПа}$.
- Паропроникність: $0,3 \text{ мг (мгод} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{Па)}$.
- Теплопровідність в сухому стані: не більше $0,05$.

Ці блоки широко використовуються під час утеплення стін, які можуть бути зведені з газобетону або будь-якого іншого будівельного матеріалу. Компанія AEROC

представила цей новаторський продукт на ринку будівельних матеріалів, і він має унікальні теплофізичні показники та експлуатаційні властивості. Застосування блоків AEROC Energy включає: тепло- і звукоізоляцію зовнішніх і внутрішніх стін будівель, незалежно від основного будівельного матеріалу, утеплення несучих конструкцій і фасадів, реконструкцію об'єктів, включаючи історичні, утеплення промислових об'єктів для подальшого використання їх у житлових цілях, використання в роботах з облаштування мансард, дахів і підлог під стяжку для підвищення тепло- і звукоізоляції.

Блоки AEROC Energy D150 є ідеальним рішенням для теплоізоляції різних типів будівель та сприяють збереженню тепла та забезпеченню комфорту в приміщеннях. Проте даний матеріал має деякі обмеження: не рекомендується покривати теплоізоляційні плити AEROC Energy малопаропроникними клейовими сумішами, щільними полімерцементними штукатурками, штукатурками та фарбами на основі акрилових полімерів.

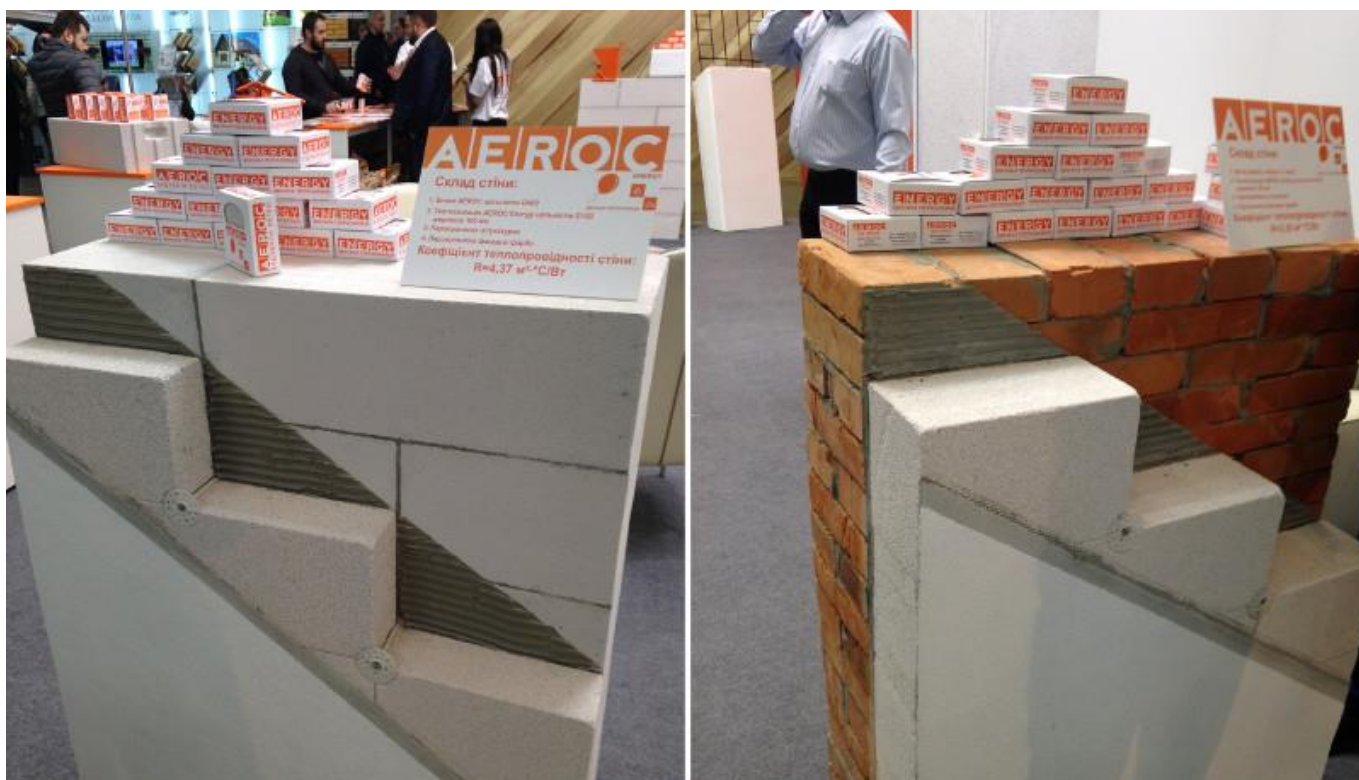


Рисунок 2.6 - Приклад утеплення стіни з застосуванням блоків AEROC Energy

Керамічні блоки з утеплювачем. Ці блоки, що були розроблені недавно, справді представляють собою значний крок вперед на ринку стінових матеріалів. Особливо виділяються керамічні блоки Porotherm Thermo [15] розроблені концерном Wienerberger для будівництва енергоефективних будівель. Цей блок має внутрішні порожнини, які заповнені базальтовим утеплювачем. Виробництво блоків використовує передову технологію, яка поєднує надійність і міцність кераміки з високими теплоізоляційними характеристиками базальтової вати.

Основні переваги блоків Porotherm Thermo:

- Високий коефіцієнт термічного опору $R = 5,88 \text{ м}^2 \text{ С/Вт}$ для стіни товщиною 44 см.
- Не потребує армування та заставних деталей, що зменшує витрати на будівництво.
- Однорідний розподіл навантаження, що мінімізує ризик тріщин у стінах.
- Легкість блоків полегшує будівництво порівняно з цегляною стіною з утеплювачем.
- Швидке будівництво в один технологічний процес, що зекономлює час.
- Комплектація включає клей для монтажу блоків.
- Висока паропроникність стін, які "дихають", підтримують комфортний мікроклімат приміщень.
- Блоки мають високу несучу здатність і марку міцності М75, дозволяючи будувати несучі стіни без додаткових каркасів.
- Відмінна звукоізоляція до 55 децибелів.
- Негорючий матеріал з вогнетривкістю до 3 годин.
- 100% натуральний продукт.

Ці переваги роблять блоки Porotherm Thermo інноваційним та ефективним рішенням для будівництва енергоефективних будівель.

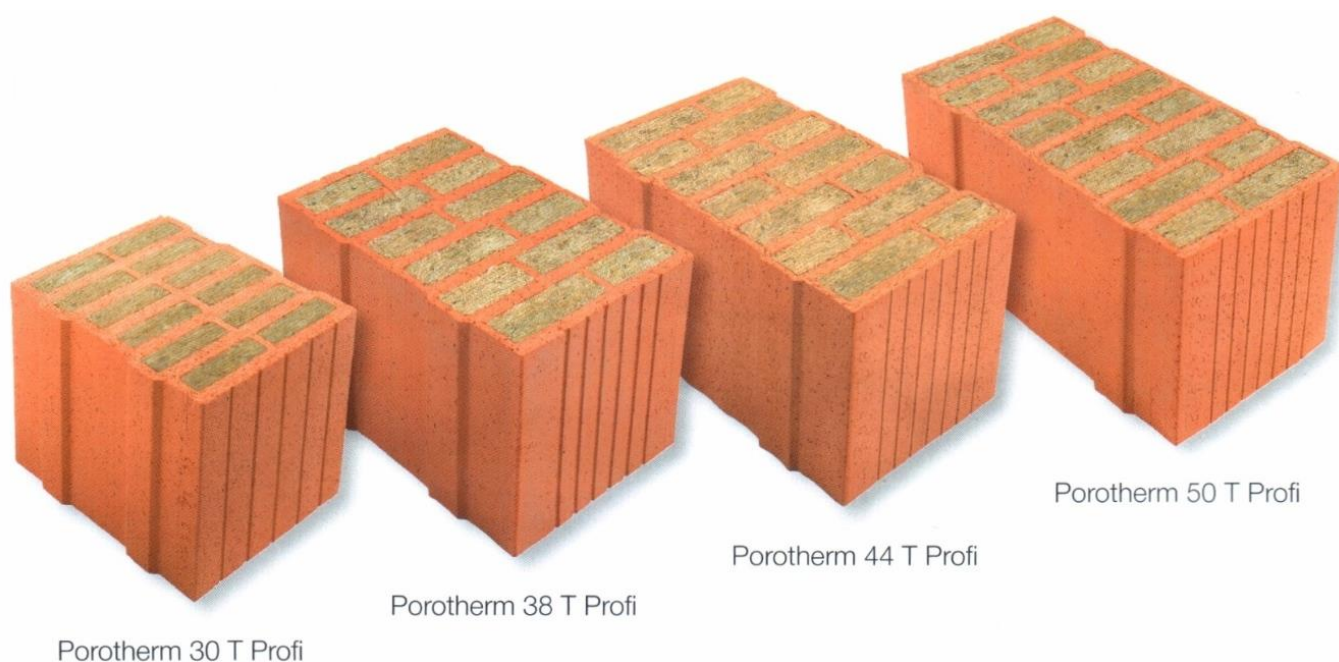


Рисунок 2.7 - Керамічні блоки Porotherm Thermo

Великого поширення за останні десятиліття здобули теплоізоляційні **сендвіч-панелі**. Особливо ефективно вони себе показали у зведенні будівель промислового та громадського призначення, таких як: торгівельні центри, складські приміщення, цеха, холодильні камери тощо. Також, вони набирають популярність у галузі житлового будівництва, забезпечуючи новобудови короткими строками зведення та високими теплотехнічними показниками.

Сендвіч-панелі завоювали популярність завдяки своїм безсумнівним перевагам. Вони легкі, що полегшує транспортування і монтаж, але в той же час мають високу механічну міцність. Вони забезпечують відмінну теплоізоляцію. Крім того, ці панелі доступні в різних розмірах, що поширює можливості їх використання. Властивості сендвіч панелі обумовлені її конструкцією. Вона складається з двох зовнішніх оболонок (сталевих листів), що забезпечує відповідні механічні властивості, такі як довговічність і стійкість до пошкоджень. Між ними поміщається сердечник, який може бути виготовлений з різних матеріалів. Найчастіше використовуються сердечники з пінополістиролу, екструдованого полістиролу або мінеральної вати.

Так як внутрішнє наповнення панелі першочергово відповідає за її ізоляційні характеристики, воно потребує постійного пошуку все більш ефективних матеріалів.

Одним із таких є **поліізоціанурат**. [16] Поліізоціанурат – це піна з хімічно модифікованим поліуретановим наповнювачем, який характеризується підвищеним рівнем вогнестійкості, зберігаючи при цьому належні механічні та теплоізоляційні властивості. Наповнювач пінополіуретан має пористу структуру, а також відрізняється значною легкістю та міцністю. Дані панелі відносять до категорії самозатухаючих матеріалів.

Сендвіч-панелі з серцевиною з пінополіізоціанурату забезпечують підвищений опір теплопередачі, мають малу вагу, що забезпечує легкість монтажу без необхідності використання великогабаритного підйомного обладнання. Пінополіізоціанурат негігроскопічний, тому його можна з успіхом використовувати в сендвіч-панелях для автомийок, басейнів, виробничих цехів з підвищеною вологістю, а також об'єктів, розташованих поблизу водойм.

Сендвіч-панелі з поліізоціануратом мають високу стійкість до впливу вогню, відтак вироби можна використовувати при впливі підвищених температур від 100 до 150 градусів. Низький коефіцієнт теплопровідності зі значенням 0,022 Вт/мК дозволяє матеріалу зберігати тепло або холод всередині приміщення. На відміну від інших видів теплоізоляційних матеріалів, пінополіізоціанурат не провокує розвиток алергічних реакцій організму та не виділяє небезпечні речовини при експлуатації.

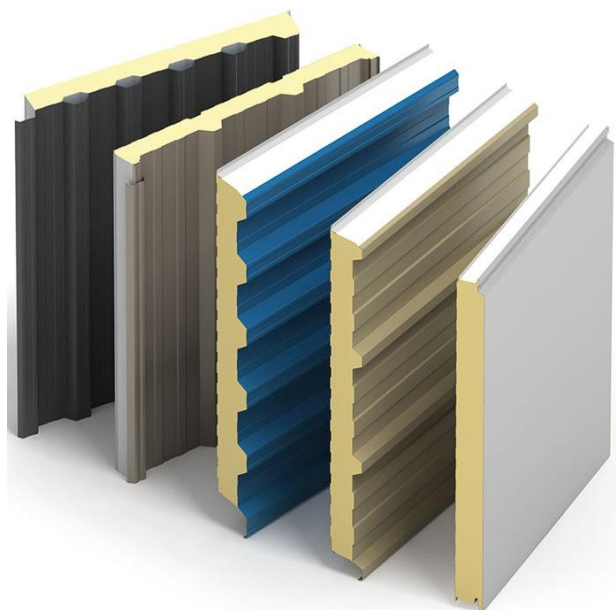


Рисунок 2.8. – Варіанти сендвіч-панелей з наповнювачем поліізоціануратом.

2.2.2 Інноваційні світлопрозорі конструкції

Низькоемісійне скло. [17] Завдяки низькому коефіцієнту пропускання променів, воно має здатність відбивати більшу частину теплового випромінювання, що випускається внутрішніми перегородками та меблями в приміщенні. На практиці це означає, що низькоемісійне скло відбиває теплове випромінювання назад в будівлю, завдяки чому тепловтрати набагато менші, ніж при використанні звичайного скла. Варто знати, що різні типи низькоемісійного скла дозволяють пасивно витягувати різну кількість сонячного тепла, таким чином зменшуючи потребу в опаленні, особливо в холодні місяці року. Низькоемісійний шар пропускає теплове випромінювання всередину приміщення, блокуючи при цьому тепловіддачу назовні. Для того, щоб досягти максимально можливого енергетичного ефекту, варто коригувати властивості використововуваного скління в залежності від того, де розташовані вікна - на північній стороні більше уваги слід приділяти теплоізоляції, в той час як на південній стороні - можливості регулювати кількість світла і сонячного тепла, що проникає в інтер'єр.

Світловідбиваюче скління, як і поглинаюче, належить до сонцезахисного скління. Покриття відбивають сонячне випромінювання або пропускають лише частину випромінювання у видимому діапазоні і зменшують проникнення інфрачервоного (теплого) та ультрафіолетового (УФ) випромінювання. Світловідбиваюче скло має світлопроникність 40÷70% і коефіцієнт відбиття 15÷45%.

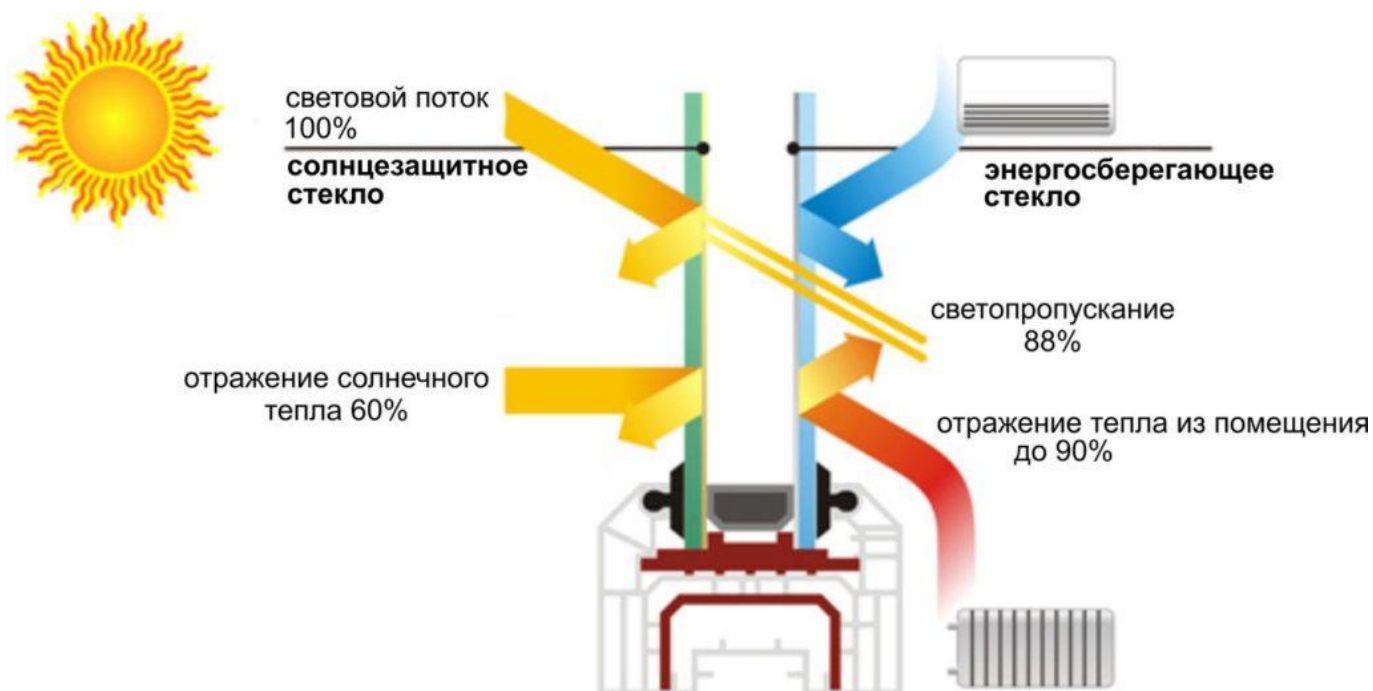


Рисунок 2.9 - Принципова схема роботи низькоемісійного сонцезахисного скла

Використання "теплої рамки" дозволяє підвищити температуру скла по його краях, що знижує ризик конденсації водяної пари. В результаті, допустима відносна вологість повітря, при якій відбувається конденсація водяної пари на поверхні скла в заданих умовах, може бути вищою приблизно на 10-15% завдяки застосуванню «теплої рамки» або «теплого краю». [18]

«Теплий край» - термін, що використовується для позначення типу профілю, який використовується в комбінації, що відокремлює скляні панелі одне від одного. Традиційна технологія використовує алюмінієві профілі або інші металеві дистанційні профілі, у яких дуже високий коефіцієнт теплопровідності. Однак, якщо розпірний профіль виготовлено з матеріалу, який має нижчий коефіцієнт теплопередачі порівняно з традиційними профілями, він називається розпірним профілем з термічно покращеними характеристиками. Завдяки використанню такого профілю в процесі з'єднання мінімізуються втрати теплової енергії через з'єднані кромки.

Слід підкреслити, що фактичний ефект теплового містка на краю склопакета, встановленого у вікні, залежить від типу дистанційної рамки, газу, що використовується в просторі між стеклами, глибини, на яку скло вмонтоване в

профіль, і коефіцієнта теплопередачі U_f профілю, з якого виготовлена віконна рама. Зі збільшенням глибини посадки скла зменшується частка втрат тепла через краї скла, а можливість утворення конденсату зводиться до мінімуму. Теплі рами дозволяють знизити середній коефіцієнт теплопередачі вікна приблизно на $0,1 \div 0,2$ Вт/(м² · К), порівняно з вікнами зі склопакетами з алюмінієвою рамою. Відповідно до стандарту EN ISO 10077, термічно покращений прокладковий профіль – це профіль, значення теплопровідності якого становить $\leq 0,007$ Вт/К.

Червоним кольором на представлених нижче теплових фото є місця, де вікна втрачають найбільше теплової енергії. Використання технології теплої кромки при комбінуванні скла мінімізує ці втрати енергії, покращуючи теплові характеристики всього вікна.

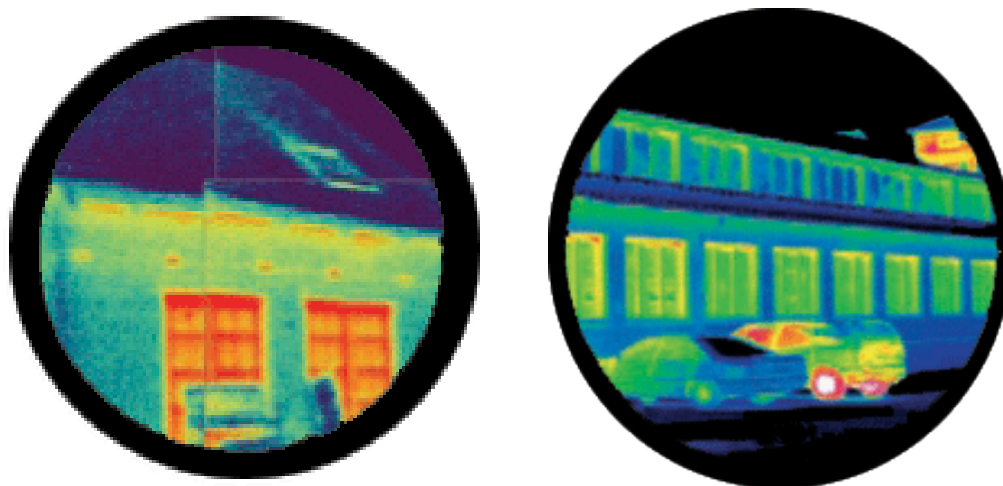


Рисунок 2.10 - Порівняння роботи звичайних вікон з вікнами з «теплим краєм»

Прикладом впровадження сучасних технологій у віконній промисловості є продукція польської компанії OKNOPLAST. Видатними, серед вікон виробництва цієї компанії, є енергозберігаючі вікна Winergetic Premium Passive [19] з використанням інноваційного термобар'єру SpaceBlock, що полягає у поєднанні аерогелевого наповнення в каркасі та шарів пінополіуретану. Віконна конструкція власного дизайну заснована на профілі найвищої якості класу А. 7 камер і товщина стінки профілю 3 мм гарантують підвищений захист від холоду. Це означає, що задовольняються навіть вимоги пасивних будівель, а коефіцієнт теплопровідності в найкращому варіанті становить лише 0,6. Крім того, використовуючи відповідні

склопакети, ми можемо отримати безкоштовну теплову енергію з сонячного випромінювання та використовувати її для обігріву приміщень. Таке вікно виступає як джерело відновлюваної енергії. Незважаючи на те, що воно не виробляє його саме, воно дозволяє будинку використовувати сонячну енергію.

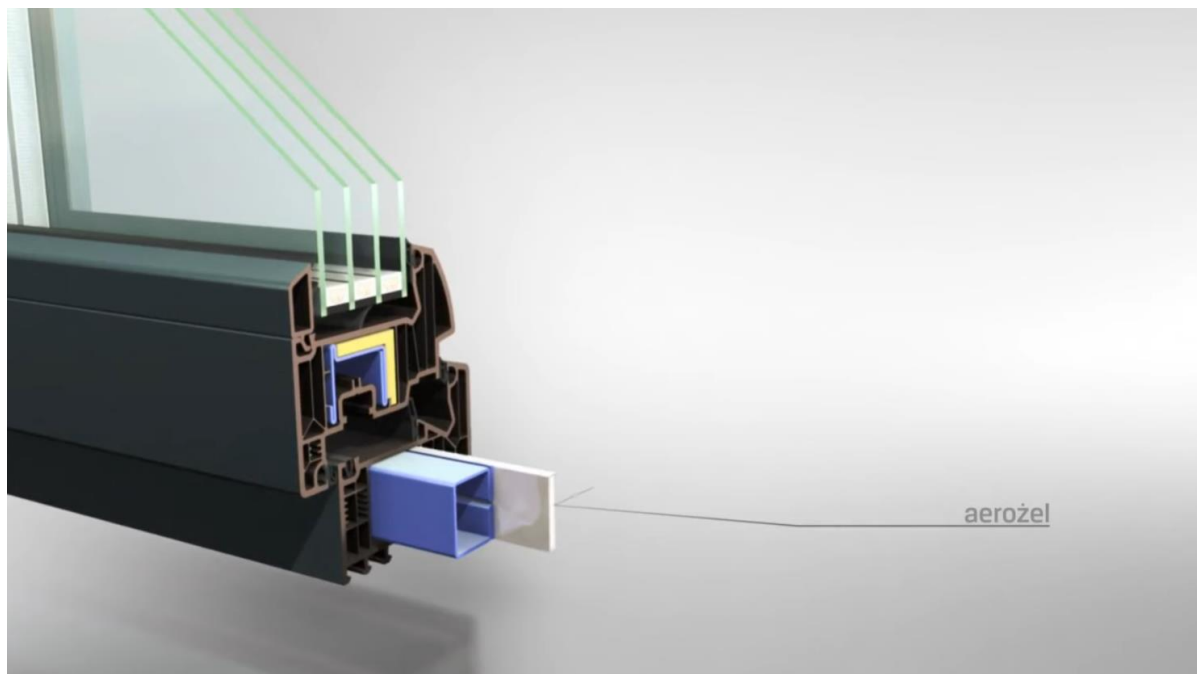


Рисунок 2.11 - Конструкція вікна Winergetic Premium Passive

Відома українському споживачу компанія Rehau також має лінійку віконних конструкцій преміальної якості GENEО RAU-FIPRO X [20], що відрізняються підвищеною енергоефективністю. Збільшення вмісту скловолкна в віконній стулці на 50% підвищує жорсткість профілю, що робить RAU-FIPRO X ідеальним вибором для збільшення розмірів вікон. Ця характеристика дозволяє реалізувати архітектурні концепції з панорамними вікнами висотою до 2,80 метрів, що не мають аналогів.

Важливо відзначити, що стулка з профілю REHAU GENEО Rau-Fipro X витримує склопакет вагою до 150 кг. Результатом є більше природного світла в приміщенні та більше можливостей для архітектурного дизайну будинку.

Відсутність металевого армування всередині конструкції допомагає уникнути мостиків холоду, що призводять до втрати тепла. Поєднання з двокамерним енергозберігаючим склопакетом забезпечується висока теплоізоляція з показниками R_w до $1,65 \text{ м}^2\text{К/Вт}^*$, що дозволяє заощаджувати до 76% енергії за заявою виробника.

Додатково, профільна система REHAU GENEО RAU-FIPRO X має три контури ущільнення і забезпечує високу ізоляцію вікон. Матеріал ущільнення RAU-PREN відзначається високою еластичністю, стійкістю до морозу і тривалим терміном служби.

Для вікон, які відповідають вимогам будинків з низьким споживанням енергії, у профілі REHAU GENEО Rau-Fipro X використовуються спеціальні термомодулі. Ця система входить в окрему категорію профілів REHAU GENEО PHZ, яка має офіційний сертифікат від Інституту Досліджень Енергоефективних Споруд у м. Дармштадт (Німеччина) для використання в будинках класу "пасивний будинок".

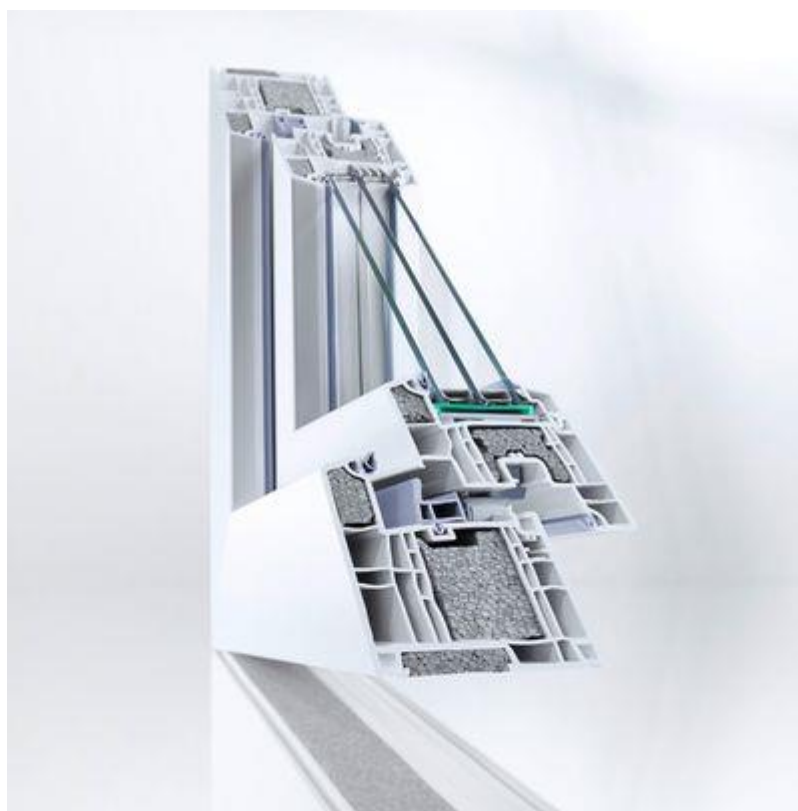


Рисунок 2.12 - Конструкція вікон Rehau GENEО RAU-FIPRO X

Щоб зменшити втрати тепла та отримати максимальний прибуток від сонячного випромінювання, варто також розглянути в тому числі прозору ізоляцію, наприклад система ізоляції зовнішньої стіни з використанням світлопроникних капілярних пластин з полікарбонату, покритих прозорою скляною штукатуркою. Така плита передає тепло, отримане від сонячного випромінювання, до поглинаючої маси (клейової маси чорного кольору), розташованої ближче до утепленої стіни. Зовнішня

частина дошки покрита склогіпсом як захисний шар, а внутрішня частина є поглиначем, який перетворює сонячне випромінювання в теплову енергію. Значна частина цієї енергії проникає крізь матеріал стін у приміщення, а решта – у зовнішнє повітря.

Прозорий утеплювач можна використовувати для освітлення інтер'єру або в поєднанні з масивною стіною, яка акумулює тепло і може віддавати його навіть протягом 6-8 годин після припинення сонячного випромінювання. Завдяки своїй структурі цей утеплювач найбільш ефективно працює взимку, але влітку не викликає перегріву внутрішньої частини будівлі. Це відбувається тому, що капіляри пропускають найбільше сонячних променів, коли кут падіння променів відносно горизонталі малий (тобто взимку). Однак, коли кут падіння сонячного світла збільшується, все більше і більше променів відбивається, і вони не проникають через масу поглинання.

Найпоширенішими матеріалами для прозорої ізоляції є полікарбонат і поліметилметакрилат (акрилове скло, плексиглас). Ці матеріали стійкі до ультрафіолетового (УФ) випромінювання і мають досить високу термостійкість для прозорих ізоляційних систем. Акрилове скло стійке до температур до 90°C, а полікарбонат зберігає свої властивості при температурі до 140°C. Конструкції з цих матеріалів характеризуються відносно високою механічною міцністю, особливо в сотоподібному розташуванні. Позірна густина пластикових конструкцій знаходиться в межах 25÷40 кг/м³.

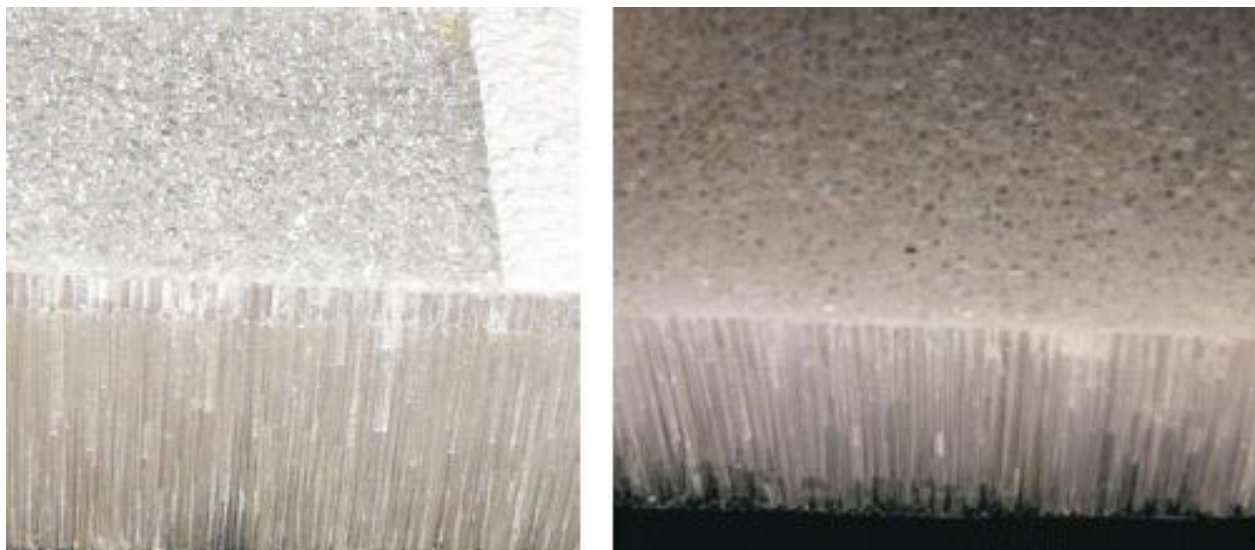


Рисунок 2.№ - Структура полікарбонатної прозорої теплоізоляції

Завдяки своїм фізичним властивостям, таким як негорючість, стійкість до ультрафіолетового випромінювання і стійкість до високих температур, скло є матеріалом, який часто використовується в конструкціях з прозорою ізоляцією як покриття для такої ізоляції. Зокрема, стійкість до високих температур зумовлює використання цього матеріалу для покриттів сонячних колекторів. У сучасних будівельних рішеннях все частіше зустрічається скління з низькоемісійними покриттями, що додатково покращує ізоляційні характеристики прозорих ізоляційних комплектів, захищених склом. Показник густини прозорих конструкцій у вигляді скляних трубок може бути більш ніж удвічі більшим, ніж у пластику, і становити 100 кг/м^3 . [21]

Скловолокно також іноді використовується як наповнювач в освітлювальних панелях. Призначення волокна - розсіювати сонячне випромінювання і забезпечувати хорошу теплоізоляцію елемента.

Унікальний матеріал під назвою **аерогель** (наногель) також має потенціал використання у світлопрозорих теплоізоляційних конструкціях [22]. До його високих теплоефективних характеристик додається здатність розсіювати сонячне випромінювання (що робить зображення, побачене крізь них, туманним), а оптичні властивості залежать головним чином від товщини елемента та однорідності зерен. Практично можна досягти прозорого шару аерогелю з відносно тонкими листами

цього матеріалу. Цікавою властивістю аерогелевих структур є те, що властивості сонячного пропускання залишаються постійними, незалежно від нахилу елемента і орієнтації по відношенню до сторін світу, а отже, і кута падіння сонячного випромінювання. Це пов'язано з тим, що діаметр пор менший за довжину хвилі видимого випромінювання. Світлопроникність залежить від товщини шару аерогелю. У випадку аерогелевих плит товщиною 10 мм вона може досягати 85÷94 %. З іншого боку, панелі, наповнені гранулами аерогелю товщиною 13 мм, характеризуються коефіцієнтом пропускання світла 73 %, а товщиною 64 мм - лише 21 %. З іншого боку, теплоізоляція цих панелей коливається від 1,4 Вт/(м² К) при товщині 13 мм до 0,28 Вт/(м² К) при товщині 64 мм.

Через погану стійкість до факторів навколишнього середовища аерогелі поміщають в скляні або пластикові панелі.



Рисунок 2.13 - Використання світлопрозорих конструкцій на основі аерогелю

2.2.3 Огляд високопотенційних технологій

Цікавим рішенням об'єднання функцій огорожувальної конструкції та енергоефективних технологій є **Solar Roof** від Tesla. [23]



Рисунок 2.14 - «Сонячний» дах Soler Roof Tesla

Сонячні дахи Tesla складаються з комбінації сонячної скляної черепиці та стійкої до корозії і атмосферних впливів сталеві черепиці. Кількість сонячної та звичайної черепиці, необхідної для даху, може варіюватися залежно від ваших потреб в енергії, дизайну та розміру даху, але 35% сонячної черепиці - це хороша оцінка. (Це три-чотири сонячні черепиці на кожні шість-сім сталевих черепиць).

Головною перевагою встановлення будь-якого типу сонячної енергії є зменшення залежності від електроенергії, виробленої з вугілля та природного газу. Оскільки ми продовжуємо відчувати зміну клімату, окремі споживачі, уряди та підприємства потребуватимуть таких кроків, щоб зменшити вплив людства на навколишнє середовище.

Вакуумна ізоляція. OPTIM-R – це високоефективна вакуумна ізоляція від відомої компанії Kingspan для конструкцій з обмеженим простором, наприклад, при утепленні підлоги терас [24]. За оцінками, ізоляція втричі краща, ніж стандартні високоефективні ізоляційні матеріали, і в п'ять разів краща, ніж традиційні ізоляційні матеріали. OPTIM-R складається з мікропористого сердечника, укладеного в тонкий газонепроникний корпус. Таким чином досягається надзвичайно високий ізоляційний ефект із надзвичайно малою товщиною ізоляції. Якщо вакуумну ізоляцію обробляти

правильно, вона зберігає свої теплоізоляційні властивості протягом усього терміну служби будівлі. Матеріал також на 90% підлягає переробці.

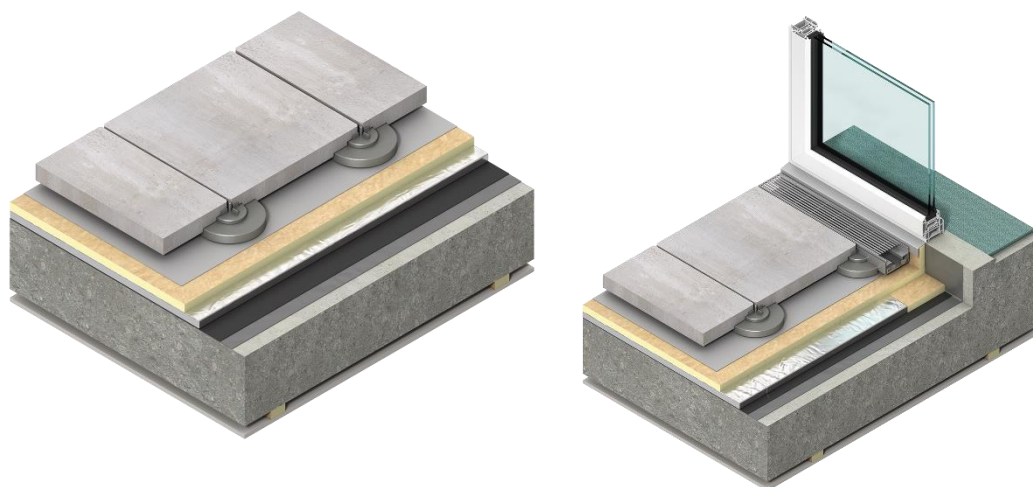


Рисунок 2.15 - Варіанти влаштування теплоізоляції з використанням вакуумних плит ОПТИМ-R від Kingspan

Загадний раніше «Аерогель» - матеріал з унікальною структурою. Він має дуже високу пористість, зазвичай 95-99% його об'єму складається з повітря. Цей пористий твердий матеріал низької щільності легкий і міцний. Ці характеристики роблять аерогелеву ізоляцію ефективним рішенням для різноманітних застосувань.

Аерогелева ізоляція демонструє в 2-7 разів вищу ізоляційну ефективність, ніж зазвичай використовувані ізоляційні матеріали на основі волокна, такі як кам'яна вата. Крім того, він простий в установці та потребує менше матеріалів, перевищуючи характеристики існуючих ізоляційних матеріалів, що робить його придатним для будівництва у вузьких просторах і складних трубопроводах. Аерогель, який має пористу структуру нанорівня, демонструє ізоляційні властивості, близькі до вакуумних, запобігаючи конвекції газу та обміну молекулярним тепловим моментом. Силікатесний аерогель також має 15 рекордів у Книзі рекордів Гіннеса, включаючи найкращий ізоляційний матеріал і матеріал найнижчої щільності.

Традиційні теплоізоляційні матеріали мають властивість вбирати вологу і псуватися. Проте аерогелева ізоляція має високі водовідштовхувальні властивості, що запобігає водопоглинанню та зберігає високі теплоізоляційні властивості

протягом тривалого часу. Також є можливість запобігти іржі та корозії труб при установці на труби та ін.



Рисунок 2.16 - Виріб із аерогелю у вигляді пластини і порошку

Аерогель (також званий наногелем) отримують шляхом видалення рідкого компонента з гелеподібної речовини в надкритичних умовах при високих температурах і/або високому тиску. Після цього в гелі утворюються пори, заповнені газом, які замінюють рідину. Це створює дуже легкий матеріал з високим ізоляційним ефектом (нанопориста губка). Для виробництва аерогелю підходять силікати, такі як кремнієва кислота, або оксиди металів, такі як алюміній, хром і сполуки вуглецю. Залежно від того, яка з цих речовин використовується, ізоляційні властивості аерогелю змінюються.

В результаті розгляду різноманітних огорожувальних конструкцій та теплоізоляційних матеріалів, можна встановити, що наша індустрія будівництва постійно розвивається та вдосконалюється. Застосування різних інноваційних матеріалів та конструкцій дозволяє досягти значного підвищення енергетичної ефективності будівельних процесів.

Діючи окремо та сумісно, огорожувальні конструкції та теплоізоляційні матеріали відкривають нові можливості для підвищення стандартів енергоефективності будівель. Такий підхід сприяє зменшенню споживання енергії, збереженню ресурсів та зниженню викидів CO₂ в атмосферу, що є надзвичайно важливими завданнями в сучасному світі.

Зважаючи на різноманітність доступних матеріалів та конструкцій, проєктувальники та інженери мають можливість створювати енергоефективні будівлі, які відповідають найвищим стандартам якості та сприяють збереженню природних ресурсів. Такий підхід є ключовим для створення більш стійких до змін будівель, що відповідають потребам сьогодення і майбутніх поколінь.

3. ОПТИМІЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ БУДІВНИЦТВА ПРИ ПРОЄКТУВАННІ ЖИТЛОВОЇ БУДІВЛІ

Вище було розглянуто важливість пошуку та впровадження інноваційних огороджувальних та ізоляційних рішень для будівництва. Ми розглянули приклади передових матеріалів та конструкцій, що забезпечують підвищену теплотехнічну продуктивність та забезпечують енергоефективність.

У цьому розділі ми ретельно проаналізуємо вибрані матеріали та їх роботу у конструкції, використовуючи теплотехнічні розрахунки. Детальний аналіз дозволить нам об'єктивно порівняти їхню ефективність та застосування в різних сценаріях будівництва. Наша мета полягає в тому, щоб надати практичні рекомендації щодо вибору матеріалів, які найкраще відповідають вимогам сучасного будівництва та сприяють досягненню високої теплотехнічної ефективності.

3.1 Прийняття шарів огороджувальних конструкцій

Перед тим як перейти до теплотехнічних розрахунків, ми маємо важливу задачу - аналіз матеріалів та їх оптимальний підбір для конкретного проекту. Обрані матеріали повинні розкривати переваги один одного, забезпечуючи ефективну спільну роботу у технологічному теплоізоляційному процесі.

Розглянемо варіанти ізоляції зовнішньої несучої стіни, виконаної із газобетонних блоків. До переваг цього поширеного конструкційного матеріалу відносять:

- високі теплоізоляційні показники. При відповідних умовах, стіни з газобетону можна залишати без додаткової теплоізоляції.
- газобетон відзначається високою вогнестійкістю та певний час не горить при дії вогню. Це збільшує безпеку будівлі та знижує ризик поширення вогню.
- Газобетон має досить високу міцність і стійкість до механічних навантажень. Він добре переносить тиск і зусилля, що дозволяє використовувати його у відповідальних несучих конструкціях при відповідній щільності виробу.

- Паропроникність. Високий показник дозволяє матеріалу краще пропускати повітря. Чим краще виріб пропускає пар, тим здоровіше мікроклімат в приміщенні. Він дозволяє водяній парі проникати крізь стіни, зменшуючи ризик конденсації і утворення вологості в стінах. Це особливо важливо для забезпечення здорових умов у будівлях.

Як було зазначено вище, важливим моментом при утепленні стін є запобігання погіршення роботи основного матеріалу. Тому використання такої ізоляції, як ППС або ППУ може виявитися недоцільним, через погіршення паропроникності конструкції в цілому. Звісно, огорожувальні конструкції не повинні і не можуть виконувати функції вентиляції повітря, однак важливо розуміти, що використання малопаропроникної ізоляції в такому випадку може створити деякі проблеми. Зазвичай стіни з газобетону не потребують ізоляції значної товщини, в той час використання тонких шарів полімерних утеплювачів призведе до вологонакоплення у зовнішній частині газобетонної стіни. В наслідок чого вологість матеріалу виросте, збільшуючи теплопровідність, та зменшуючи економію на опаленні..

Отже, важливо враховувати паропроникність матеріалів і забезпечити збалансований паропроникний режим для збереження теплоізоляційних якостей газобетонних стін та забезпечення ефективної і економічної роботи системи опалення.

Таким чином, найкращим варіантом теплоізоляційного матеріалу для стін з газобетону, у випадках, коли вони цього потребують, є теплоізоляційні блоки з автоклавного газобетону низької щільності (рис. 3.1). Широкий температурний діапазон застосування, високі показники паропроникності, стійкість до агресивних середовищ, ультрафіолетових променів, хороші показники міцності - все це підтверджує доцільність використання цієї продукції як утеплювача.

Окрім цього, варто зазначити: для того щоб зберегти теплотехнічні характеристики та цілісність матеріалу утеплювача, не рекомендується використовувати малопаропроникні клейові склади для покриття теплоізоляційних плит. До таких клейових складів можуть відноситися кладочні клеї, щільні полімерцементні штукатурки, штукатурки і фарби на основі акрилових полімерів.

Використання цих клейових матеріалів може призвести до зниження паропроникності та утворення парової бар'єрної мембрани, яка не дозволить волозі вивітрюватися з утеплювача. Це може призвести до накопичення вологості внутрішньо стінного покриття та до втрати теплоізоляційних властивостей матеріалу. Тому важливо використовувати паропроникні клейові склади та матеріали, які дозволяють водяному пару вивітрюватися, забезпечуючи оптимальний паропроникливий режим для теплоізоляційних плит.

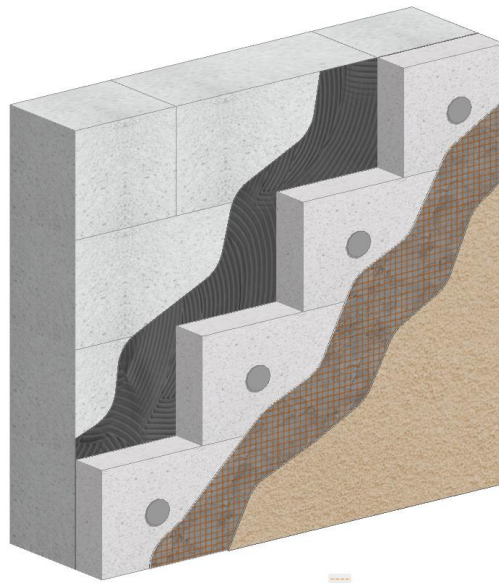


Рисунок 3.1 – Пошарова конструкція газобетонної стіни

Зазначені рекомендації також відносяться до аналогічних матеріалів зі схожими характеристиками, а саме блоків із дрібнопористою структурою відкритого типу: пенобетон, ракушняк (черепашник).

У випадку використання цегли, як основного конструкційного матеріалу для проєктованої будівлі, підхід залишається незмінним. Розглянемо варіант утеплення стіни, виконаної з кладки повнотілої силікатної цегли – одного з найпоширеніших будівельних матеріалів. Розглянемо основні переваги даного матеріалу:

- **Висока міцність:** Силікатна цегла відзначається великою міцністю, що робить її ефективною для будівництва надійних та стійких конструкцій.

- Доступна вартість: У порівнянні з деякими іншими будівельними матеріалами, силікатна цегла зазвичай має доступну ціну, що робить її економічно вигідною для будівництва.
- Висока звукоізоляція: Силікатна цегла добре абсорбує звук, що робить її ефективною для створення тихих та спокійних внутрішніх приміщень.
- Естетика та варіативність: Матеріал доступний в різних кольорах та розмірах, що надає архітекторам та дизайнерам багато варіантів для створення естетично привабливих фасадів та інтер'єрів.
- Екологічна чистота: Виготовлена з природних матеріалів, таких як пісок та вапно, силікатна цегла вважається екологічно чистою та безпечною для здоров'я.

Проте варто враховувати і негативні аспекти, особливо при будівництві житлових будинків. Цей будівельний матеріал добре поглинає воду, що може підвищити вологість у приміщеннях. Ще однією невтішною рисою є низька морозостійкість. При низьких температурах структура виробу руйнується, особливо якщо матеріал насичений водою. Наступним недоліком є висока теплопровідність. Це означає, що взимку стіни можуть втрачати тепло, а влітку, навпаки, сприяти нагріванню повітря у кімнатах.

Однак всі три проблеми можна вирішити однією дією - правильним підбором ізоляційних матеріалів.

Часто, при утепленні найпоширенішого конструктивного матеріалу прибігають до найпоширенішого ізоляційного – мінеральної вати. Дійсно, її використання обумовлено беззаперечними перевагами, що перевірені часом: вона відрізняється гарними пожежобезпечними показниками і не займається навіть при температурі 400 градусів, не деформується при температурному впливі та має непогані теплоізоляційні характеристики (показник теплопровідності 0,032-0,060 Вт / мК.)

Але при цьому, зазначений матеріал має і недоліки у вигляді значної втрати своїх теплоізоляційних властивостей внаслідок зволоження та деформацій ущільнення. Навіть невелике вбирання вологи, наприклад, в 2% від його маси, призводить до збільшення теплопровідності на 10%. Для зменшення поглиблення вологи, рекомендується піддавати обробці мінеральну вату спеціальними

гідрофобними складами, які відштовхують воду. У випадку нехтування цими рекомендаціями, ізоляція має ризик не тільки погіршити свої теплотехнічні характеристики, але і створити умови середовища для розвитку плісняви та грибків. Поєднання двох вразливих до зволоження матеріалів – силікатної цегли та мінеральної вати створює ризиковану ситуацію для коректної роботи огорожувальної конструкції. В такому випадку вона потребує додаткових заходів з гідроізоляції, що підвищує вартість та час виробництва будівлі.

Таким чином, прагматичним шляхом в утепленні конструкції з силікатної цегли буде підбір ізоляційного матеріалу з підвищеними характеристиками вологостійкості. Таким вимогам відповідають полімерні матеріали типу пінополістиролу та пінополіуретану, що мають навіть кращі показники теплопровідності, ніж мінеральна вата (0,028-0,034 та 0,019 – 0,035 Вт/м*К). Але кращим вибором серед аналогічних продуктів на сучасному ринку є плити з пінополіізоціанурату (PIR). Цей відносно новий та дійсно інноваційний матеріал відрізняється низкою переваг:

- Виробники вказують на високу довговічність матеріалу, призначеного для утеплення. Так, термін експлуатації утеплювальних плит оцінюється в 40 років і більше. Широкий температурний діапазон: матеріал залишає свої властивості при охолодженні до $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$ та нагріванні до $120\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- PIR плити відзначаються стійкістю до гниття та розкладання, а також високою хімічною стійкістю до більшості агресивних речовин. Цей утеплювач не стає сприятливим середовищем для розвитку паразитичної мікрофлори, і відсутність зазначених факторів дозволяє уникнути проникнення повітря.
- Хімічна стабільність поліізоціанурату гарантує, що матеріал під час експлуатації в нормальних умовах не видає шкідливих випарів. Екологічна чистота системи утеплення є важливим критерієм для вибору цього матеріалу.
- Важливо враховувати, що пенополіізоціанурат не поширює полум'я і витримує відкритий вогонь, хоча при температурі $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ починає втрачати міцність.
- PIR плити легко обробляються, а процес різання на величину потрібного розміру для утеплювального шару не представляє великих труднощів. Залежно від товщини плит, це можна здійснити ножівкою або гострим будівельним ножем.

- Матеріал зберігає свою міцність і форму протягом усього терміну експлуатації, не піддаючись усадці. Він може витримувати багаторазові навантаження на стиск без втрати міцності та первісної форми, що особливо важливо при утепленні покрівель, де можливі різні види рухливості.

Додаткова перевага матеріалу в тому, що закриті осередки пенополіізоціанурату (PIR) практично не пропускають воду. У проведених експериментах, де PIR плити повністю занурювалися у воду тривалий період (28 днів), водопоглинання матеріалу за обсягом не перевищувало 1 відсотка. Зазначено, що у деяких зразках різних виробників цей показник ще менше, коливаючись від 0,25 до 0,5 відсотка. Такий високий рівень гідрофобності свідчить про те, що волога не може суттєво негативно впливати на теплоізоляційні властивості матеріалу та його загальну довговічність [39]. У такому випадку, ізоляційний матеріал безпосередньо виконує функцію гідроізоляції поверхні стіни, яку можна покращити, використовуючи панелі із додатковим фольгованим покриттям у поєднанні з армованою самоклеючою стрічкою, що виключає необхідність у додаткових шарах гідроізоляції. Також, в залежності від виду оздоблення, панелі можуть бути обладнані шаром паперу або склополотна для покращення адгезії матеріалу.

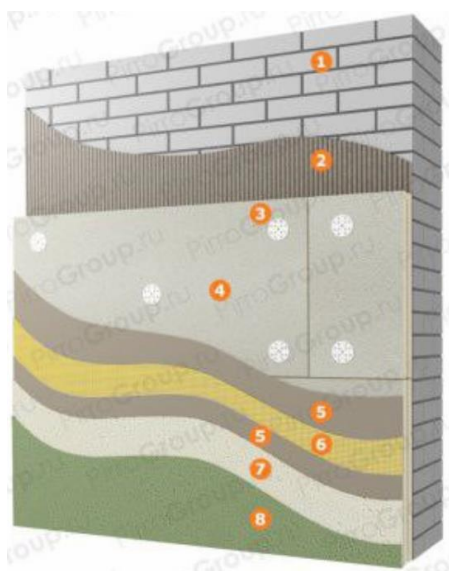


Рисунок 3.2 – Пошарова конструкція цегляної стіни.

- 1 – силікатна цегла, 2 – клейовий розчин, 3 – тарілчастий дюбель, 4 – PIR-плита, 5 – штукатурно-клейова суміш, 6 – склополотно, 7 – декоративна штукатурка, 8 – фасадна фарба.

3.2 Порівняльний теплотехнічний розрахунок огорожувальних конструкцій

Теплотехнічні розрахунки огорожувальних конструкцій мають важливе значення в процесі проектування і будівництва будівель. Основні цілі таких розрахунків включають визначення ефективності енергоспоживання, відповідність стандартам енергоефективності, забезпечення комфортних умов в приміщеннях та здійснення заощаджень енергії.

Ці розрахунки дозволяють визначити теплові втрати чи приріст тепла через огорожувальні конструкції, що допомагає в оптимізації ізоляційних матеріалів та систем опалення. Вони також важливі для визначення, чи відповідають будівельні матеріали стандартам енергоефективності, встановленим для будівель.

Однак теплотехнічні розрахунки не лише про енергетичну ефективність. Вони також враховують комфортні умови проживання, сприяючи оптимальним температурним режимам та утриманню вологості. Це важливо для забезпечення здорового та комфортного середовища у будівлі. Крім того, розрахунки допомагають визначити оптимальне співвідношення між вартістю ізоляційних матеріалів та ефективністю конструкцій, що є ключовим аспектом при виборі технологій та матеріалів для будівництва.

Проведемо теплотехнічні розрахунки умовної стіни житлової будівлі для конструкцій, прийнятих у попередньому розділі. Припустимо, що проєктована будівля знаходиться у м. Запоріжжя, тоді отримуємо або знаходимо вхідні данні за ДБН В.2.6-31:2021, а саме:

ДОДАТОК Б
(обов'язковий)
**ТЕПЛОВОЛОГІСНИЙ РЕЖИМ ПРИМІЩЕНЬ, МАТЕРІАЛІВ В КОНСТРУКЦІЯХ ТА
ТЕМПЕРАТУРА ЗОВНІШНЬОГО ПОВІТРЯ ДЛЯ ТЕПЛОТЕХНІЧНИХ РОЗРАХУНКІВ**

Таблиця Б.1– Градація вологісного режиму приміщень

Вологісний режим	Відносна вологість внутрішнього повітря φ_{int} , %, за температури внутрішнього повітря θ_{int} , °C		
	$\theta_{int} \leq 12$	$12 < \theta_{int} \leq 24$	$\theta_{int} > 24$
Сухий	$\varphi_{int} < 60$	$\varphi_{int} < 50$	$\varphi_{int} < 40$
Нормальний	$60 \leq \varphi_{int} \leq 75$	$50 \leq \varphi_{int} \leq 60$	$40 \leq \varphi_{int} \leq 50$
Вологий	$75 < \varphi_{int}$	$60 < \varphi_{int} \leq 75$	$50 < \varphi_{int} \leq 60$
Мокрий	-	$75 < \varphi_{int}$	$60 < \varphi_{int}$

Таблиця Б.2– Розрахункові значення температури й відносної вологості внутрішнього повітря приміщень (для теплотехнічних розрахунків)

Призначення будівлі	Розрахункові значення показників внутрішнього повітря	
	температури θ_{int} , C	відносної вологості φ_{int} , %
Житлові та готелі	20	55
Заклади дошкільної освіти та охорони здоров'я	22	50
Спортивні заклади	18	50
Інші громадські заклади	20	50

Примітка. При проектуванні допускається розрахункові параметри температури й вологості повітря приймати з урахуванням положень відповідних будівельних норм за призначенням будівель.

Таблиця Б.3 – Вологісні умови експлуатації матеріалу в огорожувальних конструкціях

Вологісний режим приміщень	Умови експлуатації
Сухий	А
Нормальний	Б
Вологий	Б
Мокрий	Б

Примітка. Матеріали внутрішніх конструкцій будівель із нормальним режимом експлуатації розраховуються для умов експлуатації А.

Таблиця Б.4– Розрахункові значення температури зовнішнього повітря $\theta_{e,poz}$

Температурна зона	I	II
Розрахункова температура зовнішнього повітря $\theta_{e,poz}$, °C	мінус 22	мінус 19

Рисунок 3.3 – вихідні дані до теплотехнічного розрахунку

Далі визначаємо температурну зону, користуючись відповідною картою-схемою:



Рисунок 3.4 – карта-схема температурних зон України

Таким чином, згідно з ДБН В.2.6-31:2021 розрахункова температура внутрішнього повітря приймається $t_b=20^{\circ}\text{C}$, розрахункова температура зовнішнього повітря для умов м. Запоріжжя $t_z = -21^{\circ}\text{C}$. Розрахункові значення відносної вологості приміщень 40-50%, мінімально допустиме значення температури внутрішньої поверхні $t_{\min} = 10,7^{\circ}\text{C}$.

Кількість градусо-днів опалювального періоду II-ї температурної зони $-D_d=(20-0,6)*166=3220,4^{\circ}\text{C}$.

Згідно з ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 «Будівельна кліматологія» тривалість опалювального періоду для м. Запоріжжя складає $z_{\text{оп}} = 166$ днів, середня температура зовнішнього повітря за опалювальний період $t_{\text{оп } z} = 0,6^{\circ}\text{C}$.

Вид огорожувальної конструкції	$R_{q \min}, \text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$	$R_{\Sigma \text{пр}}, \text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$
Зовнішні стіни	3,5	2,65
Горищні перекриття неопалювальних горищ	5,5	5,114
Світлопрозорі конструкції	0,7	0,7
Зовнішні двері	0,6	0,6

Рисунок 3.5 - Нормативне значення приведенного опору теплопередачі

Приведений опір теплопередачі термічно неоднорідної непрозорої огорожувальної конструкції розраховують за формулою:

$$R = 1/\alpha_{\text{в}} + R + 1/\alpha_{\text{з}}, \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$$

$\alpha_{\text{з}}$ - згідно додатку Б ДСТУ Б В.2.6-189:2013 коефіцієнт тепловіддачі зовнішньої поверхні $\alpha_{\text{з}} = 23 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$;

$\alpha_{\text{в}}$ - згідно додатку Б ДСТУ Б В.2.6-189:2013 коефіцієнт тепловіддачі внутрішньої поверхні $\alpha_{\text{в}} = 8,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$;

$$R = \delta/\lambda$$

де δ - товщина шару конструкції, м, λ - теплопровідність шару конструкції,

Наступний розрахунок проведемо у табличній формі.

№	Матеріал	$\delta, \text{м}$	$\lambda \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$	$R, \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$
1	Вапняно-піщана штукатурка	0,02	0,93	0,022
2	Кладка газобетону D400	0,4	0,13	3,077
3	Теплоізоляційний блок Аерок Energy D150	0,10	0,05	2
3	Декоративна штукатурка	0,01	0,93	0,011

Рисунок 3.6 – Пошарова конструкція газобетонної стіни

$$R = 1/8,7 + 0,022 + 3,077 + 2 + 0,011 + 1/23 = 5,26 \geq R_{q \min} = 3,5 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт};$$

№	Матеріал	δ , м	λ Вт/(м*К)	R, м ² *К/Вт
1	Вапняно-піщана штукатурка	0,02	0,93	0,022
2	Кладка силікатної цегли	0,38	0,87	0,436
3	Теплоізоляційний блок Аерок Energy D150	0,08	0,021	3,81
3	Декоративна штукатурка	0,01	0,93	0,011

Рисунок 3.6 – Пошарова конструкція газобетонної стіни

$$R = 1/8,7 + 0,022 + 0,436 + 3,81 + 0,011 + 1/23 = 4,43 \geq R_{q \min} = 3,5 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт};$$

Згідно розрахунку, визначені значення приведенного опору теплопередачі прийнятих огорожувальних конструкцій задовольняє мінімальним вимогам із значним запасом.

Маючи характеристики об'ємно-планувальних рішень проєктованої будівлі, (таких як опалювана площа будинку, опалюваний об'єм будинку, загальна площа зовнішніх огород. конструкцій) розрахунок може враховувати вплив окремих конструктивних елементів теплоізоляційної оболонки із зниженими значеннями опору теплопередачі, адже зовнішні стіни огорожувальної конструкції включають в себе лінійні та точкові включення (дюбелі, відкоси, перемички).

Також, в умовах комплексного розрахунку енергоефективності будівлі, додаються розрахунки теплопередачі трансмісією через зону будівлі, теплопередачі підлоги по ґрунту (за її наявності), теплопередача вентиляцією, сонячні надходження та інші.

ВИСНОВКИ

Проаналізувавши теоретико-методологічні аспекти використання зовнішніх стінових конструкцій в підвищенні енергоефективності будівельного комплексу, ми дійшли висновку, що в сучасних умовах постійного ризику розвитку енергетичної кризи, в тому числі через активну агресію росії, огорожувальні конструкції мають величезну складову у теплових витратах будівель.

Завдяки огляду впровадження технологій було обґрунтовано ефективність проведення енергоефективних заходів у будівельній галузі України та ЄС. Розкриття доцільності відповідних проєктів з проведення енергоаудитів та розвитку відновлювальних фондів є стимулом для подальшого розвитку енергоефективної політики держави в довгостроковому плані.

Аналіз фізико-технічних характеристик матеріалів дозволив зробити висновок про важливість таких їх показників, як щільність, пористість, структура тощо. Ця інформація створює теоретичне підґрунтя для свідомого пошуку і порівняння нових інноваційних елементів і конструкцій. Також, огляд успішних кейсів впровадження таких технологій є розумною стратегією визначення наскільки ефективні та стійкі є інноваційні конструкції в реальних умовах експлуатації.

У підсумку, шляхом порівняльного аналізу сучасних огорожувальних конструкцій було доведено, що це є необхідною складовою для покращення технологічних процесів, які можуть бути впроваджені у вітчизняне будівельне виробництво з метою підвищення енергетичної ефективності будівельного фонду.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Moonen T., Nunlay J., Clark G. The story of your city: Europe and its urban development, 1970 to 2020. Belgium, 2019. 52 p. URL: <https://doi.org/10.2867/460398> (date of access: 02.10.2023)
2. Про Національний план дій з енергоефективності на період до 2030 року : Розпорядж. Каб. Міністрів України від 29.12.2021 р. № 1803-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1803-2021-p#Text> (дата звернення: 23.11.2022)
3. Inancing Putin’s war: Fossil fuel imports from Russia in the first 100 days of the invasion – Centre for Research on Energy and Clean Air. Centre for Research on Energy and Clean Air. URL: <https://energyandcleanair.org/publication/russian-fossil-exports-first-100-days/> (date of access: 03.10.2023).
4. Чому світу потрібно відмовитись від російських енергоресурсів? Ukraïner. Ukraïner. URL: <https://ukraïner.net/embargo-na-rosresursy/> (дата звернення: 03.10.2023).
5. Директива (ЄС) 2018/844 Європейського Парламенту та Ради від 30 травня 2018 року про внесення змін до Директиви 2010/31/ЄС щодо енергетичної ефективності будівель та Директиви 2012/27/ЄС щодо енергоефективності
6. Про енергетичну ефективність будівель : Закон України від 22.06.2017 р. № 2118-VIII : станом на 3 серп. 2022 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2118-19#Text> (дата звернення: 23.11.2022).
7. Соціологічне дослідження Центру Разумкова: Підсумки 2019 – громадська думка. URL: <http://razumkov.org.ua/napriamky/sotsiologichni-doslidzhennia/pidsumky2019-gromadska-dumka>
8. Вплив відсутності електрики на опалювальний сезон. Заборона. URL: <https://zaborona.com/vidsutnist-elektryky-shho-bude-z-centralizovanyum-opalennyam-ta-tymu-v-kogo-gazovuj-kotel/> (дата звернення: 23.11.2022)
9. Філоненко О. І. Вельбой М.А. Аналіз енергоефективності стінових конструкцій залежно від їх архітектурно-конструктивних особливостей : Збірник наукових праць. Вип. 4(2). С. 233-239. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Znpgmb_2013_4%282%29__31

10. Ciucci M. Energy efficiency | Fact Sheets on the European Union | European Parliament. European Parliament. URL: <https://www.europarl.europa.eu/factsheets/en/sheet/69/efektywnosc-energetyczna> (date of access: 05.10.2023).]
11. Програми Фонду – серед найкращих механізмів термомодернізації житла | Фонд енергоефективності. Державний Фонд Енергоефективності: гранти для ОСББ | Фонд енергоефективності. URL: <https://eefund.org.ua/programi-fondu-sered-naykraschikh-mekhanizmv-termomodernizacii-zhitla> (дата звернення: 08.11.2023).
12. Product |system3e.com. system3e.com. URL: <https://www.system3e.com/product> (date of access: 08.11.2023).
13. Leśna Awangarda Lipków, powiat warszawski zachodni - domy na sprzedaż - rynekpierwotny.pl. Rynek Pierwotny. URL: <https://rynekpierwotny.pl/oferty/freedom-nieruchomosci/lesna-awangarda-warszawski-zachodni-lipkow-12336/> (date of access: 08.11.2023).
14. Теплоизоляционные блоки AEROC Energy. Аерок-аерос. Газобетон Аерок, газоблок Київ, ціна на газобетонні блоки Аерос. URL: https://aeroc.info/teploizolyaciya_aeroc_energy.html (дата звернення: 08.11.2023).
15. Будуємо теплі стіни з Porotherm. Ukraine. URL: <https://www.wienerberger.ua/perevagi-keramiki/warm-wall-porotherm.html> (дата звернення: 08.11.2023).
16. Поліізоціануратова піна PIR - ТЕРМОБУД. ТЕРМОБУД. URL: <https://www.termobud.lviv.ua/sandwich/poliizotsianuratova-pina-pir/> (дата звернення: 08.11.2023).
17. Низькоемісійне скло. Planeta Design. URL: <https://uk.planeta-design.com/6638038-low-emissivity-glass> (дата звернення: 08.11.2023).
18. Тепла рамка | Тепловарта. Тепловарта | Енергоефективні вікна та фасади. URL: <https://teplovarta.te.ua/тепла-рамка/> (дата звернення: 08.11.2023).

19. Winergetic Premium Passive Windows PVC - Oknoplast. Oknoplast. URL: <https://oknoplast.com/windows/winergetic-premium-passive/> (date of access: 08.11.2023).

20. Большие окна – больше света | GENEО RAU-FIPRO X. Window Solutions Deutschland | REHAU. URL: <https://window.rehau.com/by-be/geneo-rau-fipro-x> (дата звернення: 08.11.2023).

21. Przezroczysta termoizolacja a promieniowanie słoneczne | Planergia. Planergia | łączymy z energią. URL: <https://www.planergia.pl/post/przezroczysta-termoizolacja-a-promieniowanie-sloneczne-1852> (дата звернення: 08.11.2023).

22. Właściwości i funkcjonowanie izolacji transparentnych. Świat szkła. URL: <https://swiat-szkla.pl/article/1267-wlasciwosci-i-funkcjonowanie-izolacji-transparentnych> (дата звернення: 08.11.2023).

23. Энергоэффективнее и дешевле. Tesla представила третье поколение революционных солнечных крыш Solar Roof - ІТС.ua. ІТС.ua. URL: <https://itc.ua/news/energoeffektivnee-i-deshevle-tesla-predstavila-trete-pokolenie-revolucionnyh-solnechnyh-krysh-solar-roof/> (дата звернення: 08.11.2023).

24. Вакуумна теплоізоляційна панель Kingspan OPTIM R: с доставкой от "АТТИК" ТЗОВ (бренды Sika, Isoral, Техса, PrimaTess). Материалы ВМІ-POLSKA, Sika, Siplast, VLCEK, Koga Bau – мембрани ПВХ, герметики, рубероид. URL: <https://sikalvov.com/ua/p733935250-vakuumnaya-teploizolyatsionnaya-panel.html> (дата звернення: 08.11.2023).

25. Сердюк В. Р., Сердюк Т. В., Франишина С. Ю. Удосконалення огорожуючих конструкцій як джерело зниження теплових втрат сучасної будівлі. *Сучасні технології будівництва*. Вип. 26. Київ: КНУБА. 2019. С. 153-159.

26. Фаренюк Г.Г., Тимофеев М.В. Энергоэффективность городских будинків з врахуванням ергономіки теплового середовища. *Комунальне господарство міст*. Вип. 135. Харків: ХНУБА. 2017. С. 129-123.

27. Фаренюк ГГ, Сергейчук ОВ. Методичні основи розгляду показників енергоефективності будівель. Спеціалізований журнал "Вітрина", №3-4, 2013 р.

28. Білявський М. Енергетична бідність в Україні: виклики і шляхи врегулювання. Razumkov centre. URL: <https://razumkov.energy/meny/research/research-energy-uapolicy/> (дата звернення: 23.11.2022).

29. Вплив відсутності електрики на опалювальний сезон. Заборона. URL: <https://zaborona.com/vidsutnist-elektryky-shho-bude-z-centralizovanim-opalennyam-ta-tymu-v-kogo-gazovuj-kotel/> (дата звернення: 23.11.2022).

30. Олексій Чернишов: зима спитає з кожного!. Міністерство розвитку громад та територій України. URL: <https://www.minregion.gov.ua/press/news/oleksij-chernyshov-zuma-spytae-z-kozhnogo/> (дата звернення: 23.11.2022).

31. Пойнер Б. Дослідження прокладання шляху до кращого розуміння причин енергетичної бідності та пропозиції політики її пом'якшення в Енергетичному співтоваристві. Energy Community Homepage. URL: https://www.energy-community.org/news/Energy-Community-News/2021/12/6.html?fbclid=IwAR2sRgEN1NkrZpQWdfENRege2sLQ5JBTcNIGUXnt9da__DWOOrKIPjJKUOW4 (дата звернення: 23.11.2022).

32. ДСТУ EN 14351-1:2020 Окна и двери. Требования. Часть 1. Окна и наружные двери. [Чинний від 2021-02-01]. Вид. Офіц. Київ: ДП «Укр НДНЦ», 2020. 64 с. URL: https://online.budstandart.com/ru/catalog/doc-page.html?id_doc=90350

33. ДБН В.2.6-31:2021. Теплова ізоляція та енергоефективність будівель. [Чинний від 2022-09-01]. Вид. Офіц. Київ: ДП «Укр НДНЦ», 2021. 26 с. URL: https://online.budstandart.com/ru/catalog/document.html?id_doc=98037

34. ДСТУ Б В.2.6-189:2013 Методи вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будівель. [Чинний від 2014-01-01]. Київ, 2014. - 51 с. (Національний стандарт України).

35. ДСТУ 3008-2015 Звіти у сфері науки і техніки. Структура та правила оформлення. [Чинний від 2014-01-01]. Вид. офіц. Київ: ДП «Укр НДНЦ», 2014. 51 с. (Національний стандарт України).

36. ДСТУ 8302:2015 Бібліографічні посилання. Загальні положення та правила складання. [Чинний від 2016-07-01] Вид. офіц. Київ: ДП «Укр НДНЦ», 2016. 20 с.

37. Директива Європейського Парламенту і Ради 2012/27/ЄС від 25 жовтня 2012 року про енергоефективність, внесення змін до директив 2009/125/ЄС і 2010/30/ЄС та про скасування директив 2004/8/ЄС і 2006/32/ЄС : Директива Європ. Союзу від 25.10.2012 р. № 2012/27/ЄС : станом на 4 лип. 2019 р. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/984_017-12#Text (дата звернення: 23.11.2022).

38. Про енергетичну ефективність будівель : Закон України від 22.06.2017 р. № 2118-VIII : станом на 3 серп. 2022 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2118-19#Text> (дата звернення: 23.11.2022).

39. Про енергетичну ефективність : Закон України від 21.10.2021 р. № 1818-IX : станом на 3 серп. 2022 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1818-20#Text> (дата звернення: 23.11.2022).

40. Про Національний план дій з енергоефективності на період до 2030 року : Розпорядж. Каб. Міністрів України від 29.12.2021 р. № 1803-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1803-2021-p#Text> (дата звернення: 23.11.2022).

41. ПИР Плита - PIR / Утеплитель нового поколения из – полиизоцианурата. Стаття компанії «TRISHKOVCOMPANY ® | Кровля | Фасад |». « T.R.ishkovcompany ® » Покрівельний Гіпермаркет. Київ. URL: <https://trishkovcompany.com.ua/ua/a459841-pir-plita-pir.html> (дата звернення: 26.11.2023).

42. Арутюнян І. А., Жамілов О. Д., Веремій Г. Є. Енергоефективна політика в цивільному будівництві: можливості та перспективи застосування. Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика. 2023. № 23. С. 17–27. URL: <https://doi.org/10.15802/bttrp2023/281075> (дата звернення: 04.12.2023).