МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ імені Ю.М. Потебні

Кафедра промислового та цивільного будівництва

Кваліфікаційна робота

другий (магістерський)
(рівень вищої освіти)

на тему: «ОПТИМІЗАЦІЯ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ РІШЕНЬ ПРИ ТЕРМОМОДЕРНІЗАЦІЇ БУДІВЕЛЬ І СПОРУД»

Виконав: студент 2 курсу, групи 8.1923-пцб-1

спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія»
(код і назва спеціальності)
освітньої програми «Примислове і цивільне будівництво»
(код і назва освітньої програми)
Алексієвський Д.Г.
(ініціали та прізвище)

Керівник доц., к.т.н. Самченко Р.В.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Рецензент к.т.н. Данкевич Н.О.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

м. Запоріжжя – 2024 рік

2

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

Факультет _____-_____

Кафедра _____Промислового та цивільного будівництва _____

Рівень вищої освіти _____другий магістерський_____

Спеціальність _____192 «Будівництво та цивільна інженерія»_____
(код та назва)

Освітня програма _____«Промислове і цивільне будівництво»_____
(код та назва)

Спеціалізація _____-_____
(код та назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри ПЦБ
_____Арутюнян І.А.
"___" _____2024 року

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

_____ Алексієвський Дмитро Геннадійович_____
(прізвище, ім'я, по батькові)

1 Тема роботи (проекту) __ОПТИМІЗАЦІЯ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ РІШЕНЬ ПРИ ТЕРМОМОДЕРНІЗАЦІЇ БУДІВЕЛЬ І СПОРУД
_____

керівник роботи _____Самченко Роман Васильович, к.т.н._____,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ЗНУ від «**30**»**вересня**2024 року № **1486-с**

2 Строк подання студентом роботи _____01.12.2024 р._____

3 Вихідні дані до роботи _*Актуальність обраного напрямку досліджень, значимість у сучасному житті, можливості розвинення проблематики, перспективи впровадження майбутніх досягнень, мета роботи, завдання до виконання обраних досліджень, об'єкт досліджень, предмет досліджень*___

4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) __*Провести аналіз стану технологій, що застосовуються при термомодернізації будівель і споруд. Здійснити синтез динамічної математичної моделі тепловтрат через огороджуючі конструкції.*

5 Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) *Від восьми графічних аркушів із результатами аналітичних обґрунтувань наукового напряму досліджень, результатами досліджень,*

3

результатами чисельних розрахунків із застосуванням сучасних інформаційних методів досліджень

6 Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділ 1	Самченко Р.В., доц.		01.03
Розділ 2	Самченко Р.В., доц.		01.03
Розділ 3	Самченко Р.В., доц.		01.03
Розділ 4	Самченко Р.В., доц.		01.03

7 Дата видачі завдання 01.03.2024 р.

1.1.1.1 КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Розділ 1. СТАН ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ЗАВДАНЬ ДОСЛІДЖЕННЯ	27 жовтня	
2	Розділ 2. АНАЛІЗ МАТЕРІАЛІВ ТА ТЕХНОЛОГІЙ УТЕПЛЕННЯ БУДИВЕЛЬ І СПОРУД	15 листопада	
3	Розділ 3. АНАЛІЗ ВПЛИВУ ЗОВНІШНІХ ФАКТОРІВ НА ОПТИМАЛЬНІ ЗНАЧЕННЯ ТОВЩИНИ ТЕПЛОІЗОЛЮЮЧОГО ШАРУ ПРИ УТЕПЛЕННІ БУДИВЕЛЬ І СПОРУД	20 листопада	
4	Розділ 4. СИНТЕЗ МОДЕЛІТЕПЛОПЕРЕДАЧІ ЧЕРЕЗ ОГОРОДЖУВАЛЬНІ КОНСТРУКЦІЇ	30 листопада	

Студент _____ Д.Г. Алексієвський
(підпис) (ініціали та прізвище)

Керівник роботи _____ Р.В. Самченко
(підпис) (ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройдено

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

АНОТАЦІЯ

Алексієвський Д.Г. Оптимізація конструктивно-технологічних рішень при термомодернізації будівель і споруд.

Кваліфікаційна випускна робота для здобуття ступеня вищої освіти магістра за спеціальністю 192 – Будівництво та цивільна інженерія/ Наук. кер. Р.В. Самченко, Запорізький національний університет. Інженерний навчально-науковий інститут ім. Потебні. Кафедра промислового та цивільного будівництва, 2024.

В умовах сучасних викликів, таких як зростання цін на енергоресурси, зміна клімату та необхідність дотримання екологічних стандартів, термомодеонізація будівель та споруд стає дедалі значущою. Тепломодернізація будівель є комплексом заходів, спрямованих на поліпшення енергетичної ефективності та зниження тепловтрат. Сучасні технології утеплення фасадів дозволяють істотно знизити експлуатаційні витрати. Тепломодернізація сприяє зниженню викидів парникових газів. Чим менше енергії потрібно для опалення, тим менше використовується невідновлюваних джерел енергії, таких як вугілля та газ.

Ключові слова: ТЕРМОМОДЕРНІЗАЦІЇ БУДІВЕЛЬ І СПОРУД, ТЕПЛОІЗОЛЮЮЧІ МАТЕРІАЛИ, ТЕПЛОВТРАТИ, МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ТЕПЛОВТРАТ, ТЕПЛОПЕРЕДАЧА.

Алексієвський Д.Г., Самченко Р.В. Математична модель динаміки тепловтрат через огороджуючи конструкції будівель. Сучасні перспективи розвитку обліку, фінансів, економіки, управління, права та інженерії: зб. матеріалів доп. учасн. Міжнародної науково-практичної конференції. Запоріжжя: ЗНУ, 2024.

ABSTRACT

Aleksievsky D.G. Optimization of structural and technological solutions in thermal modernization of buildings and structures.

Qualification final work for obtaining a master's degree in specialty 192 - Construction and civil engineering / Scientific director R.V. Samchenko, Zaporizhia National University. Engineering Educational and Scientific Institute named after Potebny. Department of Industrial and Civil Engineering, 2024.

In the context of modern challenges, such as rising energy prices, climate change and the need to comply with environmental standards, thermal modernization of buildings and structures is becoming increasingly important. Thermal modernization of buildings is a set of measures aimed at improving energy efficiency and reducing heat loss. Modern technologies, such as facade insulation, can significantly reduce operating costs. Thermal modernization helps reduce greenhouse gas emissions. The less energy is required for heating, the less non-renewable energy sources, such as coal and gas, are used.

Keywords: THERMOMODERNISATION OF BUILDINGS AND STRUCTURES, THERMAL INSULATING MATERIALS, HEAT LOSS, MATHEMATICAL MODEL OF HEAT LOSS, HEAT TRANSFER.

Aleksievsky D.G., Samchenko R.V. A mathematical model of the dynamics of heat loss through building fencing structures. Current prospects for the development of industry, finance, economics, management, law and engineering: zb. additional materials participant International scientific and practical conference. Zaporizhzhya: ZNU, 2024.

ЗМІСТ

ВСТУП.....8
1. СТАН ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ЗАВДАНЬ ДОСЛІДЖЕННЯ.....12
1.1 Проблеми зменшення тепловтрат через елементи огороджувальних конструкції будівель та споруд промислового та цивільного призначення.....12
1.2 Сучасний стан питання реалізації конструктивно-технологічних рішень при термомодернізації будівель та споруд..... 14
1.3 Нормативна база, що регламентує застосування конструктивно-технологічних рішень при термомодернізації будівель та споруд..... 16
1.4 Висновки по розділу.....19
2 Аналіз матеріалів та технологій утеплення будивель і споруд.....20
2.1. Система утеплення будівель та споруд на основі «мокрого фасаду».....22
2.2. Система утеплення будівель та споруд на основі «вентильованого фасаду».....24
2.3. Матеріали, що використовуються для утеплення будівель та споруд..... 26
2.4. Висновки по розділу.....30
3. Аналіз впливу зовнішніх факторів на оптимальні значення товщини теплоізолюючого шару при утепленні будивель і споруд 31
3.1 Основні співвідношення для визначення техніко-економічних показників термомодернізації 31
3.2. Приклад розрахунку критерію оптимальності товщини шару утеплювача.....35
3.3 Дослідження впливу середньої температури на оптимальні значення товщини шару утеплювача 45
3.4 Дослідження впливу вартості утеплювача на оптимальні значення товщини шару утеплювача 46

3.5 Дослідження впливу площі внутрішніх приміщень на оптимальні значення товщини шару утеплювача 48
3.6 Висновки по розділу.....50
4. Синтез моделітеплопередачі через огороджувальні конструкції 51
4.1 Синтез моделі ланки "внутрішній простір приміщень".....53
4.2 Синтез моделі ланки "шар огороджувальної конструкції".....55
4.3 Синтез моделі ланки "навколишнє середовище".....57
4.4 Синтез моделі ланки "розподільника теплового потоку".....59
4.5 Синтез загальної моделі тепловтрат споруди.....61
4.6 Результати моделювання термодинамічної моделі тепловтрат споруди.....63
4.7 Висновки по розділу.....64
ВИСНОВКИ.....65
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ..... 67

ВСТУП

Актуальність теми досліджень. Серед значних викликів з якими стикається сучасне Українське суспільство є збільшення споживання енергії, погіршення екологічної обстановки та зростання вартості видобутку енергетичних ресурсів. Тому дослідження методів аналізу та оптимізації термомодернізації будівель та споруд набуває особливої актуальності, тому що цей напрям створює перспективи підвищення енергоефективності та сталого розвитку країни.

Зростання енергетичного споживання у галузі експлуатації житлового фонду залишається однією з основних проблем, що впливають на екосистему. Будівлі споживають віл 30% до 40% загальної енергії, що призводить до значних викидів парникових газів. Розробка наукових методів тепломодернізації дозволяє скоротити втрати тепла, і , як наслідок, перейти до застосування більш екологічних способів забезпечення теплового комфорту.

Розробка цих методів потребує міждисциплінарних досліджень, які включають математичне моделювання, вивчення властивостей сучасних ізоляційних матеріалів, створення методів оптимізації технічних методів утеплення споруд.

Ці методи аналізу дозволяють визначити оптимальні, з точки зору рентабельності, рішення для тепломодернізації з урахуванням специфіки кожного об'єкта, регіону та умов експлуатації.

Дослідження в цій галузі допомагають знайти відповіді на питання про співвідношення додаткових капітальних витрат та економії за рахунок зменшення споживання енергії.

Вони також дозволяють визначити заходи, які є найбільш ефективними для конкретних умов експлуатації будівель та споруд, скоротити терміни окупності проектів термомодергізації.

Питанням удосконалювання у галузі термомодернізації будівель та споруд присвячені праці: І.Ю.Білоус, В.І.Дешко, І.О.Суходуб, Шевченко О.М., Шовкалюк М.М. [2]; О. М. Теліженка та М. І. Сотника. [3]; Шевченко О.М., Шовкалюк М.М. [4]; Євтухов В.Я., Дешко В.І., Шовкалюк М.М., Шевченко О.М. [5]; Шовкалюк М.М., Лєконцева О.Е. [6]; Шевченко О.М., Шовкалюк М.М. [7] та ін.

Науковий підхід дозволяє знизити ймовірність помилок у проектуванні, які можуть бути причиною додаткових витрати під час реалізації.

Оптимізація тепломодернізації будівель безпосередньо впливає якість життя людей. Вони не тільки знижують витрати на опалення, але й створюють комфортні умови всередині приміщень: комфортну, з точки зору стабільності, температуру, та усувають надмірну вологість.

Застосування комп'ютерного моделювання, стає основою оптимізації тепломодернізації. Дослідження у цій галузі сприяють більш точному визначенню енерговитрат ще на стадії проектування та адаптації рішень під індивідуальні потреби об'єкта.

Розширення досліджень в області оптимальних рішень термомодернізації призводить до забезпечення балансу між комфортом, економією та ресурсозбереженням.

Мета і завдання досліджень. Метою дослідження є вдосконалення методів аналізу та оптимізації технологічних рішень для термомодернізації промислових та цивільних будівель і споруд спрямованих на підвищення техніко-економічних показників проектів термомодернізації.

У якості робочої гіпотези прийняте припущення про можливість побудови математичної моделі динамічних процесів теплопередачі крізь огороджувальні конструкції будівлі на базі якої може бути створений аналітичний апарат для оптимізації проектних рішень тетмомодернізаціїї будівель і споруд.

Для досягнення поставленої мети у відповідність із прийнятою робочою гіпотезою в роботі були визначені завдання дослідження:

– проаналізувати технологічні підходи та конструктивні рішення, дослідити нормативну базу в галузі термомодернізації промислових та цивільних будівель і споруд;

– зробити аналіз впливу зовнішніх факторів на величину товщини шару утеплювача;

– зробити аналіз динамічних процесів теплопередачі в шарах огороджувальних конструкцій будівель і споруд;

– створити методику синтезу динамічних математичних моделей теплових втрат крізь огороджувальні конструкції будівель та споруд;

– здійснити синтез динамічної математичної моделі теплопередачі крізь огороджувальні конструкції для пілотної будівлі в якості прикладу застосування запропонованої методики.

Об'єкт дослідження – процеси теплопередачі через огороджувальні конструкції промислових та цивільних будівель та споруд.

Предмет дослідження – термодинамічні характеристики огороджувальних конструкцій та динамічні математичні моделі процесів теплопередачі.

Методи дослідження. Для обґрунтування актуальності, формулювання мети й завдань дослідження застосований метод аналізу й узагальнення.

Для синтезу математичних моделей термодинамічних процесів теплопередачі використовуються принципи візуально-блочного моделювання. Для синтезу моделей компонентів візуально-блочного моделювання використовується апарат лінійних диференційних рівнянь.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в наступному:

– уперше застосовано метод візуально-блочного моделювання для аналізу та синтезу математичних моделей процесів теплопередачі через огороджувальні конструкції в будівельній галузі;

– отримала подальший розвиток методологія моделювання динамічних процесів теплопередачі у будівельній галузі;

– розроблено низку компонентів бібліотеки візуально-блочного моделювання для завдань синтезу моделей теплопередачі;

– проведено декомпозицію системи тепловтрат в будівлях та спорудах як структури тракту передачі енергії.

Практична цінність: розроблена в роботі методика синтезу математичних моделей термодинамічних процесів у будівлях та спорудах може бути використана для отримання практичного інструмента для аналізу та оптимізації проектних рішень в галузі термомодернізації промислових та цивільних будівель та споруд.

Апробація результатів магістерської роботи. Основні положення роботи докладалися в 2024 році на Міжнародній науково-практичної конференції. «Сучасні перспективи розвитку обліку, фінансів, економіки, управління, права та інженерії» (Запоріжжя, 2024р.) за результатами якої опублікована збірка тез доповідей.

Структура й обсяг роботи. Магістерська робота складається із вступу, 4 розділів, висновків, списку використаних джерел з 40 найменувань. Загальний обсяг роботи становить 70 сторінок основного тексту, містить 39 рисунків.

1 СТАН ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ЗАВДАНЬ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Проблеми зменшення тепловтрат через елементи огороджувальних конструкції будівель та споруд промислового та цивільного призначення

На фоні глобальних змін клімату та зростаючої енергетичної кризи підвищення теплозберігаючих властивостей будівель та споруд стає актуальним завданням для будівельної галузі. Будівлі та споруди споживають велику частку енергії, що виробляє сучасна економіка, на обігрів, що призводить до викидів парникових газів та збільшення витрат на експлуатацію будівель. Ефективне енергозбереження та теплоізоляція є важливими фактором ефективного будівництва, яке мінімізацує впливу на навколишнє середовище та покращує комфорт для користувачів будівель.

Проблема низьких теплозберігаючих характеристик будівель найчастіше зумовлена низкою факторів. По-перше, багато будівель в Україні було збудовано декілька десятків років тому, коли будівельні норми та матеріали суттєво відрізнялися від сучасних. Застарілі технологічні рішення та відсутність застосування ефективних теплоізоляційних матеріалів призводять до значних втрат теплової енергії. По-друге, швидке зростання міст та необхідність швидкого зведення житла у минулі роки залишили спадщину будівель, що не відповідають сучасним вимогам стосовно енергозбереження.

З другого боку, кліматичні умови в України, особливо в її північних районах, вимагають великих енергетичних витрат за підтримку комфортної температури всередині приміщень. Недостатня теплоізоляція призводить до того, що значна частина тепла йде через стіни, дах та вікна. Це призводить до збільшення споживання енергії, що впливає на економічні показники, щодо експлуатації будівель та споруд.

Сучасні технології будівництва та сучасні будівельні матеріали надають багато різних способів удосконалення теплоізоляційних властивостей будівель. Найбільш ефективними методами покращення теплоізоляційних характеристик будівель та споруд є використання утеплювачів на основі волоконних , таких як скловата та базальтова вата, а також полімерних матеріалів малої щільності, таких як пінополістирол, пінополіуретан та спінений поліетилен. Ці матеріали високі теплоізоляційні властивості та довговічність, скорочуючи втрати тепла через огороджувальні конструкції.

Іншим напрямом теплозбереження є застосування енергоефективних віконних технологій. Склопакети з багатошаровим склом, що наповнені інертним газом, замість повітря, між шарами значно знижують тепловтрати. Також використовуються технології пов'язані з напиленням спеціальних покриттів, що відбивають теплове випромінювання у середину приміщення усередині приміщення, не перешкоджаючи проходження світла у видимому діапазоні частот. Перспективним сучасним напрямком теплозбереження є використання так званих "розумних вікон". Вони здатні автоматично регулювати прозорість скла в залежності від температури та освітленості.

Теплозбереження – це не тільки питання зниження витрат на опалення, а й напрям у боротьбі зі зміною клімату та забрудненням довкілля. Сучасні матеріали та технології дозволяють значно покращити енергоефективність будівель.

Теплозбереження являє собою інвестицію в майбутнє, яка принесе не лише економічну вигоду, а й дозволить покращити якість життя людей, зберегти природне довкілля для майбутніх поколінь.

1.2 Сучасний стан питання реалізації конструктивно-технологічних рішень при термомодернізації будівель та споруд

Розглянемо сучасні підходи до термомодернізації, а також перспективи її реалізації. Найбільш значущими завданнями термомодернізації є покращення теплоізоляції огороджувальних конструкцій (стін, даху, стелі та вікон).

На рисунку 1.1 схематично показані втрати теплової енергії у типовому будинку.

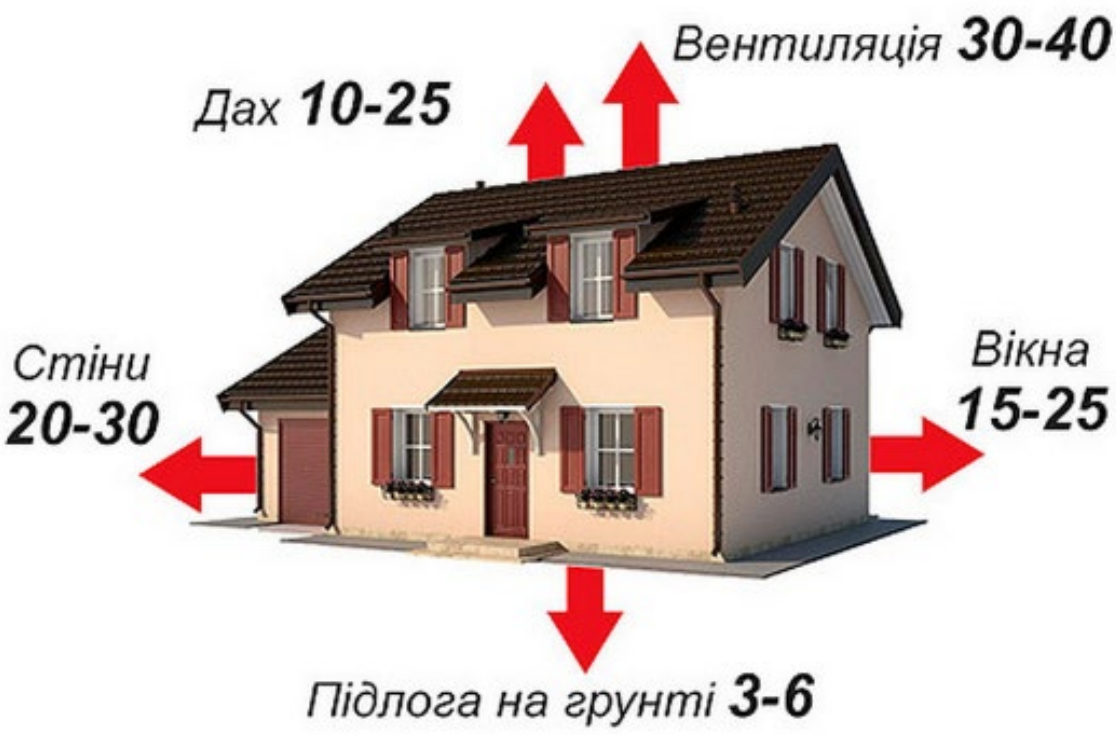


Рисунок 1.1 – Шляхи втрати теплової енергії у будинку [33]

Середнєстатистичний розподіл тепловтрат має наступний вигляд [33]:

– 20-30 % - втрати тепла через стіни;

– 3-6 % - втрати тепла через підлогу та фундамент;

– 10-25 % - втрати тепла через дах;

– 15-25 % - втрати тепла через вікна і двері;

– 30-40 % - втрати тепла через вентиляцію.

Отже, незважаючи на те, що значна доля втрат тепла припадає на вентиляцію (30-40%), загальна доля тепловтра, що припадає на

огороджувальні конструкції складає 60-70%. Це говорить про те, що утеплення огороджувальних конструкцій має дуже великий потенціал щодо досягнення значного економічного ефекту за рахунок збереження теплової енергії і, відповідно, зменшення експлуатаційних втрат на опалення.

Слід зазначити також, що в сучасних умовах експлуатації будівель економічний ефект також може бути досягнутий не тільки під час опалювального сезону, а ї період теплої пори року, коли температура повітря зовні будинку більша за комфортну температуру для людини. Комфортна температура при цьому досягається шляхом застосування кондиціювання і теплоізоляція огороджувальних конструкцій значно зменшує витрати на споживання електроенергії на работу кондиціонерів.

Сучасні технології термомодернізації засновані на використанні інноваційних матеріалів, таких як мінераловатні та пінополістирольні утеплювачі, склопакети з низькоємісійним покриттям та фасадні системи з термоізоляційними шарами.

На сучасному етапі розвитку теплоізоляційних технологій можна виділити наступні основні напрями.

1. *Вентильовані фасади*. Цей метод дозволяє знизити тепловтрати, створити додатковий захист від вологи та забезпечити довговічність фасаду.

2. *Системи "мокрого фасаду"*. У таких системах використовується утеплювач, який закріплений на стіні клейовим составом і спеціальними кріпленнями, армується скловолоконною сіткою і покривається захисною штукатуркою.

При наявності очевидних переваг, процес термомодернізації часто стикається з низкою проблем. По-перше, термомодернізація старих будівель потребує значних витрат, що не завжди виправдано з економічної точки зору. По-друге, будівельні норми і стандарти, що склалися, іноді не враховують потреби сучасного будівництва з точки зору енергоефективності, що негативно впливає на процес впровадження нових технологій.

Труднощі, також, виникають через брак фахівців відповідної кваліфікації та брак навичок для правильного вибору та монтажу теплоізоляційних елементів, що може призвести до неякісного утеплення фасадів та погіршення експлуатаційних характеристик будівель.

Термомодернізація будівель та споруд, у найближчий термін, залишиться одним із пріоритетних завдань будівельної галузі. Розвиток технологій для покращення ізоляційних властивостей сприятиме підвищенню енергоефективності будівель та споруд.

1.3. Нормативна база, що регламентує застосування конструктивно-технологічних рішень при термомодернізації будівель та споруд

Сучасні вимоги щодо застосування конструктивно-технологічних рішень при термомодернізації будівель та споруд охоплюють низку аспектів застосування термомодернізації. Розглянемо основні нормативні документи, що герламентують це питання.

Головні законодавчі норми в галузі термомодернізації будівель та споруд містяться у Законі України "Про будівельні норми".

У [30] розглянуті методи вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будівель. Стандарт встановлює методичні положення щодо вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення житлових, громадських та промислових будівель під час проектування нового будівництва, реконструкції, капітального ремонту (термомодернізації) та технічного переоснащення, поширюється на непрозорі огороджувальні конструкції та встановлює методику визначення їх теплотехнічних показників. Він містить значення розрахункових теплофізичних параметрів будівельних матеріалів. Він дозволяє складати розділ проектної документації, що стосується реалізації вимог з енергозбереження та оцінки енергетичної ефективності будинків.

У [31] наведені правила та алгоритм розрахунку тепловологісного стану огороджувальних конструкцій на стадії проєктування, методи визначення температури внутрішньої поверхні задля уникання накопичення критичної вологості на поверхні та конденсації всередині матеріалу огороджувальної конструкції. Для розрахунку використовуються графоаналітичні методи (розрахункові схеми). Наведено приклад розрахунку тепловологісного стану сучасних огороджувальних конструкцій.

У [1] визначаються технічні параметри із забезпечення енергетичної ефективності будівель, зменшення споживання енергії у будівлях відповідно до законодавства України, встановлюються вимоги до показників енергетичної ефективності будівель, теплотехнічних показників огороджувальних конструкцій, показників енергетичної ефективності інженерного обладнання будівель. Відповідно до Додатку А [1] Територія України поділяється на дві кліматичні зони. Зона І – північні та центральні області та Зона ІІ – південні області.

Для кожної зони встановлюються мінімально допустимі значення приведеного опору теплопередачі огороджувальних конструкцій споруд ($\boldsymbol{R}_{\text{qmin}}$). Наприклад, для житлових та громадських будівель, що знаходяться у Запорізькій області, яка належить до температурної зони ІІ, встановлюється мінімально допустимі значення приведеного опору теплопередачі для 7 видів огороджувальних конструкцій:

- зовнішні стінові огороджувальні конструкції ($\boldsymbol{R}_{\text{qmin}} = 3{,}50$ м^2·К/Вт);

- суміщені покриття,що межують із зовнішнім повітрям ($\boldsymbol{R}_{\text{qmin}} = 6{,}5\backslash 00$ м^2·К/Вт);

- покриття опалюваних горищ (технічних поверхів), мансард, горищні перекриття неопалюваних горищ ($\boldsymbol{R}_{\text{qmin}} = 5{,}50$ м^2·К/Вт);

- перекриття, що межують із зовнішнім повітрям, та над неопалюваними підвалами ($\boldsymbol{R}_{\text{qmin}} = 4{,}00$ м^2·К/Вт);

- світлопрозорі огороджувальні конструкції ($\boldsymbol{R}_{\text{qmin}} = 0{,}70$ м^2·К/Вт);

- зенітні ліхтарі ($\boldsymbol{R}_{\text{qmin}} = 0{,}70$ м^2·К/Вт);

- зовнішні двері ($\boldsymbol{R}_{qmin}$ = 0,60 м^2·К/Вт).

Для будівель промислового та сількогосподарського при призначення ці значення встановлюються з урахуванням теплової інерції – D. При цьому, за цим параметром класифікуються випадки відносно граничного значення D=1,5. Крім того, значення теплового опору визначаються з урахуванням режиму експлуатації:

- з сухим і нормальним режимом;

- з вологим і мокрим режимом;

- з надлишками тепла (більше ніж 23 Вт/м3).

Ці значення знаходяться у межах 0,18-2,40 м^2·К/Вт.

Вплив на теплоізоляційні властивості матеріалу споруд існує з боку вологості матеріалу. У [1] також встановлюється допустиме за теплоізоляційними характеристиками збільшення вологості матеріалу $\Delta w_д$, % за масою, в конструкції в холодний період року:

- вироби теплоізоляційні з мінеральної вати ($Dw_д$ = 2,5 %);

- вироби із спіненого та екструдованого пінополістиролу ($Dw_д$ = 2,0 %);

- вироби з жорсткого пінополіуретану ($Dw_д$ = 3,0 %);

- ніздрюваті та легкі бетони ($Dw_д$ = 1,2 %);

- вироби перлітові ($Dw_д$ = 2,0 %);

- плити з природних матеріалів ($Dw_д$=7,0 %);

- вироби з кремнезиту ($Dw_д$ = 2,5 %);

- мурування з керамічних виробів ($Dw_д$ = 1,5 %);

- піноскло ($Dw_д$ = 1,5 %);

- мурування з силікатних виробів ($Dw_д$ = 2,0 %);

- засипки з керамзиту, шунгізиту ($Dw_д$ = 3,0 %);

- важкий бетон, цементно-піщаний розчин ($Dw_д$ = 2,0 %).

У [24] установлюється вимоги до виробів зі спіненого полістиролу, які застосовуються для теплоізоляції огороджувальних конструкцій будівель і споруд. Це стосується виробів, що були виготовлені у формі плит, рулонів та

ін.. Також установлюються вимоги до показників виробів, методів випробувань, оцінки відповідності, маркування та етикетування.

У [25] установлюється вимоги до виробів із екструдованого пінополістиролу, які застосовуються для теплоізоляції огороджувальних конструкцій будівель і споруд.

У [19] установлюється вимоги до виробів теплоізоляції з мінеральної вати, які застосовуються для теплоізоляції огороджувальних конструкцій будівель і споруд.

1.4 Висновки по розділу

1. Серед усіх напрямків термомодернізації будівель та споруд одним з значущих напрямків є технології утеплення за допомогою сучасних утеплюючих матеріалів. Застосування цих технологій, зважаючи на значну долю тепловтрат через даний шлях втрати теплової енергії у загальному балансі тепловтрат, дозволяє досягти відповідно значного економічного ефекту за рахунок економії енергоресурсу як на опалення, у холодну пору року, так і за кондиціювання у теплі місяці.

2. Технології утеплення даху значно відрізняються від технологій утеплення стінових елементів. Це стосується як різних підходів до будови зовнішніх поверхонь огороджувальної конструкції, впливу напряму дії гравітаційних сил, так і характеру дії осадків. Для закріплення наприклад мінеральної вати на вертикальній або горизонтальній поверхні необхідно використовувати різні види цього утеплюючого матеріалу з точки зору механічних властивостей.

3. На тепловтрати через стіни припадає найбільша доля тепловтрат. Тому в якості напряму дослідження в даній роботи було обрано саме технології утеплення стінових елементів огороджувальних конструкцій.

4. В роботі розглядаються дві технології утеплення фасадів будівель: утеплення з використанням мінеральної вати та утеплення з використанням спіненого полістиролу.

2 АНАЛІЗ МАТЕРІАЛІВ ТА ТЕХНОЛОГІЙ УТЕПЛЕННЯ БУДИВЕЛЬ І СПОРУД

Приблизно від 60 до 70% всієї енергії, що витрачається на експлуатацію споруд використовується для їх обігріву. Здійснення додаткового утеплення дозволяє знизити витрати на обігрів щонайменше ніж на 50%. Крім того, в наслідок цього, значно скорочується кількість шкідливих речовин, що потрапляють у навколишнє середовище в наслідок спалюванням палива.

Теплоізоляція може бути застосована як всередині, так і зовні огороджувальної конструкції. В деяких випадках утеплення всередині може бути єдиним можливим способом утеплення. Наприклад якщо зовнішня поверхня споруди має складну геометричну форму, чи має історичну або культурну цінність, з точки зору збереження зовнішнього виду споруди.

Серед суттєвих недоліків технологій утеплення всередині будівлі слід зазначити наступні:

- зменшення внутрішнього об'єму приміщень;
- необхідність застосування пароізоляції в середині будівлі, для запобігання потрапляння водної пари у огороджувальної конструкції.

При розташуванні утеплювача попереду на шляху руху теплового потоку та пари, конденсація пари у рідку фазу буде відбуватися в зовнішніх шарах стіни, тобто так звана "точка роси" буде знаходитись у зовнішніх шарах бетону або цегли. Накопичення вологи у шарах близьких до зон промерзання, у зимові періоди року, незворотно буде призводити до дуже швидкому руйнуванню зовнішніх шарів цегли або бетону та зовнішньої штукатурки.

Суттєвою перевагою утеплення зовні є те, що реконструкцію вже існуючого будинку можна проводити без порушення умов існування

мешканців будівлі, офісних працівників або технологічних процесів, якщо приміщення має промислове або сільскогосподарське призначення.

Є й негативний аспект будівельних робіт по утепленню зовні – це залежність від пори року проведення робіт.

Але, в більшості випадків зовнішнє утеплення має більш прийнятним завдяки наступним суттєвим перевагам:

- ремонтопридатність;

- однорідність структури теплоізолюючої оболонки;

- можливість широкого вибору фасадного оформлення;

- переваги у санітарно-екологічному сенсі (полімерний утеплювач знаходиться зовні а не всередині приміщення, чим знімається необхідність додаткової вентиляції;

- висока технологічність створення, за рахунок того, що технологічні операції не скковані обмеженим простором приміщення.

Але дані технологія є дуже чутливими до кваліфікації виконавців робіт. Це обумовлено низкою технологічних вимог, невиконання яких може дуже сильно вплинути на довговічність конструкції, її ефективність як теплоізоляції, а з іншого боку, певні складнощі здійснення процедури контролю. До них слід навести наступне:

- неприпустимість надкритичного відхилення площини підґрунтя (не білше 2 см;

- вимоги до чистоти підгрунтя;

- необхідність застосування спеціальних укріплюючих елементів до стіни, з метою протидії вітровим навантаженням;

- необхідність точного підгону сегментів утеплювача на стиках, неприпустимість зазорів та потрапляння клеєвої суміши між елементами;

- встановлення додаткового армування зі зміною напряму орієнтації армуючої сітки в кутах прийомів вікон та дверей.

Слід також зазначити, що ускладнення рельєфу фасаду призводить до значного збільшення трудоємності робіт та збільшує відходи матеріалу.

В результаті накопиченого опиту тепломодернізації будівель на сьогодні масово використовуються два типи зовнішнього утеплення, які головним чином відрізняються типом конструкції зовнішнього шару:

- зовнішнє утеплення з шаром штукатурки (так званий "мокрий фасад");

- зовнішнє утеплення з повітряним шаром (так званий "вент. зазор").

Розглянемо ці технології.

2.1 Система утеплення будівель та споруд на основі «мокрого фасаду»

Утеплення так званого "мокрого" типу представляє собою так званий " періг" який складається з декількох шарів, які наносяться на базове поверхню стіни (рис. 2.1):

- 1-й шар – клеєвий шар для утримання утеплювача (частково цей шар виконує функцію вирівнюючого прошарку, який виправляє відхилення стіни від площтни;

- 2-й шар – шар утеплювача, який додатково закріплений на стіні за допомогою спеціальних елементів кріплення.

- 3-й шар – армуючій шар, що складається з армуючої сітки та клейового складу;

- 4-й шар – базовий шар штукатурки;

- 5-й шар – декоративний шар штукатурки;

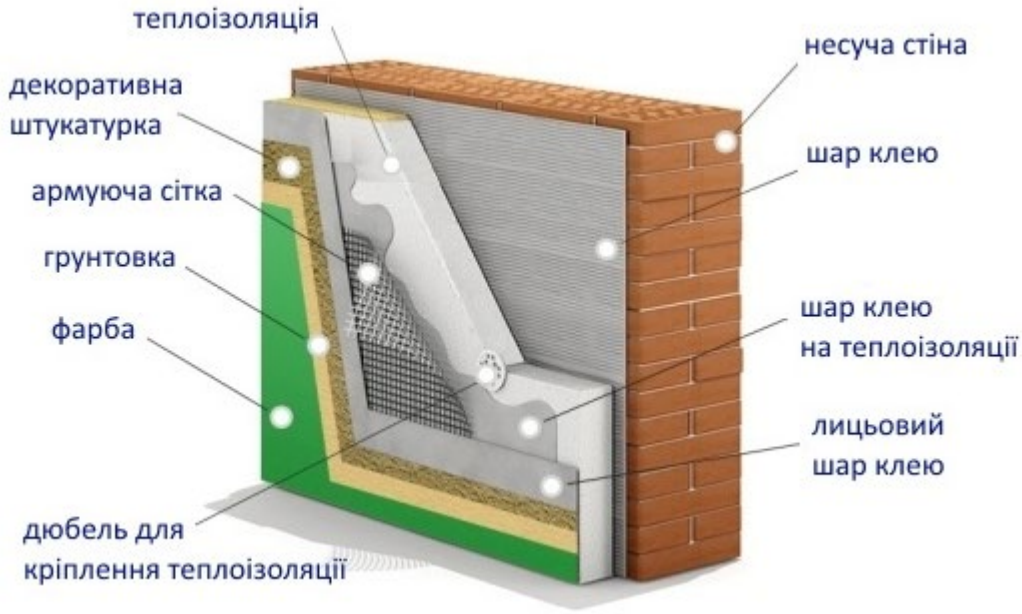


Рисунок 2.1 – Структура "мокрого фасаду" [34]

Ще одним варіантом технології є використання так званого утеплення з товстою штукатуркою. На відміну від системи з тонкою штукатуркою в цій системі в якості армуючого елементу використовується металева сітка, яка фактично перетворює зовнішню штукатурку в тонкостінний аналог залізобетону. Така конструкція, безумовно є більш міцною для зовнішніх механічних впливів та дозволяє використовувати важкі елементи оздоблення фасаду. Але вона потребує застосування анкерних кріплень металевої сітки до базової стіни. Це призводить до утворення "мостиків холоду" через шари утеплювача, що помітно знижує теплові характеристики бідівлі.

Базовий армуючий склад є айбільш важливою частиною системи утеплення за даною технологією.

Армуючий шар визначає основні фізико-механічні характеристики теплоізоляційної системи. Віє являє собою основну захисну оболонку для шалів теплоізоляції.

Армуючий шар повинен мати наступні властивості:

- мати гарну адгезією до утеплювача;
- мати високу еластичність;
- мати ударну міцність,
- мати низьку усадку,
- мати добру паропроникність
- мати низьке водопоглинання.

Слід зазначити, що для забезпечення максимального влаговидалення з огороджувальної конструкції потрібно виконувати наступне правило: паропроникливість шарів "пірога" повинна зростати з середени на зовні.

2.2. Система утеплення будівель та споруд на основі «вентильованого фасаду»

Технологія «вентильованого фасаду» представляє собою багатошарову конструкцією, що складається з несучої стіни, шару теплоізоляції, повітряного зазору і зовнішнього облицювання (рис. 2.2). Особливістю технології є наявність вентиляційного шару між утеплювачем та зовнішнім

облицюванням. Цей шар забезпечує вертикальне переміщення повітря, з метою вилучення надмірної кількості вологи шляхо виведення її назовні, що запобігає утворенню конденсату.



Рисунок 2.2 – Структура " вентильованого фасаду " [40]

У створенні теплоізоляційного шару застосовується мінеральна вата, спінений пінополістирол. Він забезпечує захист будівлі від впливу низьких температур взимку та високих влітку. Це значно знижує витрати як на опалення, так і на кондиціювання. Зовнішнє облицювання захищає утеплювач від механічних пошкоджень, вітру, снігу та дощу. Також воно надає будівлі естетичного вигляду. Система дозволяє значно зменшити тепловтрати, для регіонів з холодним кліматом. Технологія стійка до впливу ультрафіолету, що зберігаючує задані характеристики протягом декількох десятиліть. Завдяки вентиляції у повітряному зазору, конденсат не накопичується всередині конструкції. Це перешкоджає корозії металів та

гниття. В якості обліцовочних матеріалів використовують: керамограніт, метал, композитні матеріали та натуральний камінь. Це дозволяє реалізовувати різноманітні архітектурні рішення.

Але дана технологія має і певні недоліки та обмеження. До них слід віднести високу трудоємність монтажу та високу вартість матеріалів. Крім того, це необхідність у регулярнома обслуговуванню. Зовнішнє облицювання має регулярно перевірятися на предмет пошкоджень та забруднень, для забезпечення естетичного та функціонального стану.

2.3 Матеріали для технологій утеплення будівель та споруд

В якості утеплювача використовуються три види матеріалов: мінеральна вата (рис. 2.3), спінений пінополістирол (рис. 2.4) та екструдований пінополістирол (рис. 2.5).



Рисунок 2.3 – Мінеральна вата. Загальній вигляд матеріалу [35]



Рисунок 2.4 – Спінений пінополістирол. Загальній вигляд матеріалу [36]

Застосування пінополістиролу обох видів обмежується з причини дуже великої пожежної небезпеки.



Рисунок 2.5 – Екструдований пінополістирол. Загальній вигляд матеріалу [37]

Тому ці матеріали не можуть бути використані при термомодернізації таких відповідальних об'єктів як дитячі садки, школи, лікарні.

Особливо небезпечні такі матеріали для утеплення багатоповерхівок. В них можуть утворюватися, при прогорянні, довгі повітряні канали з високою тягою, що значно сприяє розповсюджування вогню у вертикальному напряму. З цього приводу, задля зменшення ризику, обов'язкове використання мінеральної вати на віконних та дверних пройомах, для переривання каналу розповсюдження вогню.

Екструдований пінополістирол має дуже низьку паропроникливість, тому його використання обмежено з причини того, що ця його властивість утворює бар'єр для виходу вологи із стіни назовні.

Це призводить до неприпустимого влагонакопичення на границі кам'яної кладки або бетону та шару утеплювача. Для запобіганню цього явища потрібне використання додаткової пароізоляції всередині приміщення за допомогою пароізоляційноїплівки (рис. 2.6).



Рисунок 2.6 – Пароізоляційна плівка. Загальній вигляд матеріалу [39]

Обмежень з причини пожежної небезпеки не мають технології утеплення на основі мінеральної вати. Але для утеплення стін потрібно використовувати види мінеральної вати, що мають високу щільність для забезпечення необхідної міцності шару утеплювача. Також можна застосувати подвійний шар утеплювача, що складається з внутрішнього шару мінеральної вати з низькою щільністю та зовнішнього шару мінеральної вати з високою щільністю, для забезпечення міцьності.

Армуюча сітками (рис. 2.7), виконується зі скляного волокна, що обробляється полімерними складами для надання їй лугостійкості.

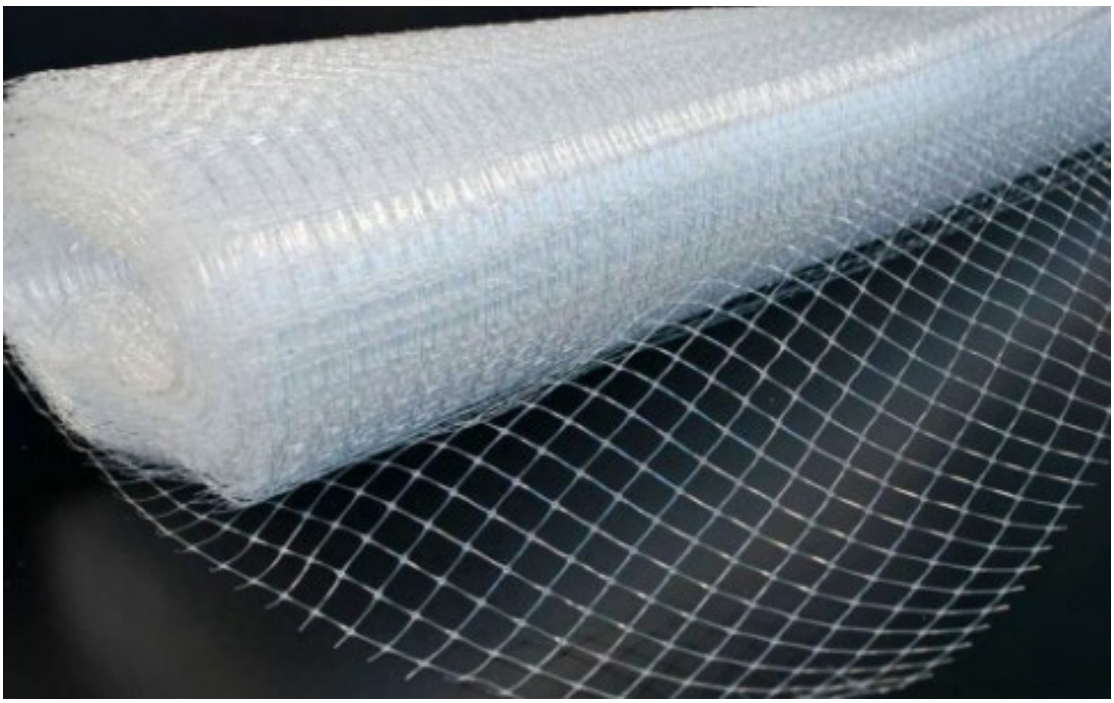


Рисунок 2.7 – Армуюча сітка. Загальній вигляд [38]

2.4. Висновки по розділу

1. Зроблено аналіз недоліків та переваг внутрішнього та зовнішнього утеплення будівель та споруд.

2. Розглянуто структуру утеплення так званого "мокрого" типу. Наведено основні особливості застосування даної технології.

3. Наведено опис та основні властивості будівельних матеріалів, що використовуються при термомодернізації будівель та споруд.

3 АНАЛІЗ ВПЛИВУ ЗОВНІШНІХ ФАКТОРІВ НА ОПТИМАЛЬНІ ЗНАЧЕННЯ ТОВЩИНИ ТЕПЛОІЗОЛЮЮЧОГО ШАРУ ПРИ УТЕПЛЕННІ БУДИВЕЛЬ І СПОРУД

3.1 Основні співвідношення для визначення техніко-економічних показників термомодернізації

В якості критерію оптимальності технічних рішень щодо використання утеплювача приймається строк окупності термомодернізаційних заходів за рахунок зменшення споживання теплової енергії, і яка наслідок, витрат на опалення:

$$T_{окир} = \frac{K_{\Sigma}}{E} \quad , \tag{3.1}$$

де K_{Σ} – сумарні капітальні витрати на термомодернізацію,

E – економія за рахунок зменшення витрат на опалення.

Економія за рахунок зменшення витрат на опалення визначається як різниця витрат на опалення до та після модернізації:

$$E = C_{e.o} - C_{e.mod} \quad , \tag{3.2}$$

де $C_{e.o}$ – витрати на опалення до модернізації,

$C_{e.mod}$ – витрати на опалення після модернізації.

Витрат на опалення до та після модернізації визначаються за формулами (3.3) та (3.4):

$$C_{e.mod} = 0.001 \times P_{\sum.mod} \times CN_{te} \times t_{op.sez} \quad , \tag{3.3}$$

$$C_{e.o} = 0.001 \times P_{\sum.o} \times CN_{te} \times t_{op.sez} \quad , \tag{3.4}$$

де $P_{ok.o}$ – потужність тепловтрат через огороджувальні конструкції до термомодернізації,

CN_{te} – ціна енергії, що споживається на опалення, в грн,

$t_{op.sez}$ – термін дії опалювального сезону, в год,

Сумарні втрати теплової енергії після модернізації визначаються за формулою(3.5).

$$P_{\sum.mod} = P_{ok.mod} + P_{const} \quad , \tag{3.5}$$

де P_{const} – втрати теплової енергії крім втрат через огороджувальні конструкції.

Сумарні втрати теплової енергії до модернізації визначаються за формулою(3.6).

$$P_{\sum.o} = P_{ok.o} + P_{const} \quad , \tag{3.6}$$

Втрати теплової енергії після термомодернізації визначаються за формулою(3.7).

$$P_{ok.mod} = \frac{(T_{ins} - T_{out}) \times S}{(\rho_o \times X_o + \rho_{ut} \times X_{ut})} \quad , \tag{3.7}$$

де T_{ins} – температура в середині приміщення,

T_{out} – температура зовні споруди,

ρ_o – питомий тепловий опір через базовий, існуючий шар огороджувальної конструкції, м·К^o/ Вт,

ρ_{ut} – питомий тепловий опір через шар утеплювача, у м·К^o/ Вт,

X_o – товщина базової стіни, у м,

X_{ut} – товщина утеплювача, у м,

S – сумарна площа огороджувальної конструкції, у м^2.

Втрати теплової енергії до термомодернізації визначаються за формулою(3.8).

$$P_{ok.o} = \frac{(T_{ins} - T_{out}) \times S}{\rho_o \times X_o} \quad , \tag{3.8}$$

Сумарні капітальні витрати на термомодернізацію визначаються за формулою (3.9).

$$K_{\sum} = K_{ut} + K_{const} \quad , \tag{3.9}$$

де K_{ut} – капітальні витрати на утеплювач, у грн,

K_{const} – інші капітальні витрати крім витрат на утеплювач, у грн.

Капітальні витрати на утеплювач визначаються за формулою (3.10).

$$K_{ut} = V_{ut} \times CN_{ut} \quad , \tag{3.10}$$

де V_{ut} – сумарний об'єм використаного утеплювача, у м^3,

CN_{ut} – ціна утеплювача, у грн/м^3.

Сумарний об'єм використаного утеплювача визначаються за формулою (3.11).

$$V_{ut} = S \times X_{ut} \quad . \tag{3.11}$$

Питомий тепловий опір через базовий, існуючий шар огороджувальної конструкції визначаються за формулою (3.12).

$$\rho_o = \frac{1}{\aleph_o} \quad , \tag{3.12}$$

де $\aleph_o$ – коефіцієнт теплопровідності матеріалу базової стіни, у Вт/м·К°.

Питомий тепловий опір через утеплювач визначаються за формулою (3.13).

$$\rho_{ut} = \frac{1}{\aleph_{ut}} \quad , \tag{3.13}$$

де $\aleph_{ut}$ – коефіцієнт теплопровідності матеріалу утеплювача, у Вт/м·К°.

3.2. Приклад розрахунку критерію оптимальності товщини шару утеплювача

В підрозділі наведено приклад розрахунку на ПЕВМ залежності терміну окупності від товщини шару утеплювача. Товщина шару утеплювача задається у діапазоні значень від 10 до 150 мм.

Розразунок терміну окупності термомодернізації огороджувальної конструкції

Дано:

Розміри огороджувальної конструкції (м)	A := 10 B := 10 H := 3
Коефіцієнт теплопровідності матеріалу базоаої стіни (Вт/м*К)	χ_o := 0.7
Коефіцієнт теплопровідності матеріалу утеплювача (Вт/м*К)	χ_ut := 0.038
Товшина базової стіни ,м	X_o := 0.5
Ціна теплової енергії, грн/кВт*год	CN_te := 4.32
Ціна утеплювача, грн/м куб	CN_ut := 1410
Температура зовні, град С	T_out := −20
Температура всередені, град С	T_ins := 20
Капітальні витрати, постійні, грн	K_const := 30000
Термін опалевального періоду, год	t_op_sez := 4320
Постійні втрати теплової енергії	P_const := 1000

Розрахунок

i := 0.. 15

Товшина шару утеплювача $X_ut_i := 0.01 \cdot (i + 1)$

Питомий температурний опір матеріалу базової стіни $\rho_o := \frac{1}{\chi_o} = 1.429$

Питомий температурний опір матеріалу утеплювача $\rho_ut := \frac{1}{\chi_ut} = 26.316$

Площа огороджувальної конструкції, м кв

$S := (2 \cdot A + 2 \cdot B) \cdot H = 120$

Загальний об єм утеплювача, м куб

$V_ut := S \cdot X_ut =$

	0
0	1.2
1	2.4
2	3.6
3	4.8
4	6
5	7.2
6	8.4
7	9.6
8	10.8
9	12
10	13.2
11	14.4
12	15.6
13	16.8
14	18
15	19.2

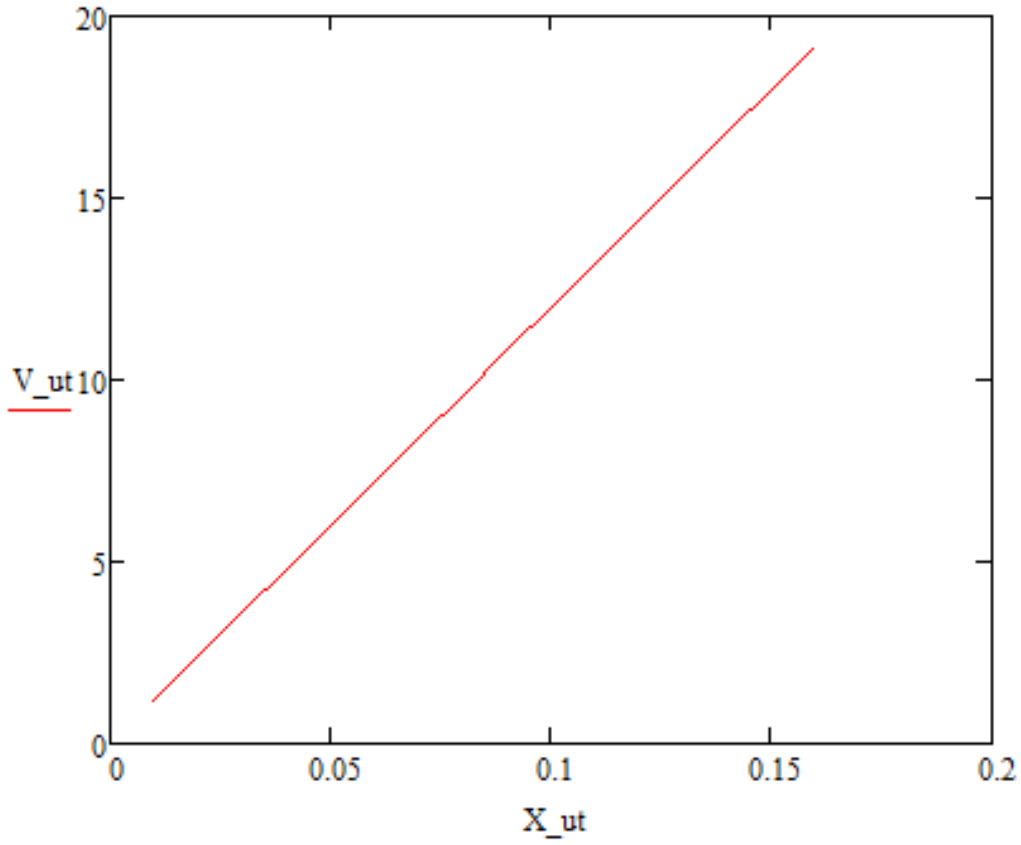


Рисунок 3.1 – Залежність об'єму утеплювача від товщини утеплювача

Капітальні витрати на утеплювач, грн

$K_ut := V_ut \cdot CN_ut =$

	0
0	$1.692 \cdot 10^3$
1	$3.384 \cdot 10^3$
2	$5.076 \cdot 10^3$
3	$6.768 \cdot 10^3$
4	$8.46 \cdot 10^3$
5	$1.015 \cdot 10^4$
6	$1.184 \cdot 10^4$
7	$1.354 \cdot 10^4$
8	$1.523 \cdot 10^4$
9	$1.692 \cdot 10^4$
10	$1.861 \cdot 10^4$
11	$2.03 \cdot 10^4$
12	$2.2 \cdot 10^4$
13	$2.369 \cdot 10^4$
14	$2.538 \cdot 10^4$
15	$2.707 \cdot 10^4$

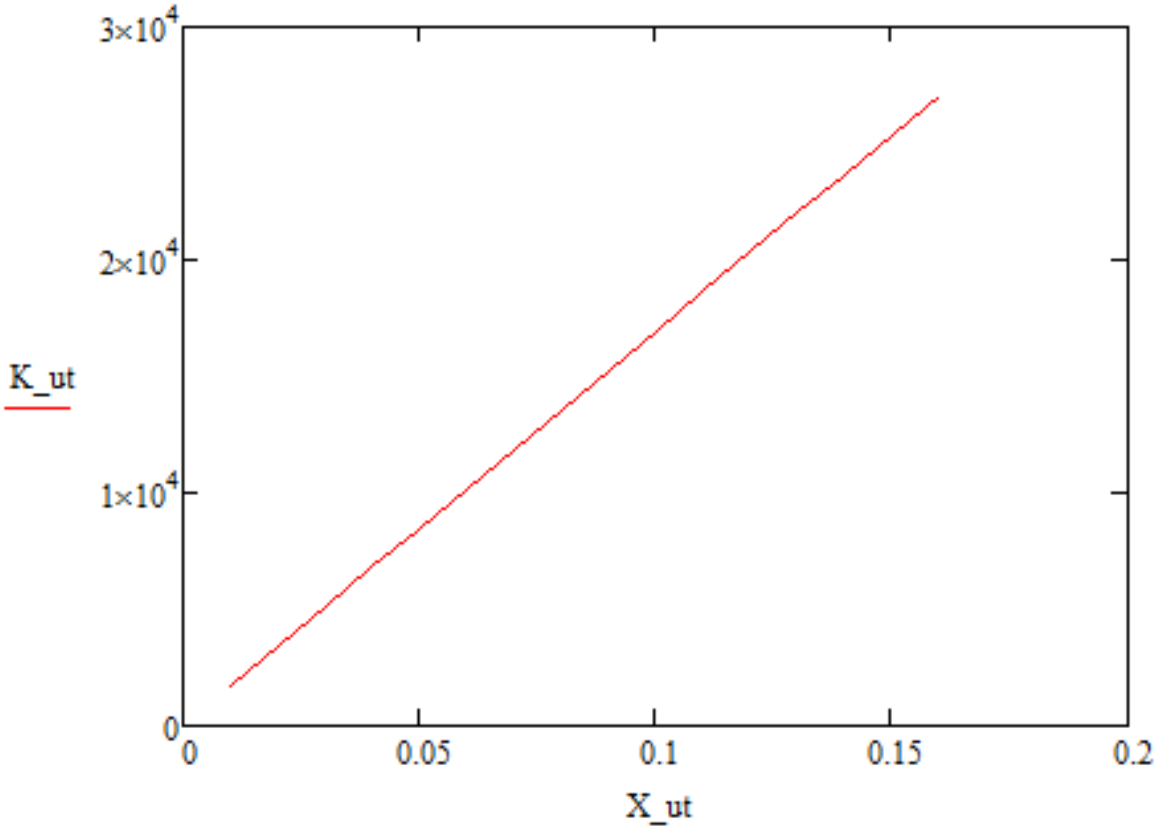


Рисунок 3.2 – Залежність капітальних витрат на утеплювач від товщини утеплювача

Загальні капітальні втрати на термомодернізацію, грн

$K_\Sigma := K_ut + K_const =$

	0
0	$3.169 \cdot 10^4$
1	$3.338 \cdot 10^4$
2	$3.508 \cdot 10^4$
3	$3.677 \cdot 10^4$
4	$3.846 \cdot 10^4$
5	$4.015 \cdot 10^4$
6	$4.184 \cdot 10^4$
7	$4.354 \cdot 10^4$
8	$4.523 \cdot 10^4$
9	$4.692 \cdot 10^4$
10	$4.861 \cdot 10^4$
11	$5.03 \cdot 10^4$
12	$5.2 \cdot 10^4$
13	$5.369 \cdot 10^4$
14	$5.538 \cdot 10^4$
15	$5.707 \cdot 10^4$

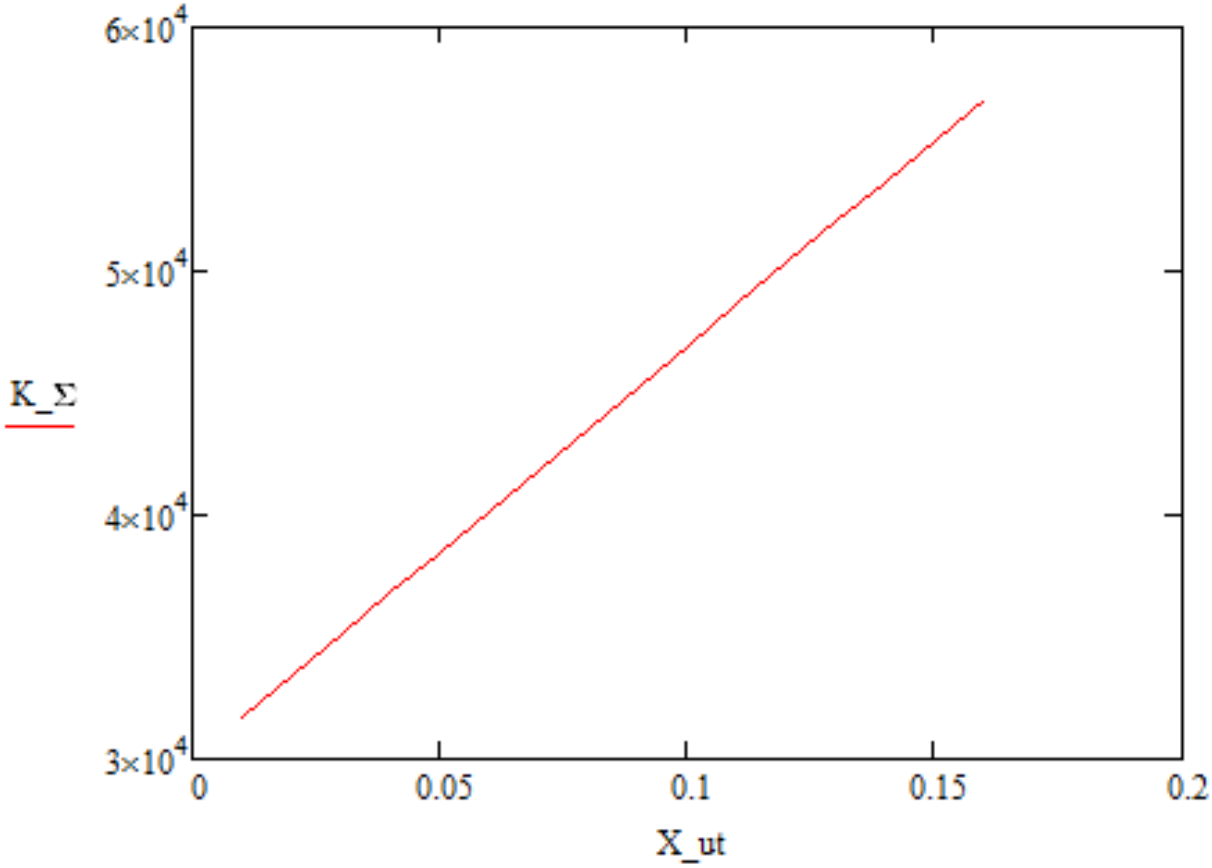


Рисунок 3.3 – Залежність загальних капітальних витрат від товщини утеплювача

Потужність теплових втрат через огороджувальні конструкції до термомодернізації, Вт

$$P_ok_o := \frac{(T_ins - T_out)\cdot S}{\rho_o\cdot X_o} = 6.72 \times 10^3$$

Потужність теплових втрат через огороджувальні конструкції після термомодернізації, Вт

$$P_ok_mod := \frac{(T_ins - T_out)\cdot S}{(\rho_o\cdot X_o + \rho_ut\cdot X_ut)} =$$

	0
0	$4.911\cdot10^3$
1	$3.869\cdot10^3$
2	$3.192\cdot10^3$
3	$2.717\cdot10^3$
4	$2.364\cdot10^3$
5	$2.093\cdot10^3$
6	$1.878\cdot10^3$
7	$1.702\cdot10^3$
8	$1.557\cdot10^3$
9	$1.435\cdot10^3$
10	$1.33\cdot10^3$
11	$1.24\cdot10^3$
12	$1.161\cdot10^3$
13	$1.091\cdot10^3$
14	$1.03\cdot10^3$
15	974.656

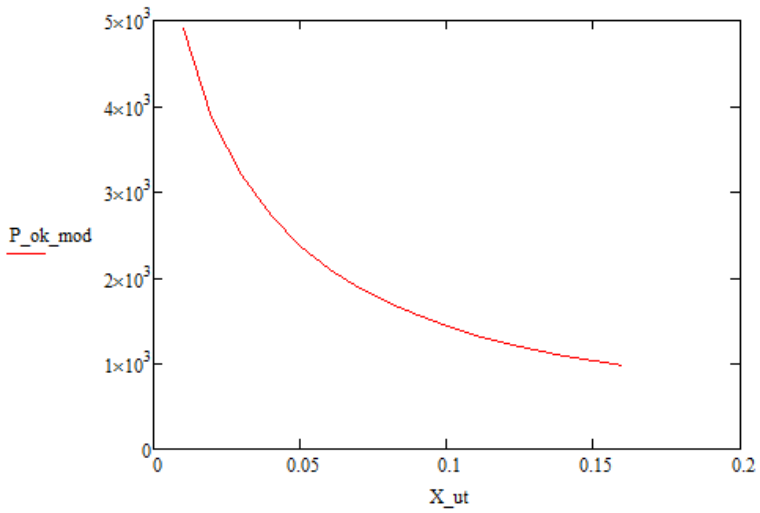


Рисунок 3.4 – Залежність тепловтрат через огороджувальну конструкцію після термомодернізації від товщини утеплювача

Загальні теплові втрати до термомодернізації, Вт

$P_\Sigma_o := P_ok_o + P_const = 7.72 \times 10^3$

Загальні теплові втрати після термомодернізації, Вт

$P_\Sigma_mod := P_ok_mod + P_const =$

	0
0	$5.911 \cdot 10^3$
1	$4.869 \cdot 10^3$
2	$4.192 \cdot 10^3$
3	$3.717 \cdot 10^3$
4	$3.364 \cdot 10^3$
5	$3.093 \cdot 10^3$
6	$2.878 \cdot 10^3$
7	$2.702 \cdot 10^3$
8	$2.557 \cdot 10^3$
9	$2.435 \cdot 10^3$
10	$2.33 \cdot 10^3$
11	$2.24 \cdot 10^3$
12	$2.161 \cdot 10^3$
13	$2.091 \cdot 10^3$
14	$2.03 \cdot 10^3$
15	$1.975 \cdot 10^3$

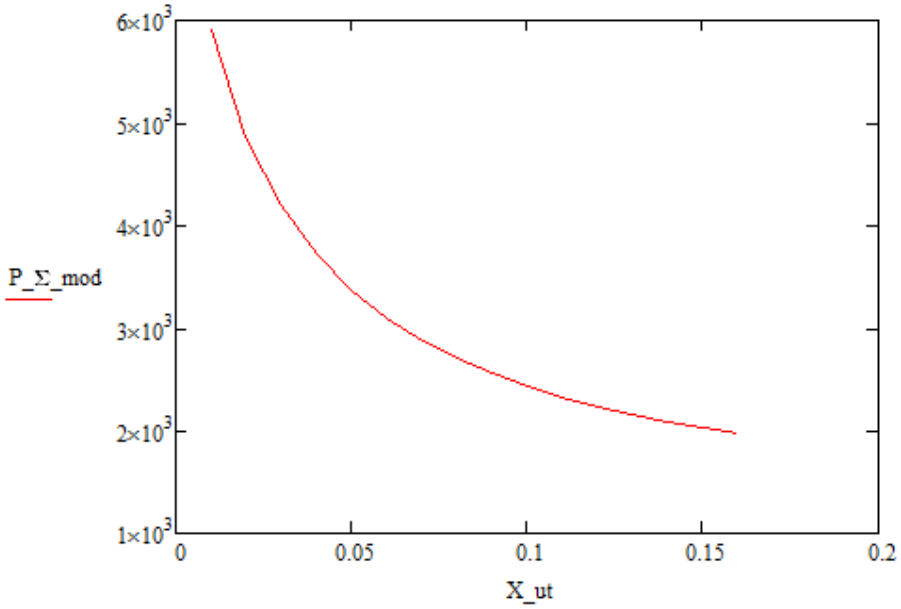


Рисунок 3.5 – Залежність загальних тепловтрат після термомодернізації від товщини утеплювача

Витрати на опалення до термомодернізації, грн/рік

$C_e_o := 0.001 \cdot P_\Sigma_o \cdot CN_te \cdot t_op_sez = 1.441 \times 10^5$

Витрати на опалення після термомодернізації, грн/рік

$C_e_mod := 0.001 P_\Sigma_mod \cdot CN_te \cdot t_op_sez =$

	0
0	$1.103 \cdot 10^5$
1	$9.087 \cdot 10^4$
2	$7.823 \cdot 10^4$
3	$6.936 \cdot 10^4$
4	$6.279 \cdot 10^4$
5	$5.772 \cdot 10^4$
6	$5.37 \cdot 10^4$
7	$5.043 \cdot 10^4$
8	$4.772 \cdot 10^4$
9	$4.544 \cdot 10^4$
10	$4.348 \cdot 10^4$
11	$4.18 \cdot 10^4$
12	$4.032 \cdot 10^4$
13	$3.903 \cdot 10^4$
14	$3.788 \cdot 10^4$
15	$3.685 \cdot 10^4$

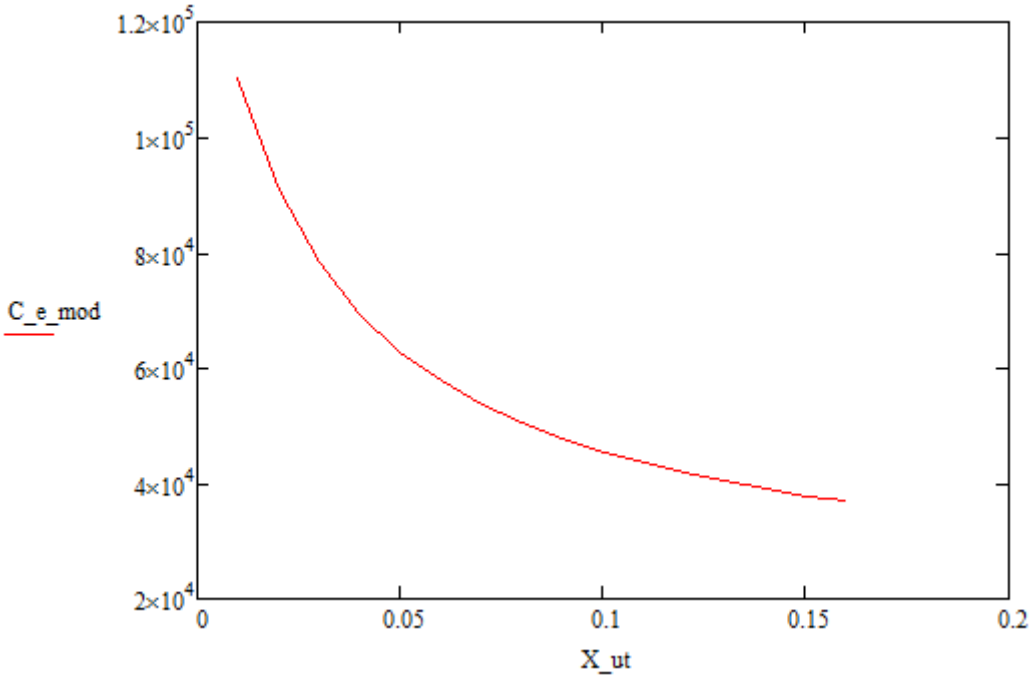


Рисунок 3.6 – Залежність витрат на опалення після термомодернізації від товщини утеплювача

Економія за рахунок зменшення ситрат на опалення, грн/рік

$E := C_e_o - C_e_mod =$

	0
0	$3.376 \cdot 10^4$
1	$5.32 \cdot 10^4$
2	$6.584 \cdot 10^4$
3	$7.471 \cdot 10^4$
4	$8.129 \cdot 10^4$
5	$8.635 \cdot 10^4$
6	$9.037 \cdot 10^4$
7	$9.364 \cdot 10^4$
8	$9.635 \cdot 10^4$
9	$9.864 \cdot 10^4$
10	$1.006 \cdot 10^5$
11	$1.023 \cdot 10^5$
12	$1.037 \cdot 10^5$
13	$1.05 \cdot 10^5$
14	$1.062 \cdot 10^5$
15	$1.072 \cdot 10^5$

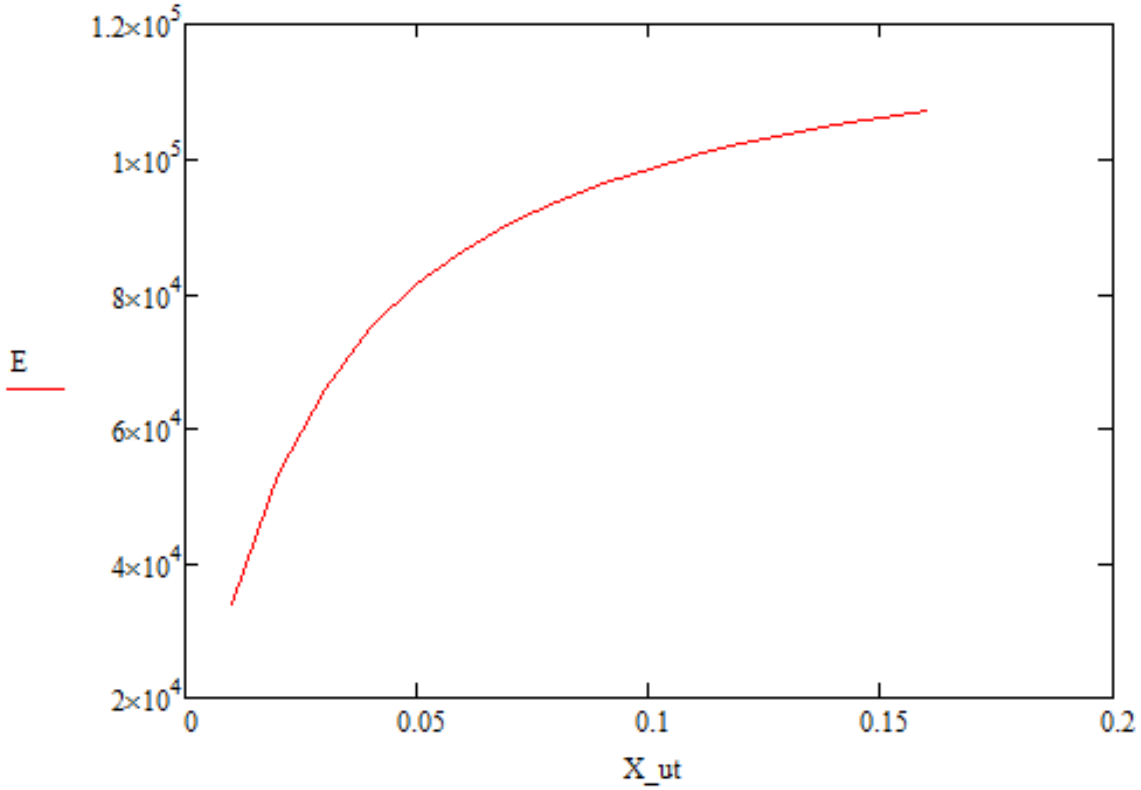


Рисунок 3.7 – Залежність економії після термомодернізації від товщини утеплювача

Залежність терміну окупности, в роках, від товшнини шару утеплювача, в м

$$T_okup := \frac{K_\Sigma}{E + 0.0000001} =$$

	0
0	0.939
1	0.627
2	0.533
3	0.492
4	0.473
5	0.465
6	0.463
7	0.465
8	0.469
9	0.476
10	0.483
11	0.492
12	0.501
13	0.511
14	0.521
15	0.532

$X_ut_i =$

0.01
0.02
0.03
0.04
0.05
0.06
0.07
0.08
0.09
0.1
0.11
0.12
0.13
0.14
0.15
0.16

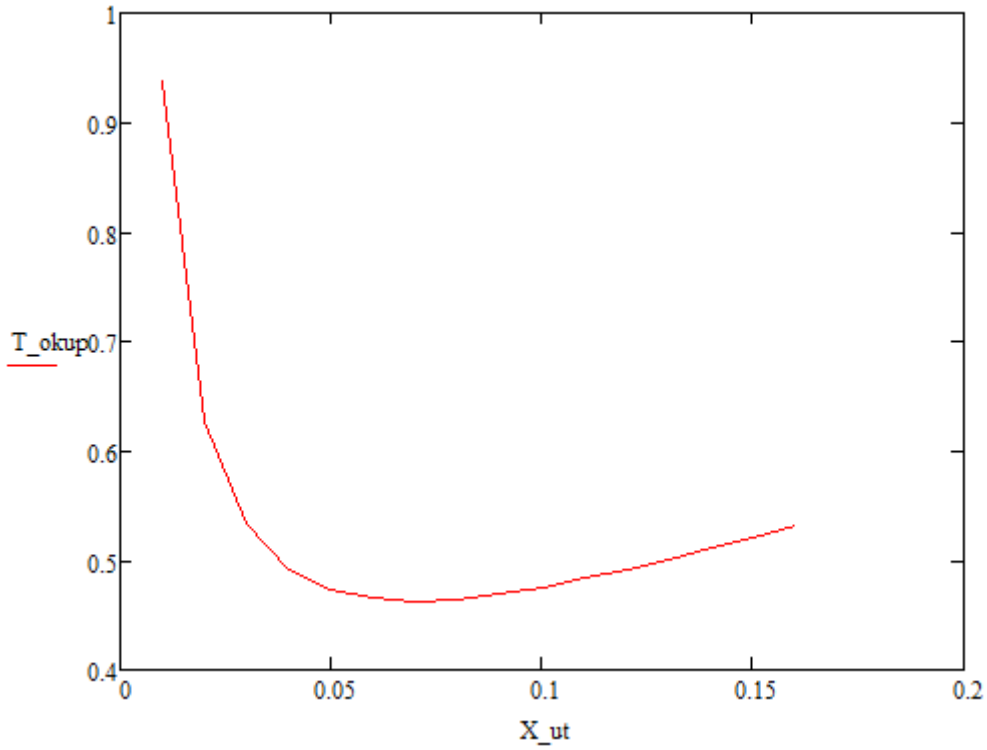


Рисунок 3.8 – Залежність строку окупності від товщини утеплювача

3.3 Дослідження впливу середньої температури на оптимальні значення товщини шару утеплювача

За допомогою наведеної у п.п. 3.1 та 3.2 методики розрахунку критерію оптимальності проведемо аналіз впливу зовнішньої температури повітря на строк окупності термомодернізації будівлі шляхом створення утеплюючого шару. На рисунку 3.9 наведено результати розрахунку залежності терміну окупності від товщини шару утеплювача при різних значеннях температури зовнішнього повітря.

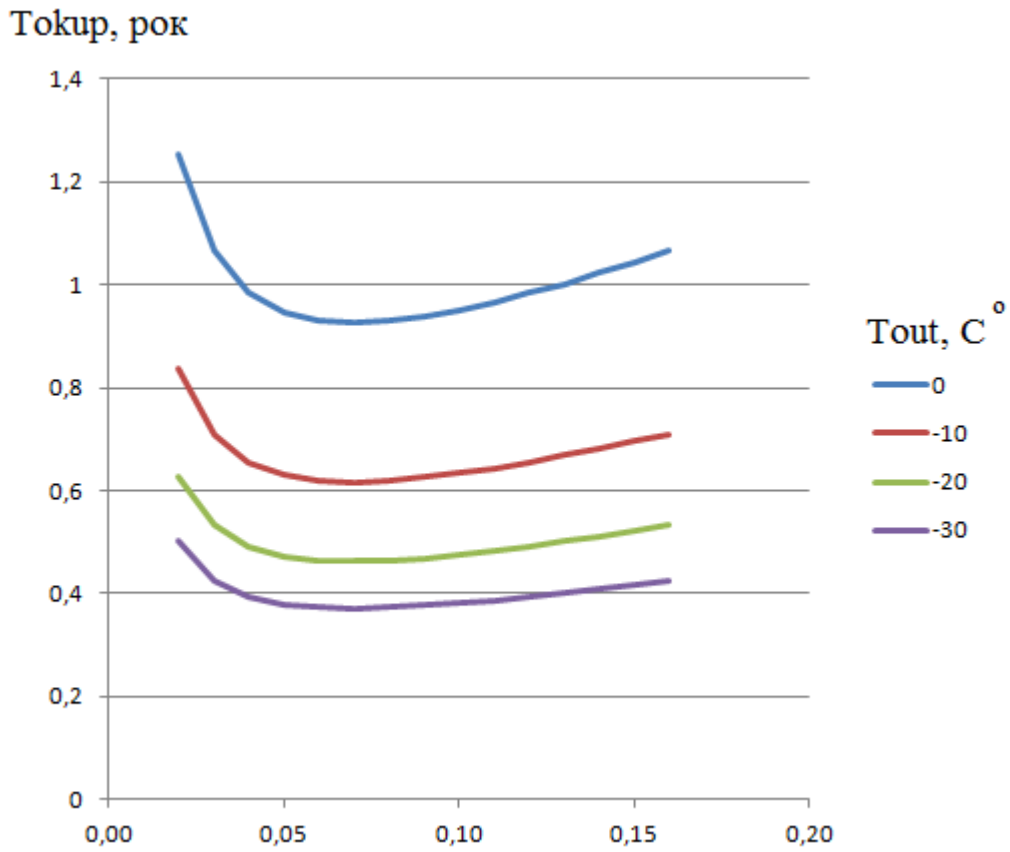


Рисунок 3.9 – Залежності терміну окупності від товщини шару утеплювача при різних значеннях температури зовнішнього повітря

Як видно із графіків значення мінімум критерію суттєво не залежить від зовнішньої температури. Це можна пояснити наявністю компенсуючіх впливі з боку, як зниження витрат на опалення, так і збільшення капітальних витрат.

3.4 Дослідження впливу вартості утеплювача на оптимальні значення товщини шару утеплювача

За допомогою наведеної у п.п. 3.1 та 3.2 методики розрахунку критерію оптимальності проведемо аналіз впливу вартості утеплювача на строк окупності термомодернізації будівлі шляхом створення утеплюючого шару. На рисунку 3.10 наведено результати розрахунку залежності терміну окупності від товщини шару утеплювача при різних значеннях температури зовнішнього повітря.

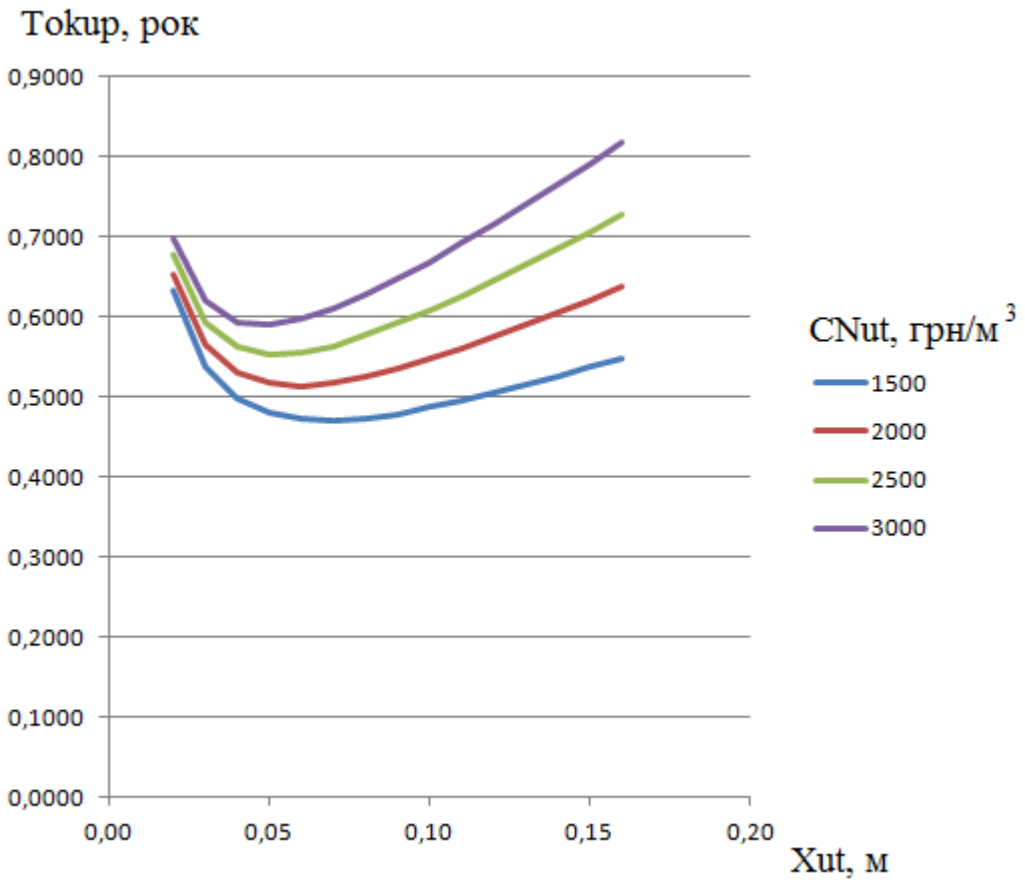


Рисунок 3.10 – Залежності терміну окупності від товщини шару утеплювача при різних значеннях вартості утеплювача

Як видно із графіків значення мінімум критерію суттєво залежить від ціни утеплювача за кубічний метр. мінімум помітно зсувається зі збільшенням ціни. Причому залежність мінімального значення товщини утеплювача має спадаючий лінійних характер залежності від вартості утеплювача (рис. 3.11).

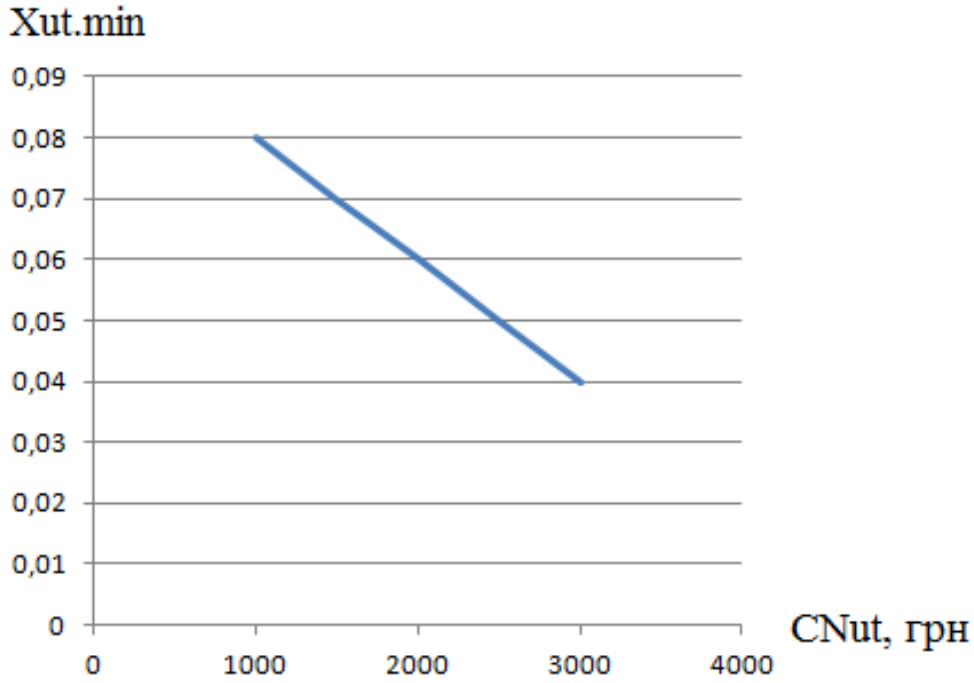


Рисунок 3.11 – Залежності мінімального значення товщини шару утеплювача від вартості утеплювача

3.5 Дослідження впливу площі внутрішніх приміщень на оптимальні значення товщини шару утеплювача

За допомогою наведеної у п.п. 3.1 та 3.2 методики розрахунку критерію оптимальності проведемо аналіз впливу площі внутрішніх приміщень одноповерхової будівлі на строк окупності термомодернізації шляхом створення утеплюючого шару. На рисунку 3.12 наведено результати розрахунку залежності терміну окупності від товщини шару утеплювача при різних значеннях площі внутрішніх приміщень.

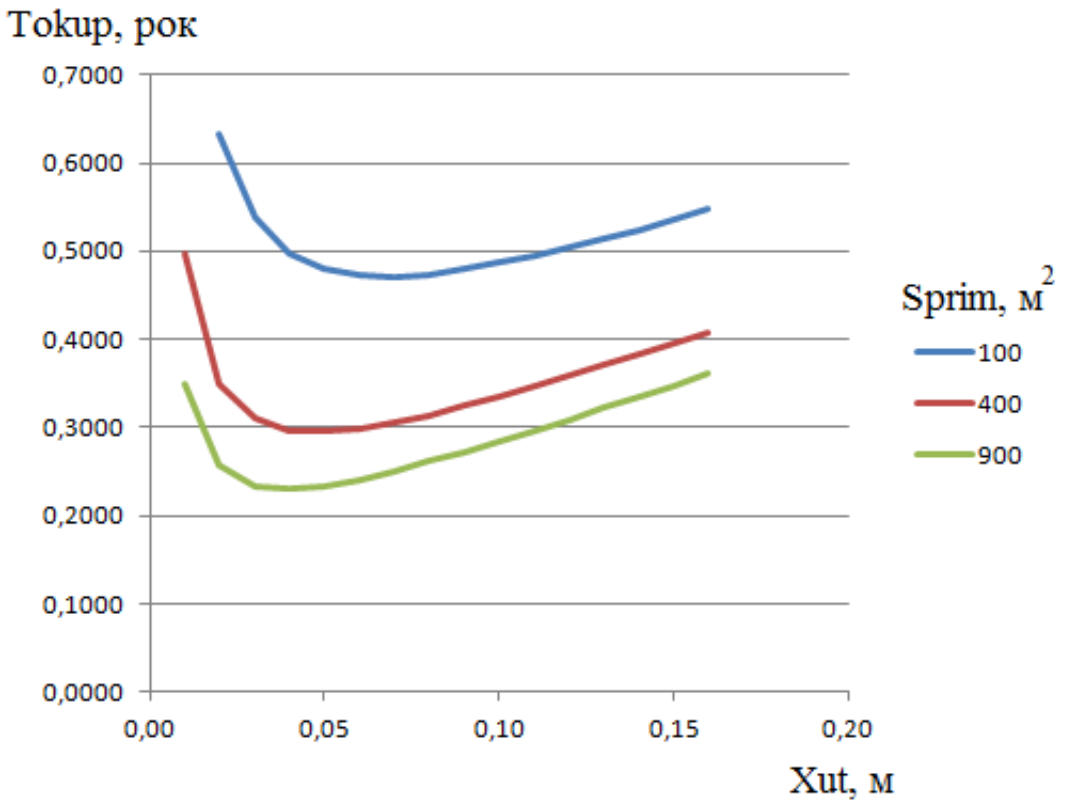


Рисунок 3.12 – Залежності терміну окупності від товщини шару утеплювача при різних значеннях площі внутрішніх приміщень

Як видно із графіків значення мінімум критерію суттєво залежить від площі внутрішніх приміщень. Мінімум помітно зсувається вліво зі збільшенням площі. Причому залежність мінімального значення товщини утеплювача має спадаючий нелінійних характер залежності від площі внутрішніх приміщень (рис. 3.13).

Пояснити такий характер залежності можна наявністю нелінійної залежності площі огороджувальної конструкції від площі внутрішніх приміщень. На характер даної залежності також суттєво впливає пропорції будівлі. В наведеному розрахунковому аналізі пропорції між сторонами будівлі дорівнювали одиниці.

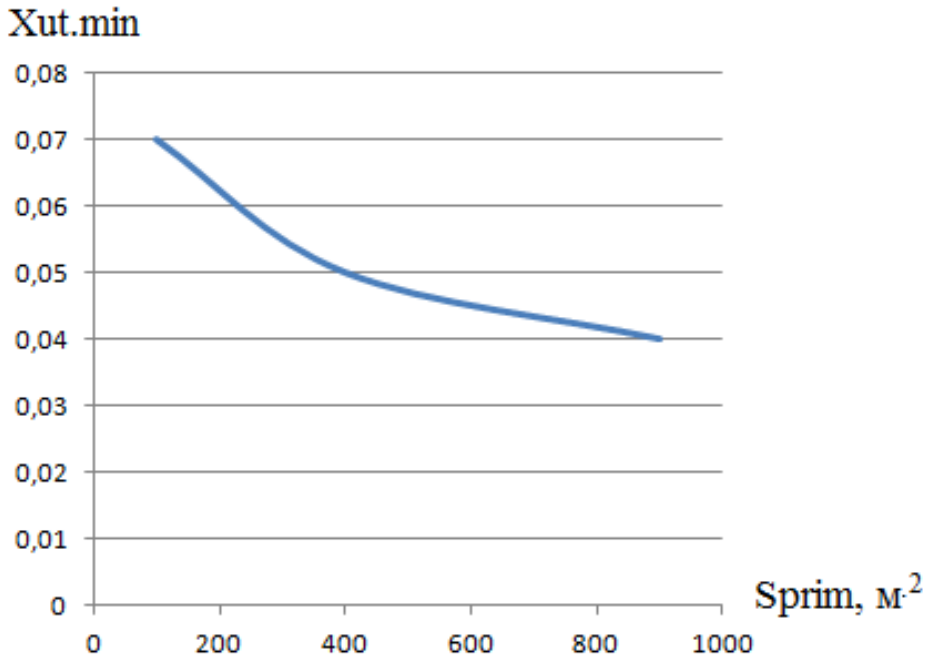


Рисунок 3.13 – Залежності мінімального значення товщини шару утеплювача від площі внутрішніх приміщень

3.6. Висновки по розділу

1. Наведено основні співвідношення для визначення техніко-економічних показників термомодернізації. В якості критерію оптимального вибору прийнято строк окупності заходів по термомодернізації.

2. Наведено приклад розрахунку критерію оптимальності для одноповерхового будинку з утепленням по технології "мокрого" фасаду.

3. За допомогою запропонованої методики оцінки ефективності зроблено аналіз впливу температури зовнішнього повітря, вартості матеріалу утеплювача та площі внутрішніх приміщень будівлі на оптимальні значення товщини утеплювача.

4. СИНТЕЗ МОДЕЛІ ТЕПЛОПЕРЕДАЧІ ЧЕРЕЗ ОГОРОДЖУВАЛЬНІ КОНСТРУКЦІЇ

Узагальнена схема моделі теплопередачі зображена на рисунку 4.1.

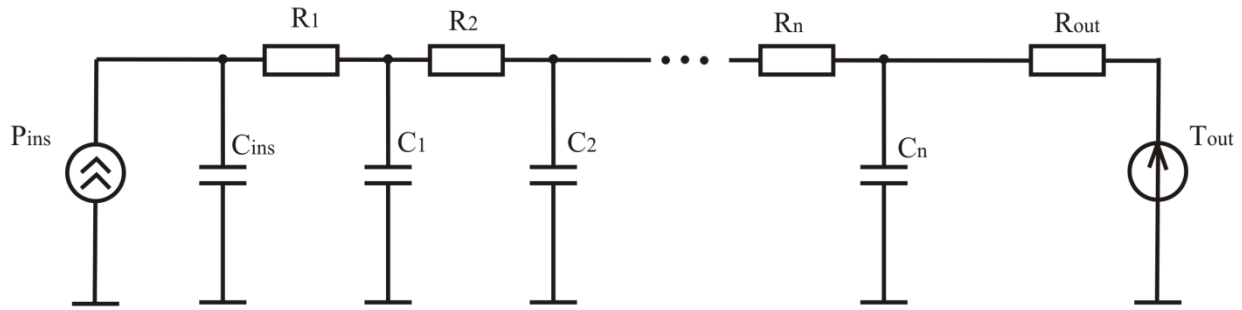


Рисунок 4.1 - Схема моделі теплопередачі

На рисунку позначені:

P_{ins} – потужність сумарного джерела теплової енергії внутрішніх приміщень споруди;

C_{ins} – теплоємність внутрішніх приміщень споруди;

T_{ins} – температура внутрішніх приміщень споруди;

R_{out} – температурний опір – "зовнішній шар огороджувальної конструкції – зовнішнє середовище;

$R_{\text{i}}\ (i = 1 \ldots n)$ – температурний опір i - го шару огороджувальних конструкцій;

$C_{\text{i}}\ (i = 1 \ldots n)$ – теплоємність i - го шару огороджувальних конструкцій;

$T_{\text{i}}\ (i = 1 \ldots n)$ – температура i - го шару огороджувальних конструкцій;

З метою уніфікації моделі системи теплопередачі введемо такі стандартизовані структурні елементи, що являють собою ланки послідовного тракту теплопередачі:

- ланка внутрішнього простору приміщення;

- ланка шару теплоогороджувальної конструкції;

- ланка навколишнього середовища.

Кожна ланка є моделлю підсистеми загального тракту теплопередачі. Для синтезу моделі ланок використовується метод візуально-блочного моделювання (ВБМ). Метод призначений для здійснення синтезу складних мультидисциплінарних енергетичних систем. Приклад застосування для енергетичних систем наведено у [1]. Застосування даного методу для синтезу динамічних моделей теплопередачі здійснюється вперше в даній роботі.

Для відображення елементу ВБМ використовуємо наступне умовне позначення (рис. 4.2).

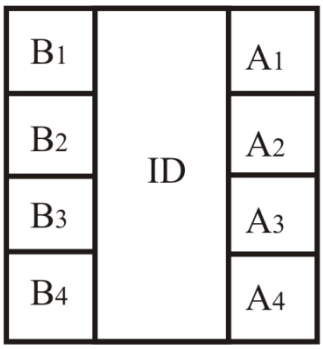


Рисунок 4.2 - Умовне позначення елементу ВБМ

На рисунку 4.2 використані наступні позначення: B_i – ідентифікатори параметрів підсистеми, що являють собою входи у сенсі причино-наслідкових зв'язків (тобто – причини); A_i – ідентифікатори параметрів підсистеми, що являють собою виходи у сенсі причино-наслідкових зв'язків (тобто – слідства).

Входи та виходи в сенсі напряму енергетичних потоків позначаються індексвми: "+" та "-", відповідно.

Приклад моделі у формі ВБМ для каналу теплопередачі приклад (рис. 4.1) наведено на рисунку 4.3.

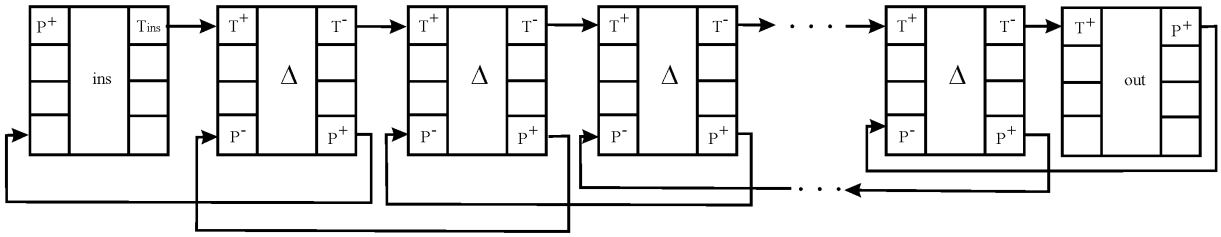


Рисунок 4.3 – ВБМ-модель тепловтрат через огороджувальну конструкцію

4.1. Синтез моделі ланки "внутрішній простір приміщень"

Відповідно до рисунку 3.1 виокремлена ланка внутрішнього простору приміщень споруди має вигляд (рис. 4.4).

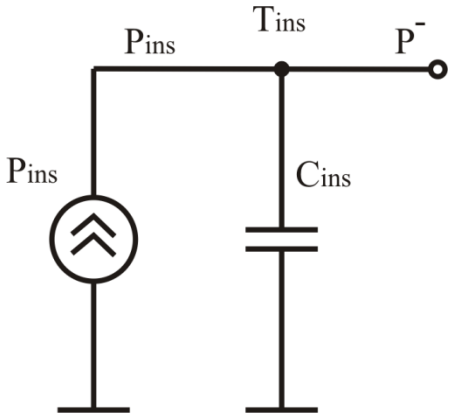


Рисунок 4.4 - Схема моделі ланки «внутрішній простір приміщень»

Диференційне рівняння ланки має наступний вигляд:

$$C_{ins}\frac{dT_{ins}}{dt} = P_{ins} - P^{-} \quad (4.1)$$

де P_{ins} - потужність сумарного джерела тепла у приміщенні;

де P^{-}- потужність теплового потоку теплопередачі через внутрішню поверхню огороджувальної конструкції.

Потік джерела теплової енергії не залежить від температури всередині приміщень споруди та має наступну ват-градусну характеристику (рис. 4.5).

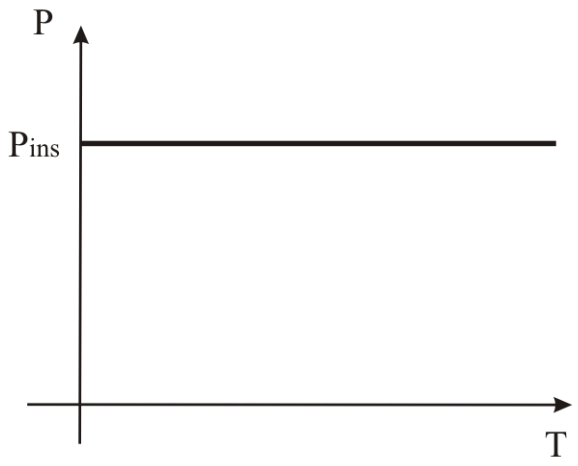


Рисунок 4.5 – Ват-градусна характеристика джерела теплової енергії

Рівняння (4.1) має диференційну форму. Для реалізації ВБМ потрібно перевести її у інтегральну форму.

$$C_{ins}\frac{dT_{ins}}{dt} = P_{ins} - P^{-}$$

$$\frac{dT_{ins}}{dt} = \frac{1}{C_{ins}}(P_{ins} - P^{-})$$

$$dT_{ins} = \frac{1}{C_{ins}}(P_{ins} - P^{-})dt$$

$$\int dT_{ins} = \frac{1}{C_{ins}}\int(P_{ins} - P^{-})dt$$

$$T_{ins}(t) = \frac{1}{C_{ins}}\int_0^t(P_{ins}(t) - P^{-}(t))dt + T_{ins}(0) \qquad (4.2)$$

Рівнянню (4.2) відповідає блок-схема моделі (рис. 4.6) та позначення елементу ВБМ (рис. 4.7).

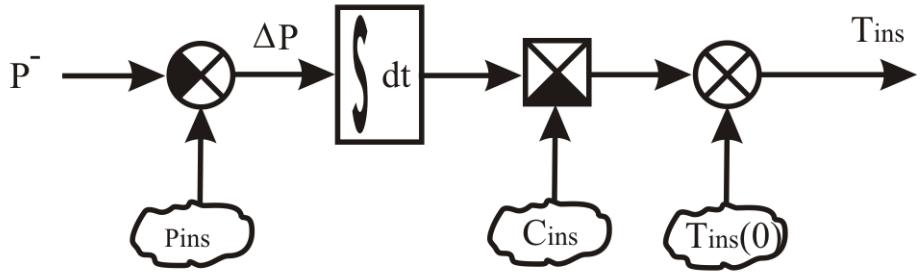


Рисунок 4.6 - Блок-схема моделі ланки «внутрішній простір приміщень»

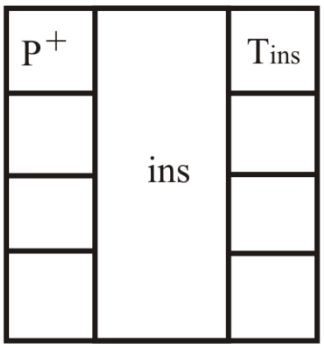


Рисунок 4.7 - Позначення елементу ВБМ ланки «внутрішній простір приміщень»

4.2 Синтез моделі ланки "шар огороджувальної конструкції"

Відповідно до рисунку 4.1 виокремлена ланка **шару огороджувальної конструкції** має вигляд (рис. 4.8).

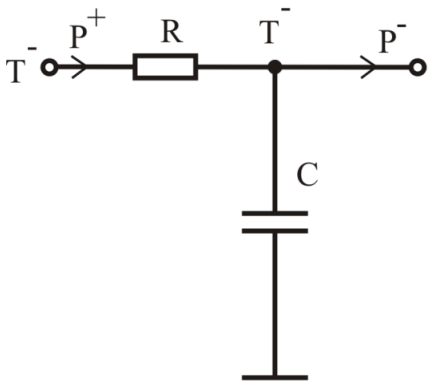


Рисунок 4.8 - Схема моделі ланки «шар огороджувальної конструкціїю»

Диференційне рівняння ланки має наступний вигляд:

$$C\frac{dT^-}{dt} = P^+ - P^- \tag{4.3}$$

Також:

$$P^+ = \frac{1}{R}(T^+ + T^-) \tag{4.4}$$

Таким чином, диференційне рівняння має вигляд:

$$C\frac{dT^-}{dt} = \frac{1}{R}(T^+ + T^-) - P^- \tag{4.5}$$

Представимо рівняння (3.5) у інтегральній формі:

$$\frac{dT^-}{dt} = \frac{1}{\mathrm{C}}(\frac{1}{R}(T^+ + T^-) - P^-)$$

$$dT^- = \frac{1}{\mathrm{C}}(\frac{1}{R}(T^+ + T^-) - P^-)dt$$

$$\int dT^- = \frac{1}{\mathrm{C}}\int(\frac{1}{R}(T^+ + T^-) - P^-)dt$$

$$T^-(t) = \frac{1}{\mathrm{C}}\int(\frac{1}{R}\left(T^+(t) + T^-(t)\right) - P^-(t))dt + T^-(0) \tag{4.6}$$

Рівнянню (4.6) відповідає блок-схема моделі (рис. 4.9) та позначення елементу ВБМ (рис. 4.10).

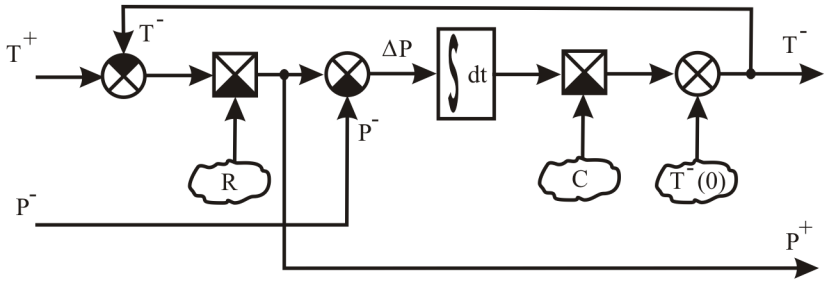


Рисунок 4.9 - Блок-схема моделі ланки «шар огороджувальної конструкції»

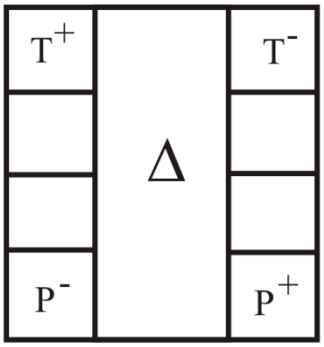


Рисунок 4.10 - Позначення елементу ВБМ ланки «шар огороджувальної конструкції»

4.3 Синтез моделі ланки "навколишнє середовище"

Відповідно до рисунку 4.1 виокремлена ланка навколишнє середовище має вигляд (рис. 4.11).

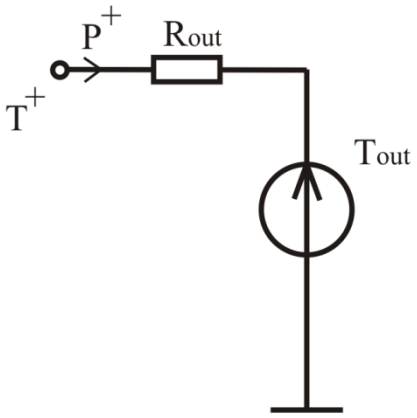


Рисунок 4.11 - Схема моделі ланки «навколишнє середовище»

Температура навколишнього середовища не залежить від потоку теплової потужності через огороджувальні конструкції споруди, тому Ват-градусна характеристика ланки має вигляд (рис. 4.12).

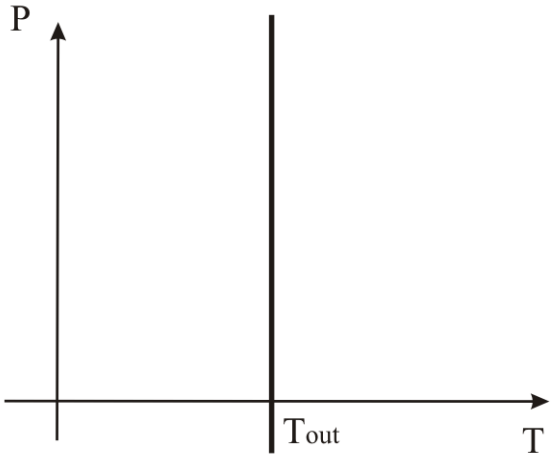


Рисунок 4.12 – Ват-градусна характеристика ланки "навколишнє середовище"

Алгебраїчне рівняння ланки має вигляд (4.7), що відповідає блок-схемі моделі (рис. 4.13) та позначення елементу ВБМ (рис. 4.14).

$$P^{+}(t) = \frac{1}{R_{out}}(T^{+} - T^{-}) \qquad (4.7)$$

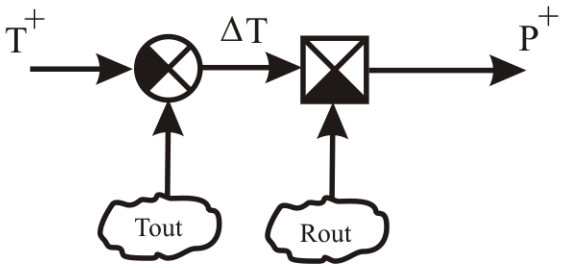


Рисунок 4.13 - Блок-схема моделі ланки «навколишнє середовище»

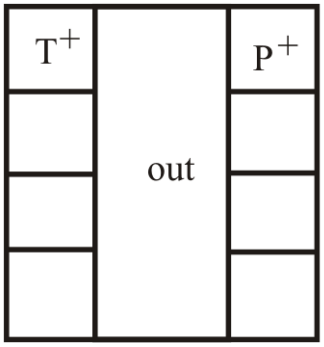


Рисунок 4.14 - Позначення елементу ВБМ ланки «навколишнє середовище»

4.4 Синтез моделі ланки "розподільника теплового потоку"

В загальному випадку споруда втрачає теплову енергію за кілька каналами:

- тепловтрати через стіни;
- тепловтрати через стелю;
- тепловтрати через підлогу;
- тепловтрати через вікна;
- тепловтрати через вентиляцію;
- інші втрати.

Тому загальна система тепловтрат має розгалужену структуру. Для відтворення у математичній моделі багатоканальності потрібно використання розподільного елементу. Розподільний елемент має наступний вигляд (4.8).

$$\begin{cases} T^{+} = T_1^{-} = T_2^{-} = T_3^{-} \\ P^{+} = P_1^{-} + P_2^{-} + P_3^{-} \end{cases} \tag{4.8}$$

Йому відповідає блок-схема моделі (рис. 4.15) та позначення елементу ВБМ (рис. 4.16).

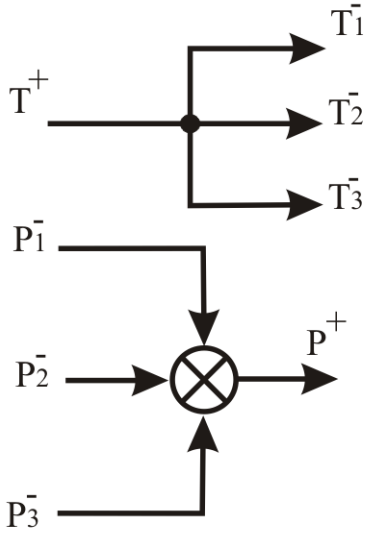


Рисунок 4.15 - Блок-схема моделі ланки «розподільника теплового потоку»

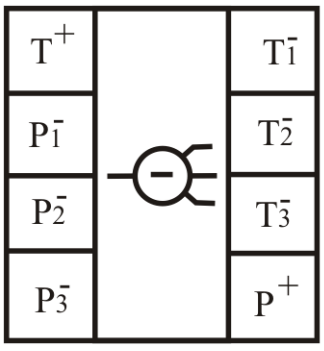


Рисунок 4.16 - Позначення елементу ВБМ ланки «розподільника теплового потоку»

4.5 Синтез загальної моделі тепловтрат споруди

Синтез моделі загальної моделі тепловтрат споруди здійснюється шляхом комплементарного приєднання блоків – елементів візуально-блочної моделі. Схема ВБМ моделі наведена на рисунку 4.17.

Загальним джерелом теплової енергії є внутрішнє середовище споруди, якому у ВБМ моделі відповідає блок "ins".

В даній моделі використовується триканальна структура теплопередачі. Тобто, тепловий потік розподіляється на три канали:

- втрати тепла через стіни;
- втрати тепла через стелю;
- інші втрати тепла.

Інші втрати тепла включають в себе: втрати через підлогу, вікна, вентиляцію, каналізацію та використання вхідними дверима. На відміну від стін та стелі цей канал є зосередженим. Тому його модель не має проміжних температурних реперних точок. Обрана структура моделі визначається метою моделювання, яка пов'язана з моделюванням термодинамічних процесів у шарах огороджувальної конструкції.

Розподіл теплового потоку по трьох каналах забезпечується блоком "розподільник". Прямий зв'язок цього блоку здійснюється по каналам температури, а зворотній зв'язок, що відображає вплив елементів огороджувальної конструкції на внутрішній простір приміщення, по каналам теплової потужності.

В кожному каналі присутні блоки "теплопередачі", які також здійснюють прямий причинно-наслідковий зв'язок через температуру, а зворотній – через теплову потужність.

Кожний з каналів замикається блоком "out", який відображає передачу теплової енергії безпосередньо назовні.

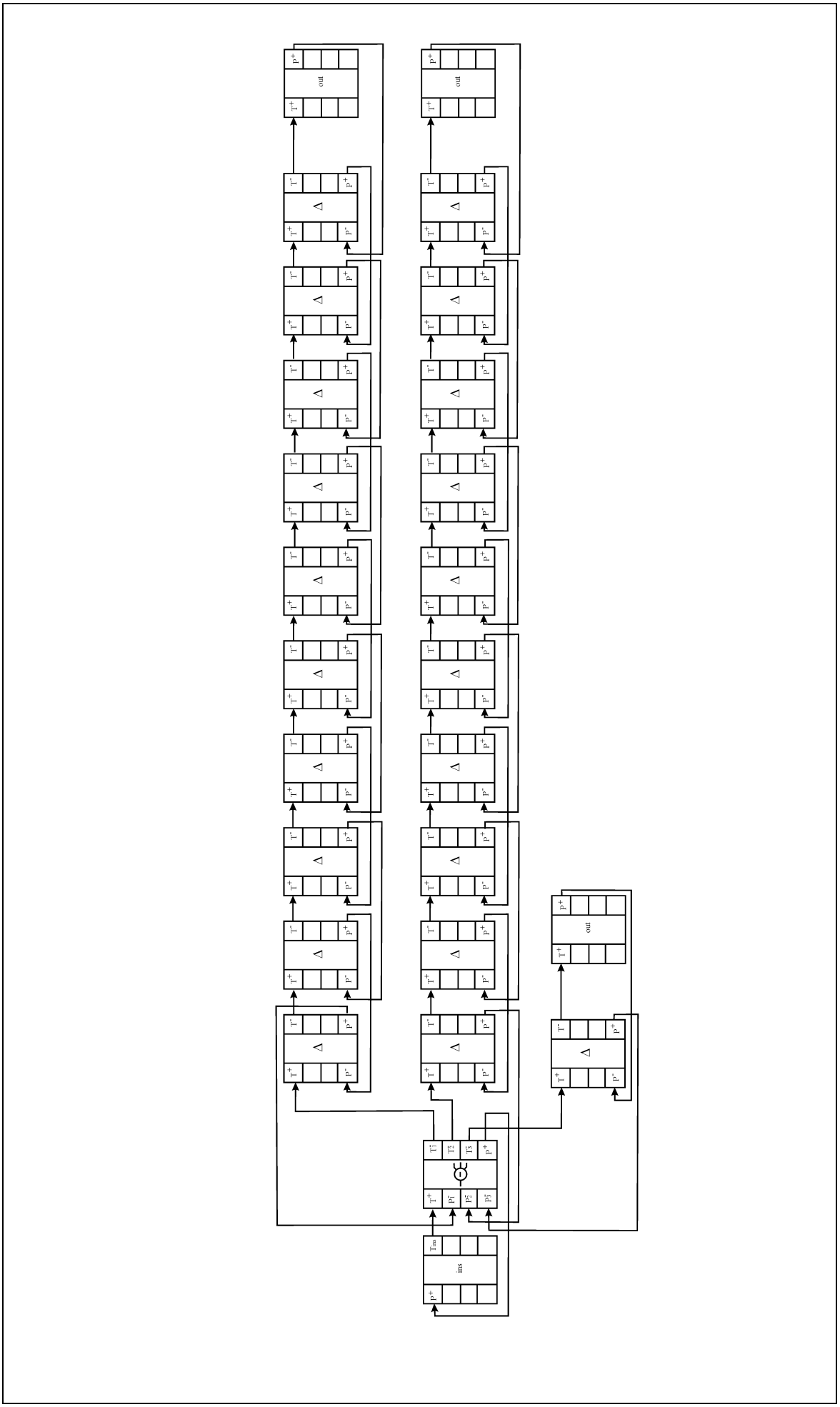


Рисунок 4.17 – Блок-схема моделі тепловтрат

4.6 Результати моделювання термодинамічної моделі тепловтрат споруди

Результати моделювання теплового поля у шарах елементу стіни (верхній канал), що складається з шарів цегли та утеплювача наведено на рисунку 4.18.

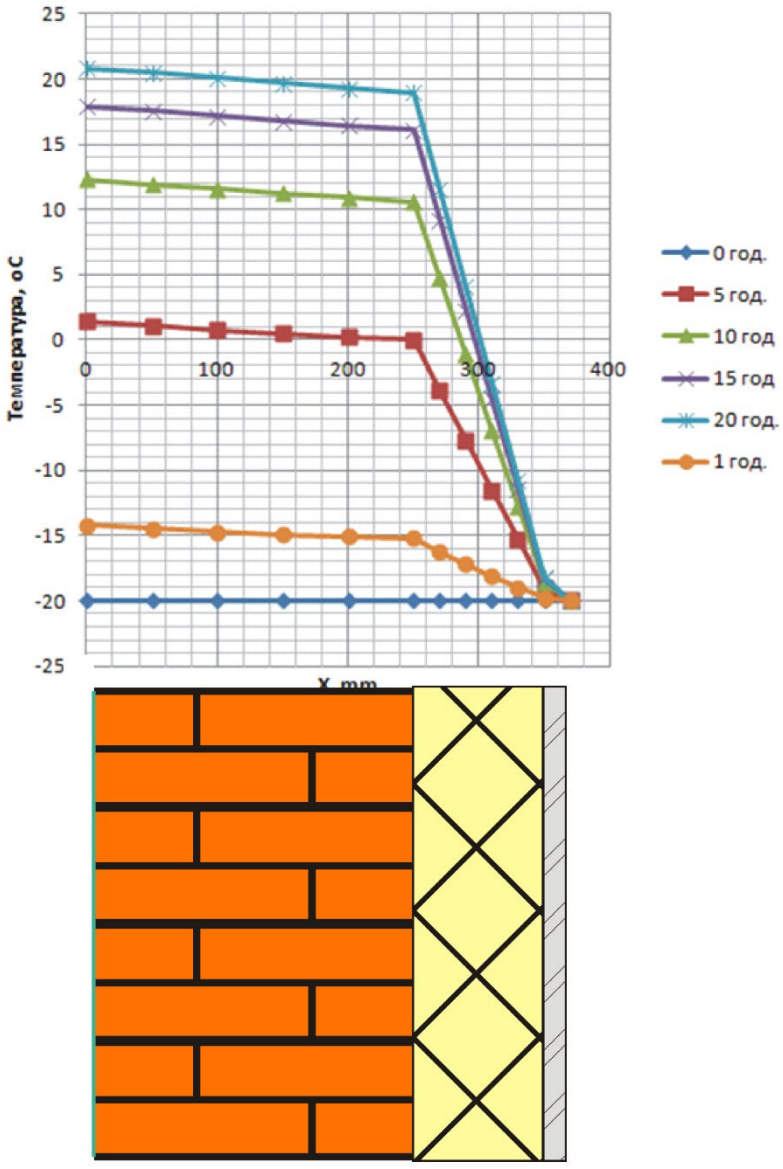


Рисунок 4.18 - Результати моделювання теплового стану огороджувальної конструкції будівлі

На рисунку 4.18 зображені розподіли теплового поля впродовж огороджувальної конструкції в різні моменти часу в опиті процесу

нагрівання будівлі після включення опалення при температурі зовнішнього повітря **-20ºC**. На діаграмі можна побачити вплив динаміки процесу у вигляді наявності нелінійного розподілу температури, особливо на початку термодинамічного перехідного процесу.

4.7 Висновки до розділу

1. Було наведено опис, запропонованого в роботі, методу синтезу математичних моделей тепловтрат будівель та споруд, створеного на базі методики візуально-блочного моделювання.

2. Було розроблено елементи бібліотеки компонентів візуально-блочного моделювання для застосування у галузі будівництва для завдань аналізу теплових потоків крізь огороджувальні конструкції будівель та споруд та унші канали тепловтрат.

3. Було наведено приклад синтезу моделі тепловтрат для одноповерхової будівлі та проведено математичне моделювання за допомогою отриманої моделі.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. В результаті розрахункового аналізу залежності терміну окупності робіт по термомодернізації будівель та споруд від товщини шару утеплювача огороджувальних конструкцій виявлено наявність екстремального характеру цієї залежності, тобто існування задачі оптимізації.

2. Дослідження впливу зовнішньої температури будівлі на положення екстремуму показали, що цей вплив є несуттєвим. Однак, обраний критерій охоплював тільки аспект термомодернізації, що був пов'язаний із забезпеченням комфортної температури в середині будівлі. Крім цього аспекту, при виборі товщини утеплювача, значним фактором є також процеси паропроникливості та конденсації вологи у шарі стіни. В даній роботі цей аспект не розглядався і є об'єктом подальшого окремого дослідження з метою пошуку оптимальних рішень.

3. Дослідження впливу ціни утеплювача, на ринку будівельних матеріалів, на положення екстремуму показали, що цей вплив є суттєвим. Залежність положення екстремуму від ціни утеплювача має лінійно-спадаючий характер.

4. Дослідження впливу площі будівлі на положення екстремуму показали, що цей вплив є також суттєвим. Залежність положення екстремуму від ціни утеплювача має нелінійно-спадаючий характер. Пояснити такий характер залежності можна наявністю нелінійної залежності площі огороджувальної конструкції від площі внутрішніх приміщень. На характер даної залежності також суттєво впливає пропорції будівлі.

5. В роботі був запропонований метод синтезу моделі тепловтрат будинку. Запропонований метод дозволяє значно скоротити час на створення математичної моделі тепловтрат будинку, що може бути використано в практиці аналізу та проектування будинків, розробки проєктів термомодернізації.

6. Запропонований метод охоплює тільки процеси теплопередачі і не розглядає процеси масопереносу та конденсації вологи, але може бути складовою для розробки методу синтезу математичних моделей з урахуванням цих факторів, тобто потребує подальшого розвитку.

7. У запропонованому методі синтезу моделей було використано методику візуально-блочного моделювання, який дуже ефективно використовувався, протягом останніх років, для синтезу моделей складних розгалужених електротехнічних комплексів. Для задач теплопереносу у будівельній галузі він застосовується вперше. Можна сказати, що метою даної роботи також була спроба показати можливості застосування візуально-блочного моделювання для задач у будівельній галузі, як мультидисциплінарного методу.

8. Запропонований метод проводить синтез динамічних моделей стану теплового поля у огороджувальних конструкціях, що дозволяє проводити аналіз теплових процесів при добових змінах температури зовні будівель та споруд.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДБН В.2.6-31:2016. Теплова ізоляція будівель. К.: Мінбуд України, 2017. 37 с.

2. Управління ефективністю енерговикористання у вищих навчальних закладах: монографія / І.Ю.Білоус, В.І.Дешко, І.О.Суходуб, Шевченко О.М., Шовкалюк М.М. – К.: Політехніка, 2015. – 188 с.

3. Управління енергоспоживанням: промисловість і соціальна сфера: монографія / під заг. редакцією О. М. Теліженка та М. І. Сотника. – Суми : видавництво «Мрія – 1»,2018.-336 с.

4. Шевченко О.М. Енергоефективний кампус КПІ: інструменти та методи досліджень / Шевченко О.М., Шовкалюк М.М. // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. Серія Технічні науки. – 2019. № 4 (136). – С. 97–105.

5. Євтухов В.Я. Інформаційна та мотиваційна складові системи енергетичного менеджменту об’єктів галузі освіти / Євтухов В.Я., Дешко В.І., Шовкалюк М.М., Шевченко О.М. // Новини енергетики. – 2018. – №5. – С.10-23.

6. Directive 2010/31/eu of the European parliament and of the council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings (recast) // Official Journal of the European Communities. 2010, L153. – p. 13-35.

7. V.I. Deshko, O.M. Shevchenko (2013). University campuses energy performance estimation in Ukraine based on measurable approach, Energy and Buildings, (49) p. 582–335.

8. Шовкалюк М.М., Лєконцева О.Е. Розвиток програм стимулювання підвищення енергоефективності будівель в Україні / Збірник наук. працьV Міжнар. наук.-техн. та навч.-метод. конф. у м. Києві 17-12.04.2018р., С.116-117.

9. Efficiency of using energy in housing sector, under the general editorship of Pavlenko A.M. Politechnika Świętokrzyska. Kielce, 2020, p. 155.

10. Шевченко О.М. Розробка інвестиційних проєктів підвищення енергоефективності студмістечка КПІ та інтеграція у освітній процес / Шевченко О.М., Шовкалюк М.М. // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. Серія Технічні науки. – 2020. № 3 с.146.

11. ДСТУ Б А.2.2-12:2015. Енергетична ефективність будівель. Метод розрахунку енергоспоживання при опаленні, охолодженні, вентиляції, освітленні та гарячому водопостачанні [Уведений вперше; чинний від 2015.01.01]. К. Мінрегіонбуд України, 2016. 205 с.

12. ДСТУ Б В.2.6-189:2013 З ДСТУ-Н Б А.2.2 5:2007 Проектування. Настанова з розроблення та складання енергетичного паспорта будинків при новому будівництві та реконструкції.

13. ДСТУ Б А.2.2-8:2010 Проектування. Розділ "Енергоефективність" у складі проектної документації об'єктів.

14. ДСТУ Б В.2.6-187:2013 Теплогідроізоляція монолітна пінополіуретанова, що намилюється. Загальні технічні умови.

15. ДСТУ Б В.2.7-15-95 Будівельні матеріали. Вироби перлітобентонітові теплоізоляційні. Технічні умови.

16. ДСТУ Б В.2.7-56:2010 Будівельні матеріали. Вироби теплоізоляційні зі скляного штапельного волокна. Технічні умови.

17. ДСТУ Б В.2.7-150:2008 Будівельні матеріали. Пінополіуретани монтажні (монтажні піни). Загальні технічні умови.

18. ДСТУ Б В.2.7-167:2008 Будівельні матеріали. Вироби теплоізоляційні з мінеральної вати на синтетичному зв'язуючому. Загальні технічні умови (EN 13162:2001, NEQ).

19. ДСТУ Б В.2.7-169:2008 Будівельні матеріали. Вироби теплоізоляційні з мінеральної вати ламельні. Технічні умови (EN 13162:2001, NEQ).

20. ДСТУ Б В.2.7-195:2009 Будівельні матеріали. Матеріали і вироби теплоізоляційні. Номенклатура показників.

21. ДСТУ ISO 10211-1:2005 Теплопровідні включення в будівельних конструкціях. Обчислення теплового потоку та поверхневої температури. Частина 1. Загальні методи.

22. ДСТУ ISO 10211-2:2005 Теплопровідні включення в будівельних конструкціях. Обчислення теплового потоку та поверхневої температури. Частина 2. Лінійні теплопровідні включення.

23. ДСТУ Б EN ISO 13790:2011 Енергетична ефективність будівель. Розрахунок енергоспоживання на опалення та охолодження (EN ISO 13790:2008, IDT) ИСС «З о д ч и й ».

24. ДСТУ Б EN 13163:2012 Матеріали будівельні теплоізоляційні. Вироби зі спіненого полістиролу (EPS). Технічні умови (EN 13163:2008, IDT)

25. ДСТУ Б EN 13164:2013 Матеріали будівельні теплоізоляційні. Вироби із екструдованого пінополістиролу (XPC). Технічні умови (EN 13164:2008, IDT).

26. ДБН В.2.6-33 - Конструкції зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією. Вимоги до проектування.

27. ДСТУ Б В.2.7-182 - розрахункова теплопровідність, теплоізоляційний матеріал.

28. ДСТУ ISO 10211-1 - теплопровідне включення.

29. ДСТУ ISO 10211-2 - лінійне теплопровідне включення.

30. ДСТУ Б В.2.6-189:2013 Методи вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будівель.

31. ДСТУ-Н Б В.2.6-192:2013 Настанова з розрахункової оцінки тепловологісного стану огороджувальних конструкцій.

32. ДСТУ Б В.2.6-101:2010 Конструкції будинків і споруд. Метод визначення опору теплопередачі огороджувальних конструкцій.

33. Тепловтрати будинку: як уникнути витоку тепла. URL: https://eenergy.com.ua/energoefectyvnist/teplovtraty-budynku-yak-unyknuty-vytoku-tepla/ (дата звернення: 15.10.2024).

34. Будова і ремонт. Сучасна утеплена штукатурка. URL: https://rem.in.ua/mokrij-fasad-texnologiya-ta-specifika-montazhu/ (дата звернення: 15.10.2024).

35. Grand Fasal Ukrainen. Мінеральна вата. URL: https://grandfasad.com/termoponeili/mineralna-vata/ (дата звернення: 15.10.2024).

36. Stroy Blog. Що таке пенопласт. URL: https://stroy-blog.info/uk/shho-take-pinoplast/ (дата звернення: 15.10.2024).

37. Що являє собою екструдований пінополістирол? URL: http://poradu24.com/remontu/xarakteristiki-i-osoblivosti-zastosuvannya-ekstrudovanogo-pinopolistirolu.html (дата звернення: 16.10.2024).

38. КСК ROOF. Для чого використовують армуючу сітку. URL: https://kskroof.ua/ua/dlja-chogo-vikoristovujut-armovanu-sitku/ (дата звернення: 16.10.2024).

39. Яку пароізоляцію вибрати для стелі: плівка, мембрана, що краще. URL: https://lifehacker.org.ua/iaky-paroizoliaciu-vibrati-dlia-steli-plivka-membrana-sho-krashe/ (дата звернення: 16.10.2024).

40. KTB GROUP. Вентильований фасад. URL: https://ktb-group.ua/ventilovaniy-fasad-z-hpl-paneley (дата звернення: 15.11.2024).