

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет будівництва та транспорту
Кафедра Архітектури та інженерних вишукувань

До захисту
Допускається
Завідувач кафедри
Архітектури та інженерних
вишукувань
_____ Бородай Д. С.

«__» _____ 2024р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

за другим рівнем вищої освіти

На тему: «Удосконалення архітектурно-конструктивних рішень багатопверхового житлового будинку в м. Гостомель за результатами капітального ремонту»

Виконав (ла)

(підпис)

А. А. Максименко

(Прізвище, ініціали)

Група

Буд 2301-2м

(Науковий)
керівник

(підпис)

А. С. Бородай

(Прізвище, ініціали)

Суми – 2024 р.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра: **Архітектури та інженерних вишукувань**
Спеціальність: **192 "Будівництво та цивільна інженерія"**

ЗАВДАННЯ

НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Максименко Андрій Анатолійович

Тема роботи: Удосконалення архітектурно-конструктивних рішень багатоповерхового житлового будинку в м. Гостомель за результатами капітального ремонту

Затверджено наказом по університету № 3455/ос від " 07 " 10 2024р.
Строк здачі студентом закінченої роботи: " 1 " грудня 2024 р.

Вихідні дані до роботи:

Дані інженерно-геологічних вишукувань, типові проекти, завдання проектування _____

4.Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що підлягають розробці)

Розділ 1. Загальна характеристика роботи, 1.1. Матеріали та методи виробництва, 1.2. Характеристики матеріалів, Розділ 2. Опис архітектурно-

планувального рішення будівлі, 2.1. Ситуаційний план, 2.2. Об'ємно-планувальне рішення, 2.3. Архітектурно-конструктивне рішення, Список використаних джерел

5. Перелік графічного та або мультимедійного матеріалу (з вказівкою обов'язкових креслень)

19 слайдів мультимедійного матеріалу

Керівник :

(підпис)

А. С. Бородай
(Прізвище, ініціали)

Консультант

(підпис)

А. С. Бородай
(Прізвище, ініціали)

Завдання прийняв до виконання:

Здобувач

(підпис)

А. А. Максименко
(Прізвище, ініціали)

Анотація

Максименко Андрій Анатолійович «Удосконалення архітектурно-конструктивних рішень багатоповерхового житлового будинку в м. Гостомель за результатами капітального ремонту» – Кваліфікаційна робота магістра на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота магістра за спеціальністю 192 «Будівництво та цивільна інженерія». – Сумський національний аграрний університет, Суми, 2024.

Робота складається із змісту, загальної характеристики роботи та її кваліфікаційних ознак, огляду досліджень за обраною темою, розділів основної частини, висновків за результатами МКР (українською та англійською мовами).

Сформульовано мету, задачі, об'єкт та предмет дослідження, методи наукового дослідження.

Зростаючий попит на енергоефективні матеріали в будівництві зумовлює необхідність розробки сучасних композитів, таких як пінополіуретан з поліуретановим аерогелем. Дослідження зосереджене на створенні теплоізоляційних матеріалів, які сприяють зменшенню енергоспоживання та захисту довкілля, відповідаючи на виклики сталого розвитку.

Основна мета дослідження — синтез і характеристика композитів із пінополіуретану та поліуретанового аерогелю з урахуванням впливу розмірів пор на їх властивості, зокрема щільність, усадку, теплопровідність та механічну міцність. Проведені випробування показали, що композит М має найнижчу густину (125 кг/м^3), а теплопровідність синтезованих матеріалів при $12 \text{ }^\circ\text{C}$ варіюється від 15 до $50 \text{ мВт/(м}\cdot\text{К)}$.

Результати дослідження демонструють перспективність створених композитів, які поєднують низьку теплопровідність, покращені механічні властивості та екологічність. Представлені матеріали відкривають нові можливості для використання в енергоефективному будівництві, сприяючи розробці інноваційних рішень у галузі.

Ключові слова: утеплювач, пінополістирол, гель.

Список публікацій та/або виступів на конференціях студента:

1. Бородай А. С., Максименко А. А. ДОСЛІДЖЕННЯ ПІНОПОЛІУРЕТАНОВИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ПОКРАЩЕННЯ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЇ: ТЕХНІКО- ЕКОНОМІЧНИЙ АСПЕКТ // Матеріали XVIII Міжнародної науково-практичної конференції , 29 листопада 2024 р., ХНАДУ, Харків, С.33

2. Максименко А. А. ДОСЛІДЖЕННЯ ПІНОПОЛІУРЕТАНОВИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ПОКРАЩЕННЯ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЇ: ТЕХНІКО- ЕКОНОМІЧНИЙ АСПЕКТ / Матеріали 86 Міжнародної наукової конференції студентів, 8-12 квітня 2024 р., ХНАДУ, Харків, С.26

В додатках наведено тези конференції, альбом слайдів мультимедійної презентації.

Структура роботи.

Робота складається з основного тексту на 44 сторінках, у тому числі 4 таблиці, 11 рисунків. Текст роботи містить загальну характеристику роботи, 2 розділи, висновки і рекомендації за результатами роботи, список з 20 використаних джерел. Графічна частина складається з 19 слайдів мультимедійної презентації.

Abstracts

Maksymenko Andriy Anatoliyovych “Improvement of architectural and structural solutions of a multi-storey residential building in the city of Gostomel based on the results of major repairs” - Master's qualification work in the form of a manuscript.

Master's qualification work in specialty 192 “Construction and civil engineering”. - Sumy National Agrarian University, Sumy, 2024.

The work consists of the content, general characteristics of the work and its qualification features, a review of research on the selected topic, sections of the main part, conclusions based on the results of the MCR (in Ukrainian and English).

The goal, objectives, object and subject of the study, and methods of scientific research are formulated.

The growing demand for energy-efficient materials in construction necessitates the development of modern composites, such as polyurethane foam with polyurethane aerogel. The research focuses on the creation of thermal insulation materials that contribute to reducing energy consumption and environmental protection, responding to the challenges of sustainable development.

The main goal of the research is the synthesis and characterization of polyurethane foam and polyurethane aerogel composites, taking into account the influence of pore size on their properties, in particular density, shrinkage, thermal conductivity and mechanical strength. The tests conducted showed that composite M has the lowest density (125 kg/m^3), and the thermal conductivity of the synthesized materials at $12 \text{ }^\circ\text{C}$ varies from 15 to $50 \text{ mW}/(\text{m}\cdot\text{K})$.

The research results demonstrate the prospects of the created composites, which combine low thermal conductivity, improved mechanical properties and environmental friendliness. The presented materials open up new opportunities for use in energy-efficient construction, contributing to the development of innovative solutions in the industry.

Keywords: insulation, polystyrene foam, gel.

List of publications and/or speeches at student conferences:

1. Boroday A. S., Maksymenko A. A. RESEARCH OF POLYURETHANE FOAM MATERIALS FOR IMPROVING THERMAL INSULATION: TECHNICAL AND ECONOMIC ASPECT // Materials of the XVIII International Scientific and Practical Conference, November 29, 2024, KhNADU, Kharkiv, P.33

2. Maksymenko A. A. RESEARCH OF POLYURETHANE FOAM MATERIALS FOR IMPROVING THERMAL INSULATION: TECHNICAL AND ECONOMIC ASPECT / Materials of the 86th International Scientific Conference of Students, April 8-12, 2024, KhNADU, Kharkiv, P.26

The appendices contain the conference abstracts, an album of multimedia presentation slides.

Structure of the work.

The work consists of the main text on 44 pages, including 4 tables, 11 figures. The text of the work contains a general description of the work, 2 sections, conclusions and recommendations based on the results of the work, a list of 20 sources used. The graphic part consists of 19 slides of a multimedia presentation.

ЗМІСТ

Розділ 1. Загальна характеристика роботи.....	9
1.1. Матеріали та методи виробництва.....	10
1.2. Характеристики матеріалів.....	21
Розділ 2. Опис архітектурно-планувального рішення будівлі.....	36
2.1. Ситуаційний план.....	36
2.2. Об'ємно-планувальне рішення.....	36
2.3. Архітектурно-конструктивне рішення.....	37
Список використаних джерел.....	43

РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми: Зростаючий попит на енергоефективні матеріали в будівельному секторі підкреслює важливість розробки сучасних композитів, таких як пінополіуретан/поліуретановий аерогель. Враховуючи зростаючу увагу до сталого розвитку та зменшення споживання енергії в будівлях, це дослідження спрямоване на вирішення гострої потреби в покращених теплоізоляційних матеріалах, які сприяють енергозбереженню та захисту навколишнього середовища.

Мета і завдання дослідження: Основною метою цього дослідження є синтез та характеристика нових композитів з пінополіуретану та поліуретанового аерогелю. Вона спрямована на вивчення впливу різних розмірів пор на властивості матеріалу, зокрема, на щільність, усадку, механічну міцність і теплопровідність. Результати показують, що найнижчу густину (125 кг/м^3) має композит М, а значення теплопровідності для форм В, С і М коливаються від 34 до 50 мВт/(м·К) при $12 \text{ }^\circ\text{C}$, зменшуючись до значень між 15 і 16 мВт/(м·К).

Об'єкт дослідження: Дослідження нових композитів з пінополіуретану та поліуретанового аерогелю.

Предмет дослідження: Багатоповерховий житловий будинок в місті Гостомель.

Методи дослідження: У дослідженні використано системний підхід, що включає синтез трьох типів пінополіуретану з різними розмірами пор (малі, середні та великі). Процес визначення характеристик включав оцінку еталонних матеріалів з подальшим аналізом синтезованих композитів. Були проведені різноманітні випробування для вимірювання щільності, усадки, пористої структури та теплопровідності, а також теоретичне моделювання для оцінки механізмів теплопередачі. Встановлено, що додавання поліуретанового аерогелю збільшує модуль пружності при збереженні гнучкості.

Наукова та технічна новизна одержаних результатів: Ця робота представляє новий композитний матеріал, який поєднує в собі переваги властивостей пінополіуретану та аерогелю, що призводить до значного покращення механічних та теплоізоляційних характеристик. Дослідження демонструє, як розмір пор впливає на загальні властивості матеріалу, що сприяє кращому розумінню характеристик композитів. Крім того, отримані результати відкривають шлях для майбутніх розробок енергоефективних будівельних матеріалів, сприяючи прогресу в будівельній галузі.

Апробація та публікація результатів роботи: 1. Бородай А. С., Максименко А. А. ДОСЛІДЖЕННЯ ПІНОПОЛІУРЕТАНОВИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ПОКРАЩЕННЯ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЇ: ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИЙ АСПЕКТ // Матеріали XVIII Міжнародної науково-практичної конференції , 29 листопада 2024 р., ХНАДУ, Харків, С.33

2. Максименко А. А. ДОСЛІДЖЕННЯ ПІНОПОЛІУРЕТАНОВИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ПОКРАЩЕННЯ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЇ: ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИЙ АСПЕКТ / Матеріали 86 Міжнародної наукової конференції студентів, 8-12 квітня 2024 р., ХНАДУ, Харків, С.26

1.1. Матеріали та методи виробництва

Поліуретани широко використовуються в різних галузях промисловості завдяки своїй адаптивності, економічній ефективності та корисним властивостям. У будівництві поліуретани в основному використовуються як герметики, клеї та ізоляційні піни для стін та інших структурних компонентів. Ці піни можна класифікувати на основі їхньої комірчастої структури на закриті та відкриті типи. Подальша класифікація враховує механічну міцність, що дозволяє виділити жорсткі, еластичні та напівжорсткі (гібридні) піни. Жорсткі пінополіуретани складаються із закритих комірок зі стінками пор, які ізолюють газову фазу. Їх теплопровідність становить від 25 до 28 міліватт на метр за Кельвіном, що робить їх поширеними матеріалами для ізоляції будівель і приладів. Однак ці значення теплопровідності дедалі

частіше виявляються недостатніми для того, щоб відповідати сучасним стандартам енергоефективності.

Зростаючі вимоги до енергоефективності вимагають розробки матеріалів з вищими ізоляційними властивостями. Один із поширених підходів до покращення теплоізоляційних характеристик поліуретану полягає у введенні домішок. Цей метод ефективно зменшує розмір комірок і зменшує тепловіддачу через випромінювання. Різноманітні наповнювачі, включаючи органічні наноглини на основі монтморилоніту, мінерали, вуглецеві нанотрубки, вуглецеві нановолокна та аерогелі, були включені в поліуретанові композиції. Відомі типи аерогелів, такі як графенові, глиноземні, фенольні та кремнеземні аерогелі, продемонстрували покращення механічних властивостей, вогнестійкості та теплоізоляції.

Однак, включення таких добавок пов'язане з певними проблемами, зокрема, з диспергуванням наночастинок, утворенням агломератів та зміною кінетики реакції. Дослідження проведене у 2020 році, використовувало інфрачервону спектроскопію з Фур'є-перетворенням для вивчення впливу різних нанокладок і нанокремнезему на поліуретанові пінопластові матеріали. Результати показали, що поверхневі хімічні властивості наночастинок впливають на перетворення ізоціанатів і утворення сечовини та уретанових груп, тим самим впливаючи на швидкість реакції під час піноутворення. Ці зміни призводять до змін у морфології клітин, щільності та загальних властивостях матеріалу.

У наступному дослідженні у 2021 році застосували рентгенівську флюороскопію та інфрачервону спектроскопію для вивчення впливу аерогелів кремнезему на поліуретанові піни. Вони спостерігали затримку розширення піни і прискорення зародження клітин, що вказує на те, що ці добавки змінюють динаміку хімічної реакції під час полімеризації.

Введення нанопоповнювачів у поліуретанові піни може викликати численні одночасні зміни в кінетиці реакції та властивостях матеріалу, що часто призводить до результатів, які не завжди можна контролювати. Навіть

при ефективному диспергуванні частинок і зменшенні розміру комірок, загальне зниження теплопровідності обмежується 20-25 відсотками.

Покращення властивостей пінополіуретану без зміни процесу формування є перспективним напрямком. Дослідження показали, що додавання нанопластин оксиду графіту може підвищити жорсткість і вогнестійкість. Хоча були спроби використовувати аерогелі кремнезему, притаманні їм механічні обмеження обмежують міцність отриманих композитів.

У цьому дослідженні представлено синтез інноваційних композитів, утворених шляхом інфузії поліуретанових сітчастих пінопластів, що характеризуються безперервною мережею стрижнів і ребер, з органічними аерогелями. Обраний поліуретановий аергель був обраний завдяки його бажаним властивостям і сумісності з пінополіуретаном. Отримані композити мають меншу щільність і меншу усадку порівняно з монолітними поліуретановими аерогелями, зберігаючи при цьому чудову теплоізоляцію і механічну міцність порівняно з вихідними пінопластами. Крім того, ці композити продемонстрували виняткову еластичність, успішно відновлюючи свою початкову висоту після багаторазових випробувань на стиснення з деформацією до 15 відсотків.

Поліізоціанурат-поліуретановий аергель був синтезований з використанням пентаеритриту в якості поліолу, чистота якого перевищувала 97%, а щільність становила 1,39 грама на кубічний сантиметр при 22 градусах. Ізоціанат, що використовувався в цьому процесі, був полімерним метилендифенілдіізоціанатом, з густиною 1,24 грама на кубічний сантиметр при 24 градусах. Розчин каталізатора готували з використанням моноетиленгліколю, з концентрацією 73 грамів на літр в надчистому тетрагідрофурані, який має чистоту більше 99%, стабілізованому при 252 частинах на мільйон.

Бутильований гідрокситолуол розчиняли при концентрації 100 грамів на літр у синтетичному диметилсульфоксиді, також з чистотою понад 99%.

Ізоціанат розчиняли в суміші високоефективного ацетонітрилу для рідинної хроматографії та тетрагідрофурану в об'ємному співвідношенні 64:34 при концентрації 42 грам на літр. Крім того, на стадії сушіння використовували синтетичний ацетон з чистотою понад 99%.

Синтез композиту пінополіуретан-поліуретановий аерогель відбувався в два етапи. Спочатку відміряну кількість розчину пентаеритриту змішували з полімерним розчином метилендифенілдіізоціанату, підтримуючи молярне співвідношення ізоціанату до поліолу на рівні 2,3. Потім додавали 4.1 вагові відсотки каталізатора, виходячи із загальної маси поліолу та ізоціанату. Перемішування проводили за допомогою лабораторної мішалки з диском діаметром 55 міліметрів при швидкості 520 обертів на хвилину протягом 25 секунд за встановленою методикою.

Для композитних матеріалів змішаний розчин виливали в пластиковий контейнер, вистелений відповідним сітчастим пінопластом, і давали йому настоятися до повного насичення. Після періоду гелеутворення, який тривав приблизно 27 хвилин, отриманий гелеподібний композит занурювали в ацетонітрил при кімнатній температурі на день. Після закінчення цього періоду композит витягли з форми і двічі ретельно промили ацетонітрилом, кожне промивання тривало при кімнатній температурі, щоб усунути будь-які залишкові сполуки.

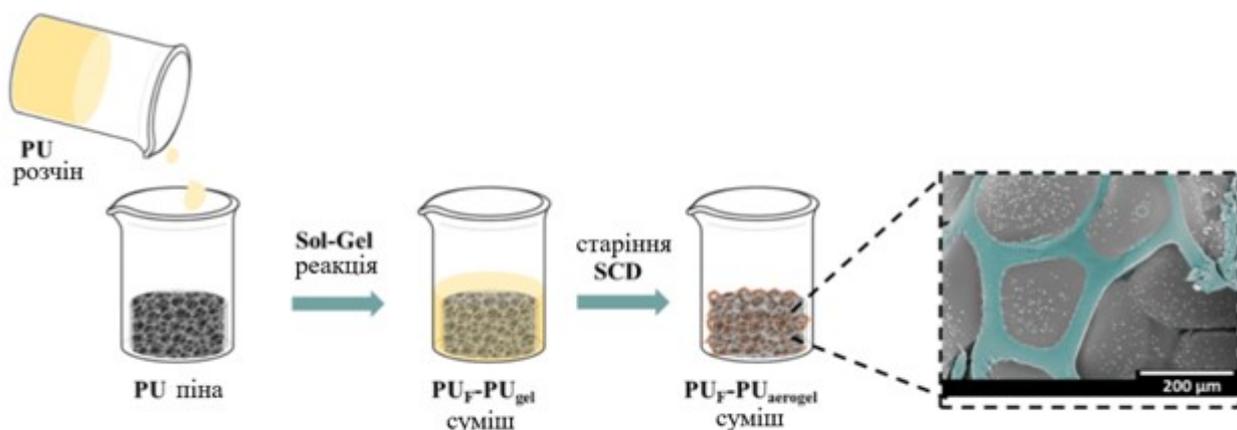


Рис. 1.1. Процес реакції

Пінополіуретан-поліуретановий аерогелевий гель занурювали в ацетон, щоб запобігти випаровуванню пресольвенту. Потім гель висушували в

умовах надкритичного вуглекислого газу при тиску 100 бар і температурі 45 градусів.

Щільність пінопласту, еталонного аерогелю та композитів пінополіуретан-поліуретановий аергель визначали за допомогою геометричного вимірювача об'ємної маси/насіпної маси, який має роздільну здатність 0,01 міліметра. Вимірювання проводилося з дотриманням специфікацій, викладених у відповідному стандартному методі.

Об'ємну усадку композиту визначали як відношення кінцевого об'єму композиту до початкового об'єму пінопласту. Це співвідношення математично виражається наступним чином:

$$S_v(\%) = 1 - \frac{V}{V_0} \times 100$$

Пористість аерогелю розраховували за рівнянням:

$$P = (1 - \rho_r) \times 100$$

Відносна густина розраховується шляхом ділення густини аерогелю на густину твердого поліуретану. Для композитів пінополіуретан-поліуретановий аергель масовий відсоток поліуретанового аерогелю, включеного в пінополіуретан, можна визначити за наступною формулою:

$$\text{aerogel mass } (\%) = \frac{m_{\text{composite}} - m_{\text{foam}}}{m_{\text{composite}}} \times 100$$

Для визначення питомої поверхні еталонних поліуретанових аерогелів було проведено адсорбцію азоту за методом Брунауера-Еммета-Теллера. Перед вимірюванням зразки пройшли процес дегазації у вакуумі при 55 градусах протягом доби. Відповідний розмір пор розраховували з десорбційної гілки ізотерми адсорбції за методом Барретта-Джойнера-Халенда. Відповідні розрахунки виконували за формулою, що виражається рівнянням:

$$\Phi_n = \frac{4V_p}{S_{BET}}$$

Де S це площа поверхні (м²/г), а об'єм пор, розрахований як різниця між загальним об'ємом та об'ємом твердої фази:

$$V_p = \frac{1}{\rho} - \frac{1}{\rho_s}$$

Поліуретановий аерогель металізували за допомогою іридієвого напилення для отримання зображень, а фотомікрофотографії робили за допомогою екологічного скануючого електронного мікроскопа. Для металізації пінополіуретану використовували золото через його більший розмір пор. Ці зразки були візуалізовані за допомогою растрового електронного мікроскопа, оснащеного детектором зворотно-розсіяних електронів, що дозволило провести детальний аналіз клітинної структури.

Механічні властивості оцінювали для чистого пінополіуретану, референтного поліуретанового аерогелю та синтезованих пінополіуретанових і поліуретанових аерогелевих композитів. Випробування на стиск проводили на універсальній випробувальній машині зі швидкістю стиснення і розтиснення, поділеною на десять міліметрів за хвилину, з використанням датчика навантаження в один кілоньютон згідно з відповідним стандартом.

Випробування проводили на циліндричних зразках діаметром від 20 до 25 міліметрів і висотою від 12 до 15 міліметрів при контрольованих умовах навколишнього середовища 24 ± 1 градуси Цельсія і відносній вологості 55 ± 15 відсотків. Було проведено п'ять циклів стиснення і декомпресії для оцінки здатності зразків до відновлення до досягнення 15-відсоткової деформації. Після випробування на стиснення без затримки проводили випробування на вакуумування. Коефіцієнт втрати енергії розраховували за площею петлі гістерезису.

$$ELC(\%) = \frac{A_L - A_U}{A_L} \times 100$$

У розрахунках площі під кривими завантаження та розвантаження позначаються як A_L та A_U відповідно. Модуль пружності визначається з лінійної ділянки кривої напруження-деформація при різних вибраних

деформаціях, а саме при 12%, 24%, 45% і 70%. У всіх експериментах застосовувалося попереднє навантаження приблизно 0,47 кілопаскаля.

Теплопровідність як поліуретанового аерогелю, так і отриманого композиту вимірюється за допомогою тепломіра згідно з відповідними стандартами. Пінополіуретан виготовляється у вигляді великого плоского листа, що дозволяє проводити прямі вимірювання за допомогою датчика теплового потоку. Для зразка композиту, площа якого менша за площу датчика теплового потоку, використовується зовнішній датчик теплового потоку розміром 4,3 на 4,3 міліметра і реєстратор даних.

Граденти температури встановлюються за допомогою вимірювача теплового потоку. Замість того, щоб покладатися на температуру пластини для розрахунків, температура зразка безперервно контролюється за допомогою двох термопар, що контактують з верхньою і нижньою поверхнями зразка. Розміри циліндричних зразків становлять 28 міліметрів у діаметрі і 14 міліметрів у висоту. Вимірювання проводяться при чотирьох середніх температурах: 8, 21, 32 і 44 градусів Цельсія. Температура гарячої та холодної пластини встановлюється на 11 градусів вище та нижче обраної температури вимірювання відповідно.

Перш ніж синтезувати та охарактеризувати композит пінополіуретан-поліуретановий аерогель, властивості чистого пінополіуретану та поліуретанового аерогелю були оцінені як еталонні матеріали. Ця оцінка включала вимірювання щільності, розміру пор, теплопровідності та механічної поведінки. Після цієї оцінки властивості отриманих композитів були ретельно охарактеризовані та порівняні з властивостями еталонних матеріалів.

У цьому дослідженні були обрані різні пінополіуретани з відкритою пористою структурою, що характеризуються полімерними опорами, які визначають архітектуру комірок. Основні характеристики цих пінопластів наведено в таблиці. Усі сітчасті пінопластові матеріали мали однакову щільність 28 кілограмів на кубічний метр. Розміри пор значно варіювалися:

Таблиця 1.1. Характеристики пінополіуретану та поліуретанового аерогелю

Зразок	Густина (кг/м ³)	SBET (м ² /г)	φ	Λ (мВт/м·К)
PU аерогель	135.45 ± 1.58	242.1 ± 12.1	114 нм	14.60 ± 0.57
S піна	30.87 ± 0.74	-	0.46 мм	35.77 ± 0.01
M піна	30.66 ± 0.42	-	1.47 мм	42.35 ± 0.01
L піна	29.93 ± 0.53	-	4.53 мм	53.13 ± 0.01

Еталонний поліуретановий аерогель був синтезований відповідно до процедур, описаних в експериментальному розділі. Після надкритичного процесу сушіння вуглекислим газом об'ємна щільність аерогелю була виміряна на рівні 128 кілограмів на кубічний метр, що вказує на високу пористість у 88 відсотків, виходячи зі значення твердої щільності 1,16 кілограмів на кубічний метр. Текстульні властивості були проаналізовані за допомогою адсорбції азоту, виявивши значну площу внутрішньої поверхні 241 квадратних метри на грам і середній розмір пор приблизно 116 нанометрів.

Ці характеристики призводять до зниження ефективної теплопровідності до 13,9. Відносно низька щільність сприяє зниженню теплопровідності через тверду фазу. Крім того, очікується підвищене фонне розсіювання на невеликих переходах, що утворюються між сферичними полімерними частинками. Наявність дрібних пор, діаметром порядку нанометрів, посилює ефект Кнудсена, ще більше знижуючи газопровідність всередині аерогелю.

Композити пінополіуретан-поліуретановий аерогель були отримані з використанням золь-гель процесу. Приклад отриманого композиту проілюстровано на рисунку. Коли світло проходить крізь гель, його прозора природа виявляє чітку сітчасту структуру, вказуючи на те, що пори пінопласту повністю заповнені аерогелем. Це утворення створює безперервну мережу, інтегровану з полімерною матрицею пінополіуретану.



Рис. 1.3. Зовнішній вигляд гелів, коли промінь світла проходить через зразок

На рисунку проілюстровано приклад композиту пінополіуретан-поліуретановий аерогель, отриманий шляхом сушіння гелю за допомогою надкритичного вуглекислого газу. Під час процесу сушіння аерогель дещо втрачає прозорість, внаслідок чого набуває білувато-блакитного кольору. Однак цілісність пінної структури зберігається, що свідчить про сприятливу взаємодію між двома матрицями.

Вимірювали об'ємну щільність композиту, а також визначали масовий відсоток аерогелю, розраховуючи відношення початкової маси пінополіуретану до кінцевої маси композиту пінополіуретан-поліуретановий аерогель. Додатково було оцінено об'ємну усадку всіх композитів. Узагальнення цих результатів представлено в таблиці.

Таблиця 1.2. Щільність, маса аерогелю та об'ємна усадка КОМПЗИТІВ

Зразок	Густина (кг/м ³)	Маса аерогелю (%)	Sv (%)	Густина аерогелю (кг/м ³)	Пористість аерогелю (%)
PU аерогель	135.45 ± 1.58	-	66.3	-	88.87
S піна	30.87 ± 0.74	-	-	-	-
S композит	140.7 ± 0.32	81.95	9.6	113.3 ± 5.57	90.70
M піна	30.66 ± 0.42	-	-	-	-
M композит	131.25 ± 1.99	80.90	8.9	103.5 ± 4.94	91.46
L піна	29.93 ± 0.53	-	-	-	-
L композит	128.15 ± 0.94	80.78	-1.6	102.5 ± 4.41	91.59

Як і передбачалося, об'ємна щільність композиту перевищує щільність пінополіуретану завдяки включенню аерогелю. Однак виміряна густина композитного матеріалу є нижчою за очікуване значення 128 кілограмів на кубічний метр для поліуретанового аерогелю. Цю розбіжність можна пояснити значно меншою експериментальною усадкою композиту в процесі виготовлення порівняно з усадкою монолітного аерогелю, яка вимірюється на рівні 66 відсотків.

Включення поліуретану в структурну основу аерогелю сприяє зменшенню загальної щільності і призводить до зменшення усадки. Густина поліуретанового аерогелю в композиті була оцінена за допомогою рівняння, отриманого на основі закону змішування:

$$\rho_{aerogel} = \frac{\rho_{composite} - \rho_{rPU_{foam}} \cdot \rho_{rPU_{solid}}}{P_{PU_{foam}}}$$

У цьому аналізі відносна густина пінополіуретану, позначена як відносна густина пінополіуретану, враховує твердий каркас поліуретану. Щільність твердого поліуретану представлена як щільність твердого поліуретану, а пористість пінополіуретану - як пористість пінополіуретану з

урахуванням об'єму пор, зайнятих аерогелем. Відносна густина аерогелю позначається як відносна густина аерогелю, що включає густину твердого поліуретанового каркасу.

1.2. Характеристики матеріалів

Спостережувана щільність аерогелю нижча за очікувану, в першу чергу завдяки структурному каркасу, який ефективно зменшує усадку. Цей захисний ефект посилюється зі збільшенням розмірів пор. Аерогель досягає мінімальної щільності 97,7 кілограмів на кубічний метр, що контрастує з очікуваним значенням 128 кілограмів на кубічний метр, що є значною перевагою цієї стратегії армування. Крім того, пористість аерогелю збільшується з 87% до 93% в результаті присутності поліуретанового каркасу.

Взаємозв'язок між розміром пор і об'ємною щільністю має чітку тенденцію: менші пори відповідають більш щільному композитному матеріалу. Ця тенденція впливає на об'ємну усадку зразків. Наприклад, композит з найменшим розміром пор демонструє найбільшу усадку при найвищій щільності 133 кілограми на кубічний метр. Для порівняння, композит з дещо меншою об'ємною усадкою на 8,91 відсотка призводить до зменшення щільності до 124 кілограмів на кубічний метр. І навпаки, композит, що характеризується найбільшими порами, має від'ємне значення об'ємної усадки -1,67 відсотка. Це явище в першу чергу виникає через розширення пінополіуретану при зануренні в основу. Отже, цей композит розширюється з мінімальною усадкою, даючи найнижчу щільність 122 кілограми на кубічний метр.

Об'єм аерогелю, який може проникати в пористу структуру, є однаковим для всіх композитів, кожен з яких містить 83 вагових відсотків поліуретанового аерогелю. Комірчаста архітектура піни складається виключно з мережі полімерних опор, що підкреслює значну варіацію в розмірах пор. Ефективність поліуретанового аерогелю в заповненні пор пінопласту залежить від взаємодії між двома матрицями та в'язкості розчину

перед гелеутворенням, які є критично важливими для формування композиту.

Фотомікрофотографії композиту з пінополіуретану та поліуретанового аерогелю ілюструють ці висновки. У композиті, сформованому з пінопласту з найменшим розміром пор, комірки ретельно заповнені поліуретановим аерогелем. У композитах з більшим розміром пор майже всі поліуретанові стрижні обволікаються аерогелем, що ускладнює ідентифікацію ділянок, де піна залишається видимою. Ці зображення підкреслюють сильну когезію між аерогелем і оригінальною поліуретановою піною.

Детальний вигляд однієї зі стінок пор показує внутрішню структуру аерогелю, яка складається зі сферичних частинок нанометрового діапазону розмірів, з'єднаних тонкими шийками.

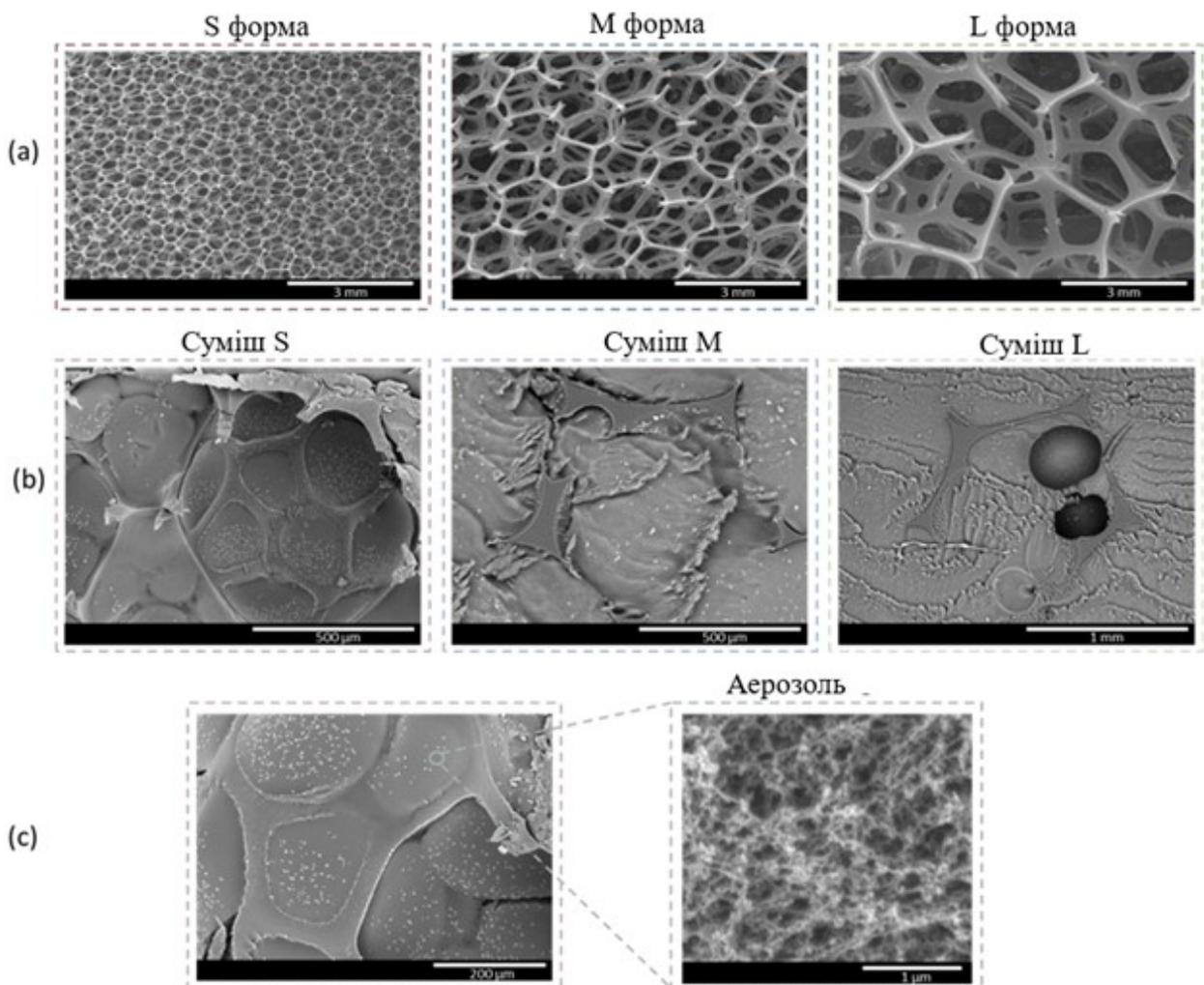


Рис. 1.4. Комірчаста структура сітчастих пінопластів

Додаткова інформація містить скануючі електронні мікрофотографії, що показують поліуретановий аерогель і монолітний аерогель в порах пінопласту при різних збільшеннях. Інтеграція аерогелю в поліуретанову матрицю, яка є термічно зв'язаною, знижує загальну щільність і підвищує пористість аерогелю.

На противагу цьому, композитний матеріал продемонстрував відмінну поведінку. Напруга, необхідна для досягнення 15-відсоткової деформації в композиті, приблизно в дванадцять разів більша, ніж у пінополіуретані (близько 0,05 мегапаскаля порівняно з 0,007 мегапаскаля в пінопласті). Композитний матеріал також продемонстрував подібну стійкість як у фазі стиснення, так і в фазі декомпресії, подібно до моделей відновлення, що спостерігаються у чистому поліуретановому аерогелі. Однак чистий аерогель продемонстрував вищу міцність, досягнувши рівня напруження 0,084 мегапаскаля, що є вищим порогом, ніж у композиту.

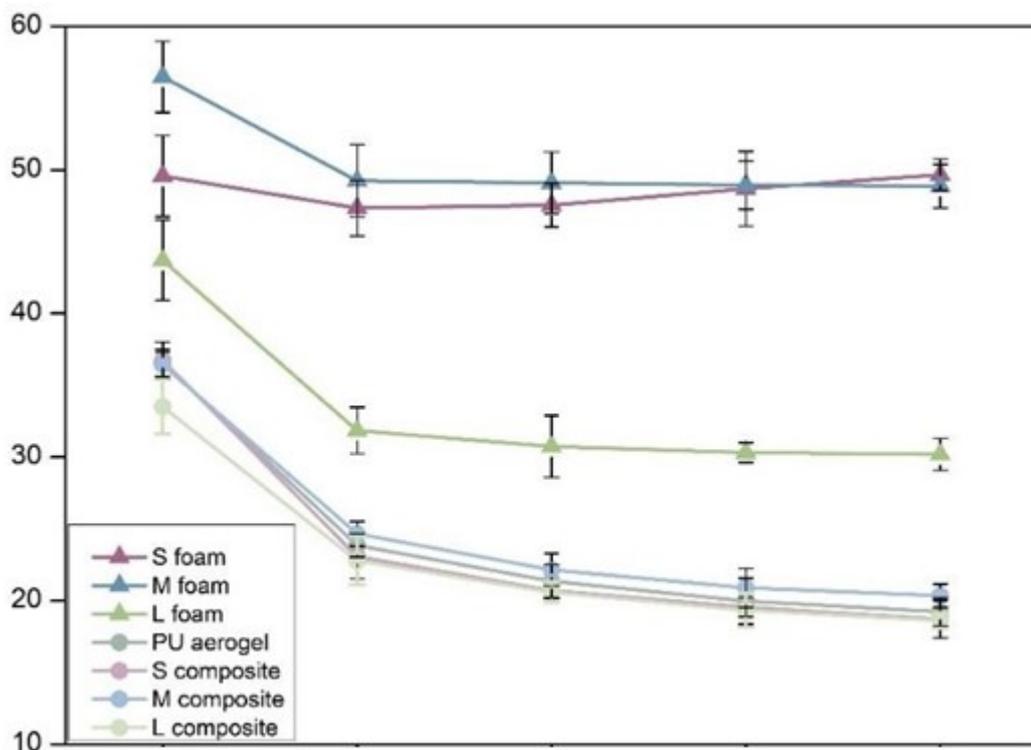


Рис. 1.5. Зображення виготовлених зразків

Площа гістерезису композитів значно менша, ніж у вихідної піни, що свідчить про їхню підвищену еластичність. Варто зазначити, що коефіцієнт втрати енергії композиту близький до коефіцієнта втрати енергії монолітного

аерогелю, демонструючи значення 37%, 24%, 20%, 19% і 18% протягом п'яти циклів стиснення-декомпресії. Така стабільність підкреслює довговічність композиту при повторних деформаціях, оскільки він зберігає 11% стисливість без суттєвої деградації властивостей. Серед композитів область гістерезису у зразку з найбільшим розміром пор демонструє незначне зменшення, що свідчить про вищу еластичність порівняно з монолітним аерогелем. Ця характеристика надає композитним матеріалам другу значну перевагу: помітне підвищення еластичності порівняно з вихідною структурою пінополіуретану.

Модуль пружності для кожного зразка був розрахований на основі лінійної частини п'яти циклів стиснення і нормалізований для щільності зразка, щоб мінімізувати вплив щільності на механічні характеристики. Ця нормалізація густини дозволяє більш точно порівнювати зразки з різною густиною, як це було рекомендовано раніше для подібних матеріалів з метою покращення порівнянності. У поліуретанових аерогелях модуль Юнга показав чутливість до густини, причому значення цього ефекту коливаються від 3,74 до 7,76.

Отже, коригування модуля на щільність було необхідним, особливо в композитній матриці, що поєднує піну та аергель, де різниця в щільності є більш вираженою. Значення модуля пружності для початкового циклу показують незначне зниження модуля пружності порівняно з монолітним аерогелем. Однак композит значно підвищує жорсткість пінопласту, демонструючи покращення у 2,3, 3,7 та 6,4 разів порівняно з початковим модулем пружності для пінополіуретану. Це посилення є результатом інтеграції високомодульного поліуретанового аерогелю в пори пінопласту, які раніше були незаповненими, що надає значної жорсткості композитній структурі.

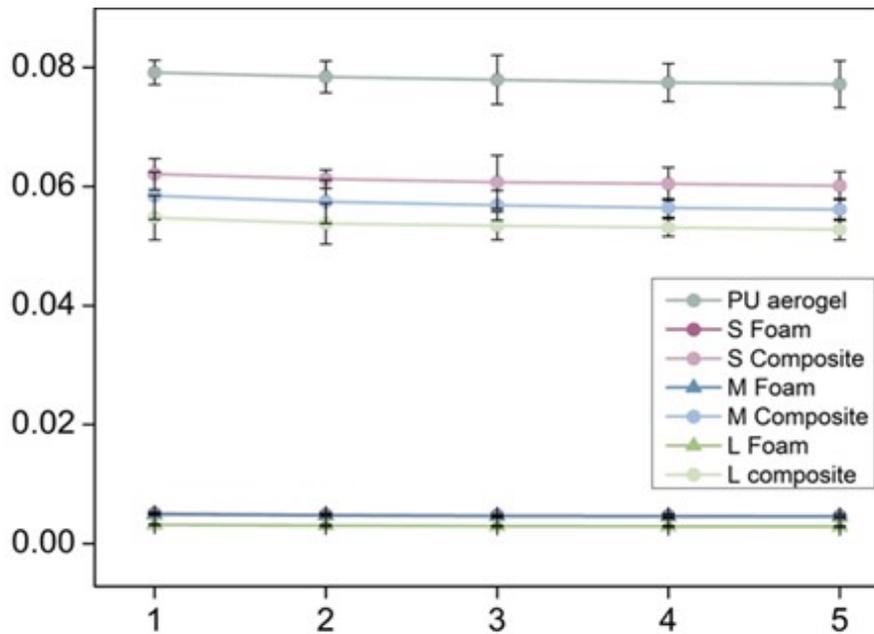


Рис. 1.6. Напряга при деформації 10% для кожного циклу стиску-декомпресії

Реакція на напруження в циклах стиснення-декомпресії помітно змінюється, коли зразки досягають рівня деформації 12%. На графіку можна виділити три групи. Пінополіуретан, який демонструє найнижчий рівень напружень 0,0053 МПа, є найм'якшим випробуваним матеріалом, з конкретними значеннями, наведеними в супровідних даних. На противагу цьому, композити пінополіуретан-поліуретановий аерогель демонструють значно підвищені значення напружень, що досягають 0,061 МПа. Для цих композитів модуль пружності збільшується в 12,3, 12,1 і 17,4 рази, відповідно, порівняно з вихідним пінопластом. Таке підвищення вказує на те, що піна з найбільшими порами робить значний внесок у загальну міцність композиту.

Поліуретановий аерогель демонструє найвище значення напруження на рівні 0,082 МПа за механічними характеристиками між чистою піною і чистим аерогелем. Цей результат показує, що піна, наповнена поліуретановим аерогелем, забезпечує вищу жорсткість, ніж піна з порами, заповненими повітрям, причому напруження залишається незмінним протягом п'яти циклів випробувань.

Подальші експерименти за вищих рівнів деформації виявляють відмінності в поведінці пінополіуретану під час стиснення. Крива напруження-деформація пінопласту має три чіткі фази: початкову лінійну фазу, що вказує на пружну деформацію, за якою слідує область плато, фаза ущільнення при деформації 68%. Серед випробуваних зразків пінопласт зображений зеленим кольором демонструє нижчу міцність на стиск порівняно з іншими пінопластами, досягаючи еквівалентної деформації при менших напруженнях. Це спостереження підкреслює вплив структури пор на опір стисненню, оскільки більші пори корелюють зі зниженням міцності на стиск в умовах більшої деформації.

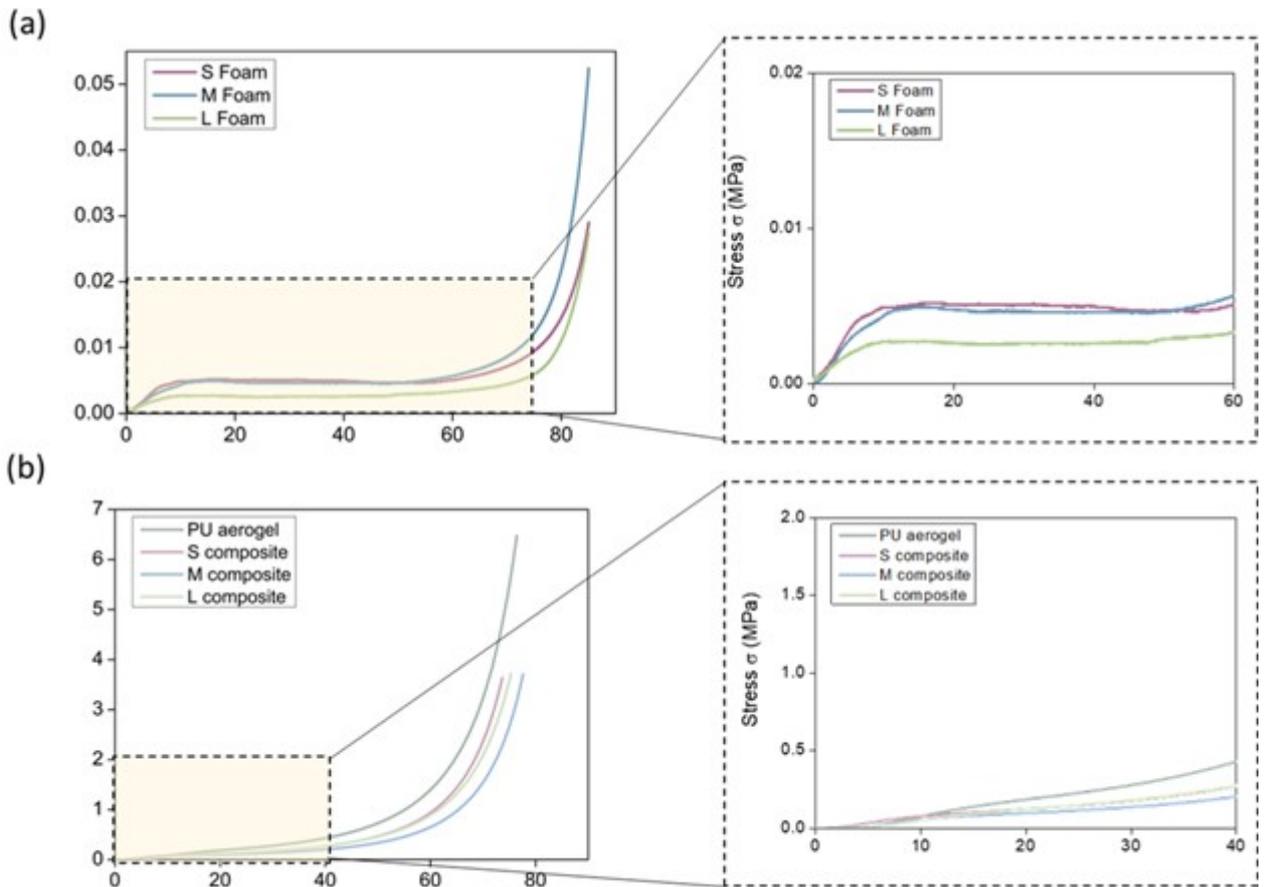


Рис. 1.7. Криві деформація-напруження для пінополіуретану і композитів при деформації 80%

Поведінка композиту і поліуретанового аерозолі подібна до поведінки пінополіуретану. Однак лінійна ділянка закінчується при меншій деформації приблизно на 7%, при цьому рівні напружень значно вищі, ніж у пінопласту. Після цієї початкової лінійної реакції композит і аерогель демонструють фазу

плато між 9% і 38% деформації, яка потім переходить у фазу поступового збільшення щільності, досягаючи яскраво вираженого піку при деформації 61%. Примітно, що ні чистий аерогель, ні композит не руйнуються при високих стискаючих навантаженнях, що призводить до значного ущільнення частинок у поровій структурі аерогелю.

З цих кривих можна отримати значення напружень при різних рівнях деформації і скоригувати їх на насипну густину, що дозволяє порівнювати зразки. Для всіх проаналізованих штабів чистий аерогель вимагає дещо вищого напруження, ніж композитний матеріал. На противагу цьому, кінцевий композит демонструє суттєве покращення жорсткості порівняно з вихідною пінополіуретановою піною, демонструючи помітно підвищену стійкість до навантажень на кожному рівні деформації.

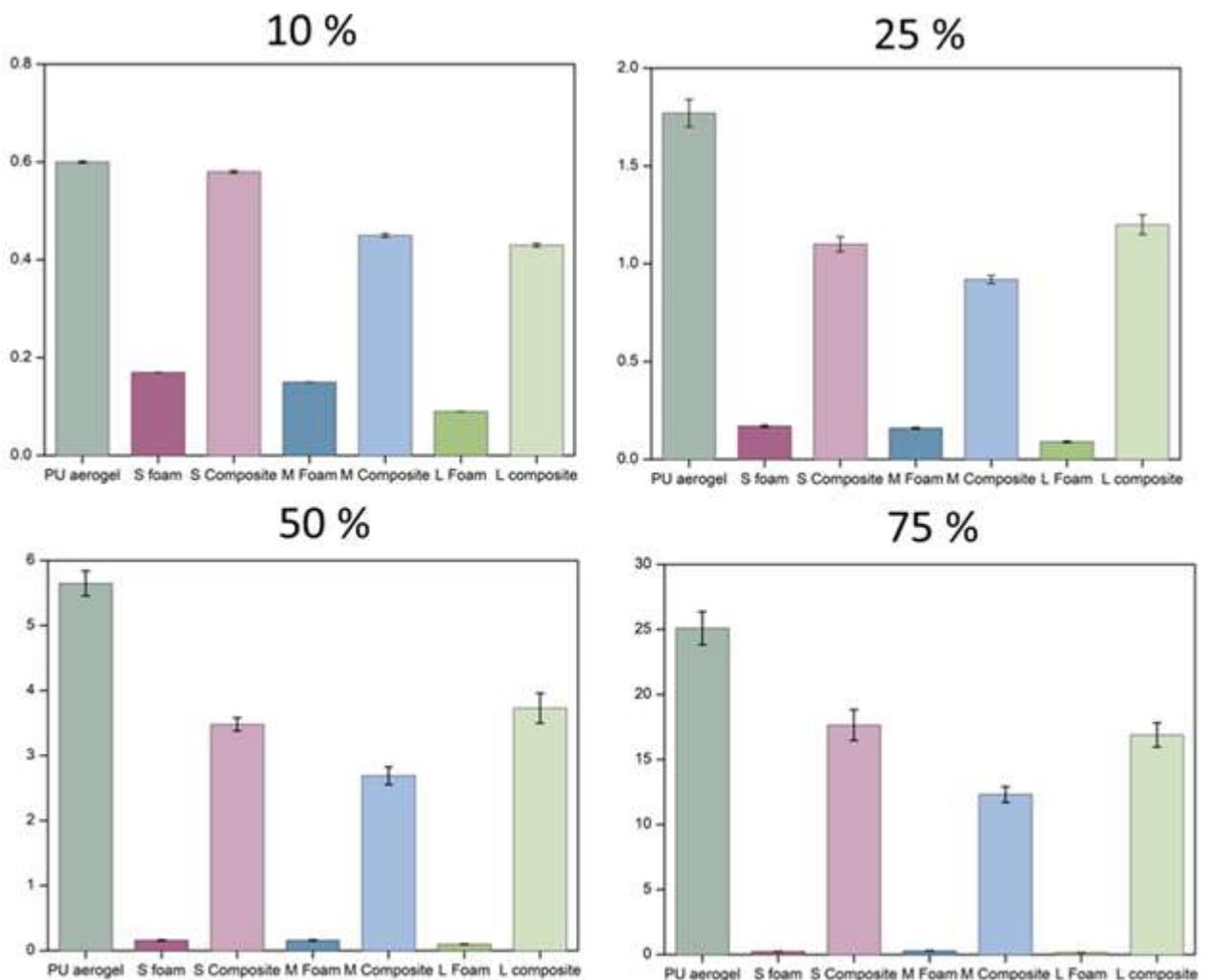


Рис. 1.8. Нормовані напруги при різних деформаціях для досліджуваних зразків

Композитний матеріал продемонстрував механічні характеристики, які були проміжними між поліуретановим аерогелем і пінополіуретаном, з помітно вищою міцністю на стиск, ніж у пінопласту. Усі три композити мали однакову відносну міцність на стиск незалежно від розміру комірок пінопласту при деформації. Примітно, що залежність від розміру комірок спостерігалася лише за нижчих рівнів деформації, коли міцність на стиск мала тенденцію до збільшення зі зменшенням розміру комірок пінопласту.

Теплофізичні властивості оцінювали за допомогою стаціонарного методу для адіабатичної ємності. Для загальної теплопровідності було визначено чотири основні фактори, що впливають на загальну теплову поведінку:

$$\lambda_T = \lambda_s + \lambda_g + \lambda_r + \lambda_c$$

Теплопровідність матеріалу складається з чотирьох основних складових: провідності через тверду фазу, газову фазу, випромінювання та конвекції в комірчаній структурі. Для пінополіуретанів конвективний внесок є особливо важливим, оскільки взаємопов'язані пори полегшують рух газу, що впливає на загальні теплові характеристики.

Твердофазний внесок пінопласту виникає внаслідок передачі фононів вздовж безперервної реберної структури матеріалу. Цей внесок у провідність можна кількісно оцінити на основі шляхів проходження фононів через скелетну структуру пінопласту:

$$\lambda_s = \rho_{r(\text{PUfoam})} \cdot f_{s_3}^{\frac{\lambda'}{3}}$$

У цьому контексті відносна щільність відіграє ключову роль, а також масова частка полімерних стрижнів пінопласту, яка для сітчастих пінопластів дорівнює одиниці. Теплопровідність самої полімерної матриці, визначена при щільності 1170 кг/м³, також впливає на загальну теплопровідність. Однак, коли аерогель заповнює пори пінопласту, цей суцільний внесок змінюється. Передача фононів тепер відбувається через сферичні

наночастинки аерогелю, змінюючи ефективну теплопровідність композиту. Це явище можна представити наступним виразом:

$$\lambda_s = \rho_{\tau(PUaerogel)} \cdot \lambda'_s \cdot \frac{U}{U_s}$$

Твердофазна провідність композитних матеріалів складається з двох основних внесків: один з твердої поліуретанової матриці, а інший - з твердої фази поліуретанового аерозолі. У цій системі з подвійною структурою вступають в дію два ефекти. По-перше, внесок твердої фази збільшується з підвищенням щільності кінцевого композиту. Однак тонкі взаємозв'язки між сферичними частинками аерогелю перешкоджають транспортуванню фононів, ефективно зменшуючи швидкість звуку через фазу аерогелю. Це, разом з посиленням розсіюванням фононів, що пояснюється малим масштабом цих зв'язків, знижує провідність твердої фази.

В якості початкової оцінки, твердофазну провідність композиту, припускаючи дійсну модель серії, можна представити наступним чином:

$$\lambda_s = [\rho_{\tau(PUfoam)} \cdot \lambda'_s] + [\Pi_{(PUfoam)} \cdot \rho_{\tau(PUaerogel)} \cdot (\lambda'_s \cdot \frac{U}{U_s})]$$

Перший компонент виразу теплопровідності відображає твердий внесок поліуретанової основи. Другий компонент, який включає пористість структури пінополіуретану, пояснює внесок твердої фази від аерогелю.

З точки зору провідності газової фази всередині пінополіуретану, на це впливає пористість піни, яка представляє об'ємну частку, не зайняту твердим матеріалом. Крім того, теплопровідність газу всередині пор є критичним фактором, оскільки вона сприяє загальним тепловим характеристикам композиту. Таким чином, взаємодія між твердою структурою та газоподібними компонентами відіграє значну роль у визначенні теплопровідності матеріалу:

$$\lambda_s = 1 - \rho_{\tau(PUfoam)} \cdot \lambda'_g$$

Коли повітряний гель заповнює внутрішню газову фазу пінопласту, газовий внесок є похідним від газоподібної фази, присутньої в самому повітряному гелі. Важливим явищем у цьому контексті є ефект Кнудсена, який є особливо актуальним, коли розмір пор матеріалу наближається до нанометрового. Цей ефект впливає на поведінку молекул газу в малих порах, що призводить до відхилень від класичної поведінки газу і впливає на загальну теплопровідність композитного матеріалу:

$$\lambda_g = \Pi_{(PUfoam)} \cdot (1 - \rho_{r(PUAerogel)}) \cdot \frac{\lambda_{go}(T)}{1 + \frac{2\beta l_p}{\varphi_{pore}}}$$

У цьому контексті теплопровідність газу в порах представлена конкретною величиною, а коефіцієнт кореляції вказує на зв'язок між структурою аерогелю і передачею енергії між молекулами газу. Для повітря цей коефіцієнт становить 1,63. Крім того, середня довжина вільного пробігу молекул газу становить 74 нанометрів. Середній розмір пор відіграє вирішальну роль у цьому явищі. Очікується, що ефект Кнудсена значно зменшить внесок газу в теплопровідність, що призведе до підвищення ефективності ізоляції.

Крім того, на випромінювальну здатність впливають насамперед середня температура і коефіцієнт згасання. Цей взаємозв'язок сформульовано в рівнянні Россленда, яке описує, як ці фактори взаємодіють і впливають на випромінювальні властивості матеріалу:

$$\lambda_r = \frac{16 \cdot n^2 \cdot \sigma \cdot T^3}{3 \cdot (K_e)}$$

Константа Стефана-Больцмана кількісно характеризує теплове випромінювання, тоді як показник заломлення для пористих полімерів низької щільності дорівнює одиниці. Ефективний коефіцієнт екстинкції виникає внаслідок двох факторів: поглинальних характеристик твердої поліуретанової матриці та комбінованих ефектів поглинання і розсіювання поліуретановим аерогелем.

Експериментальні вимірювання теплопровідності при температурі 12 градусів представлені в допоміжній таблиці. Як і передбачалося, додавання поліуретанового аерозолю до пінопласту значно знижує теплопровідність. Для пінопласту з найменшим розміром пор початкова теплопровідність 34 міліват на метр-кельвін знижується до 15,8 міліват на метр-кельвін. У пінопласту з середнім розміром пор початкове значення 40,34 міліват на метр-кельвін знижується до 16,62 міліват на метр-кельвін, тоді як для пінопласту з найбільшими порами зниження становить від 50,62 міліват на метр-кельвін до 16,08 міліват на метр-кельвін. Ці зниження відповідають зменшенню на 54%, 57% і 67% для малих, середніх і великих композитів відповідно. Ця тенденція ілюструє, що теплопровідність зменшується більш суттєво зі збільшенням розміру пор. Крім того, ізоляційна здатність композиту пінополіуретан-поліуретан-повітряний гель наближається до теплопровідності чистого повітряного гелю, який має теплопровідність 13,9 мілліватт на метр-кельвін.

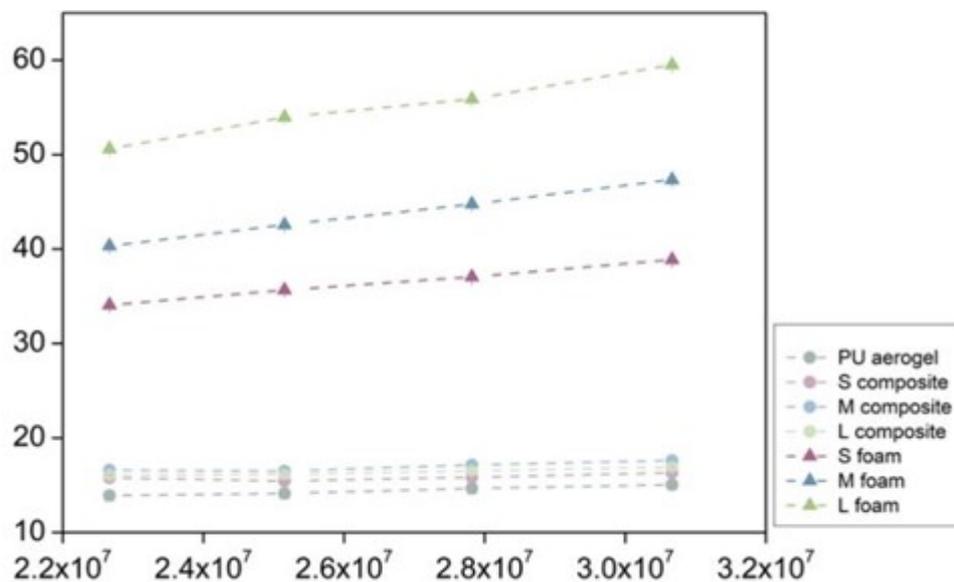


Рис. 1.9. Теплопровідність зразків

Повідомляється, що теплопровідність пінополіуретану становить від 26 до 34 мілліватт на метр-кельвін, хоча деякі дослідження демонструють дещо нижчі значення. Було досягнуто теплопровідності 22,84 мілліватт на метр-кельвін з використанням поліолів на основі лігніну та ріпаку. Аналогічно, в

іншому дослідженні було отримано значення 22 мілліватт на метр-кельвін для пінопласту з мікроелементами. Поширеним підходом до покращення теплоізоляційних характеристик є використання високомолекулярних газів, таких як циклопентан або гідрофторолефіни, в якості піноутворювачів, які залишаються в порах пінопласту.

Однак ці значення теплопровідності значно вищі, ніж ті, що досягаються за допомогою стратегій інкапсуляції з використанням повітряного гелю, які забезпечують чудову теплоізоляцію. Зареєстровані значення теплопровідності поліуретанових аерогелів коливаються від 13 до 102 мілліватт на метр-кельвін, залежно від характеристик зразка. Отже, значення теплопровідності, що спостерігаються для композитів пінополіуретан-поліуретановий аерогель, можна порівняти зі значеннями теплопровідності деяких монолітних поліуретанових аерогелів, описаних в літературі.

Зв'язок між теплопровідністю і температурою для радіаційного періоду має кубічну залежність. Цей температурний ефект проілюстровано на графіку залежності теплопровідності від куба температури. Більш ранні пінопластові склади демонстрували сильнішу залежність теплопровідності від температури. Однак для поліуретанових аерогелів та їх композитів цей ефект зменшується через підвищені абсорбційні властивості, які призводять до вищого коефіцієнта екстинкції, що згодом зменшує час життя випромінювання.

Застосовуючи відповідні рівняння, можна отримати теоретичні внески в ефективну теплопровідність пінополіуретану, монолітних аерогелів і композитів. Цей аналіз дозволить визначити, які члени зазнають значних змін під час синтезу композиційних матеріалів. Внесок газу в теплопровідність розраховували за спеціальними рівняннями для пінопласту та композитних матеріалів. Для пінополіуретану загальна теплопровідність була отримана шляхом віднімання газового і твердого внесків від ефективної

теплопровідності, оскільки розрахунок конвективного внеску представляє певні труднощі.

Внесок твердого тіла для пінополіуретану оцінювали за допомогою спеціального рівняння, тоді як для аерогелю і композитних матеріалів він визначався як різниця між ефективною теплопровідністю і внесками газу і випромінювання. Подальші дослідження будуть спрямовані на вивчення цих аспектів, а результати будуть нанесені на графіки для кращої візуалізації та аналізу.

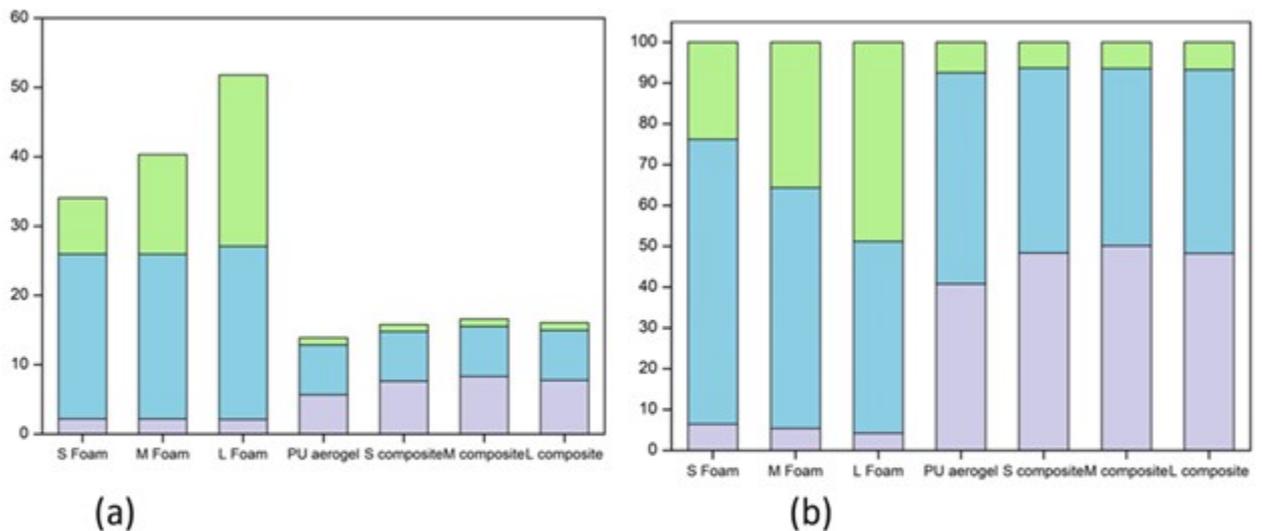


Рис. 1.10. Внески теплопровідності для пінополіуретану, гелю та композитів

Розподіл внесків теплопровідності суттєво відрізняється між різними матеріалами. У пінополіуретану випромінювальний і конвективний внески є значними через наявність великих пор у його структурі. На противагу цьому, внески від випромінювання мінімальні в аерогелях і композитах, в першу чергу завдяки високим коефіцієнтам поглинання цих матеріалів, які підвищують їхню здатність поглинати випромінювання.

Газова фаза є основним фактором, що впливає на загальну теплопровідність як у пінопласті, так і в аерогелі, на неї припадає 55-75% теплопровідності пінопласту, із загальним значенням 23 мілліватт на метр-кельвін. Для аерогелів і композитних матеріалів внесок газу становить від 45 до 55%, що призводить до значення теплопровідності 8 мілліватт на метр-

кельвін. Це явище можна пояснити ефектом Кнудсена, який стає значним, коли розміри пор суттєво зменшуються, як це спостерігається в аерогелях.

Крім того, структура сітчастої піни складається з мережі тонких розпірок, які складають лише 2,6% її загального об'єму. На противагу цьому, монолітні аерогелі та композитні матеріали мають зовсім іншу структуру. Тверда фаза в монолітному аерогелі становить 13% його загального об'єму, з пористістю 88%, і складається з наночастинок, з'єднаних між собою на нанорівні через невеликі шийки, які полегшують передачу фононів.

Таким чином, аналіз показує, що композит пінополіуретан-пінополіуретан-повітряний гель демонструє помітне зменшення внесків конвекції, випромінювання і газової фази. Це зменшення в кінцевому підсумку призводить до значного зниження загальної теплопровідності, що підтверджується експериментальними даними.

Висновок

Композити з пінополіуретану та пінополіуретанового аерогелю були ефективно синтезовані за допомогою одностадійного золь-гель методу з подальшим процесом надкритичного сушіння. Під час цієї процедури поліуретановий гель утворює сітчастий каркас, який рівномірно заповнює всю структуру, що призводить до діапазону щільності від 113 до 124 кг/м³. Вагова частка аерогелю в композиті залишається відносно постійною і становить 81%.

Отже, коливання кінцевої щільності можна пояснити усадкою аерогелю під час висихання, причому менші пори піни зазнають більшого звуження. Крім того, щільність поліуретанового аерогелю в композиті помітно знижується через мінімальну усадку, пов'язану з каркасом, створеним піною. Така взаємодія призводить до збільшення пористості з 87% до 92%.

Для оцінки ефективності взаємодії між пінополіуретаном та аерогелем було використано скануючу електронну мікроскопію. Аналіз показав, що всі композити складаються з безперервної сітки аерогелю, перемеркованої

порами пінопласту, що свідчить про значні когезійні сили між двома матрицями.

Всі синтезовані композити демонструють відмінну гнучкість, еластичність і здатність до відновлення при стисненні. Примітно, що коефіцієнт втрати енергії для L-композитів дещо зменшується, а еластичність збільшується. При оцінці напруги, необхідної для досягнення 12% деформації від початкової форми, було виявлено, що необхідно в 10 разів більше напруги, що підкреслює підвищену міцність композиту. Крім того, композити зберігають свою цілісність при великих деформаціях, стаючи щільнішими після 62% деформації без руйнування.

Теплопровідність композитів суттєво знижується при введенні аерогелю в пінопласт: зниження на 54%, 57% і 67% спостерігається для композитів. Теплопровідність цих композитних матеріалів була виміряна на рівні 15,78, 16,2 і 16,08 міліватт на метр-кельвін при 12 °С, що свідчить про відмінні теплоізоляційні властивості. Таке значне зниження теплопровідності можна в першу чергу пояснити зменшенням внеску як газової фази, так і випромінювання.

РОЗДІЛ 2. ОПИС АРХІТЕКТУРНО-ПЛАНУВАЛЬНОГО РІШЕННЯ БУДІВЛІ

2.1. Ситуаційний план



Рис. 2.1. Ситуаційний план

Будівля, в якій планується провести капітальний ремонт, розташована на вулиці Мирній в місті Гостомель.

2.2. Об'ємно-планувальне рішення

Ця будівля висотою 66,5 метрів має міцну каркасну конструкцію, призначену для підтримки вертикальних і бічних навантажень, пов'язаних з її багатоповерховою висотою. Конструктивний каркас складається з монолітних залізобетонних колон і ригелів, що утворюють сітку, яка підтримує навантаження на будівлю.

Перекрыття будівлі побудовані монолітним методом, із залізобетонних плит товщиною 250 міліметрів. Ці плити простягаються між ригелями і колонами, забезпечуючи жорстке і міцне перекрыття для кожного поверху і сприяючи загальній стабільності каркасу. Для посилення структурної

цілісності конструкція включає посилені ядра у вигляді ліфтової шахти та сходової клітки, які забезпечують додаткову стійкість до бічних сил, таких як вітер або сейсмічна активність.

Розміри будівлі становить 24,6 метра вздовж осей А-Ж та 25,4 метра вздовж осей 1-8, що створює квадратне планування, яке ефективно використовує простір. Така конфігурація в поєднанні з монолітним каркасом і посиленими ядрами створює стабільну, добре розподілену структуру, придатну для висотного будівництва.

2.3. Архітектурно-конструктивне рішення

Фундаменти та основи

Фундамент цього 20-поверхового житлового будинку являє собою монолітну залізобетонну плиту, що спирається на сітку глибокозанурюваних паль, спеціально розроблену для задоволення структурних вимог висотного будівництва та мінливих ґрунтових умов. Монолітна плита товщиною 1000 мм, рівномірно розподіляє вертикальні навантаження по всьому пальному полю, зменшуючи осадку і забезпечуючи стабільність. Ця плита армована високоміцною сталевую арматурою, яка розташовується в двох перпендикулярних напрямках з щільним інтервалом 150-200 мм, щоб протистояти напруженням на вигин і зсув, що виникають у високих будівлях. Бетон, використаний для плити, має марку С30/37, міцність на стиск 30 МПа, обраний за його міцність і довговічність, що особливо підходить для висотного будівництва. Для запобігання проникненню вологи знизу, нижня частина плити гідроізолювана за допомогою поліетиленової мембрани високої щільності.

Пальове поле, яке утворює сітку під плитою, складається з бетонних буронабивних паль глибиною 20-30 метрів, що досягають стабільних шарів ґрунту для забезпечення міцної опори. Палі мають діаметр 1000 мм, підібраний таким чином, щоб витримати вагу будівлі та ефективніше розподілити її по ґрунту. Кожна паля армована сталевим арматурним каркасом і залита високоміцним бетоном С32/40, який має міцність на стиск

32 МПа, що робить її стійкою в умовах високих навантажень. Така конструкція є особливо корисною для стабілізації будівлі та контролю диференціального осідання.

Для утеплення та гідроізоляції монолітної плити фундаменту під час капітального ремонту житлового будинку застосовується системний підхід. Шар жорстких теплоізоляційних плит з екструдованого пінополістиролу встановлюється безпосередньо на затверділу плиту. Ці плити мають товщину 100 міліметрів і теплопровідність 0,035 Вт/м·К. Плити встановлюються в шаховому порядку, щоб мінімізувати теплові мости і забезпечити суцільне ізоляційне покриття.

Гідроізоляційна мембрана наноситься поверх шару ізоляції, щоб запобігти потраплянню води. Це листовая мембрана з поліетилену високої щільності товщиною 2 мм, приклеєна до ізоляції за допомогою сумісного клею. Шви перекриваються щонайменше на 150 міліметрів і ущільнюються для забезпечення безперервності.

Особлива увага приділяється переходам навколо конструктивних елементів, посилюючи їх гідроізоляційною стрічкою для забезпечення водонепроникного ущільнення.

Зовнішні, внутрішні стіни та перегородки

У цьому 20-поверховому житловому будинку зовнішні стіни побудовані з автоклавних газобетонних блоків щільністю 600 кілограмів на кубічний метр і товщиною 300 міліметрів. Кожен блок має розміри 600 мм x 300 мм x 300 мм, що забезпечує міцне і легке рішення, яке витримує лише власну вагу, що є важливим для збереження цілісності несучого каркасу.

В рамках капітального ремонту було утеплено стіни. Система ізоляції зовнішніх стін має композитну конструкцію, що починається з шару пінополіуретану товщиною 100 міліметрів. Його теплопровідність становить 0,022 Вт/м·К. За цим шаром слідує шар пінополіуретанового аерогелю товщиною 50 міліметрів, який забезпечує теплопровідності 0,013 Вт/м·К. Загальна товщина ізоляції становить 150 міліметрів, що значно підвищує

енергоефективність будівлі завдяки зменшенню тепловтрат і підтримці стабільної температури в приміщенні.

Для внутрішніх стін використовуються гіпсові блоки товщиною 100 міліметрів. Кожен гіпсовий блок має розміри 500 мм x 300 мм x 100 мм і призначений для забезпечення ефективної звукоізоляції з індексом зниження звуку 40 децибел. Ці блоки є вогнестійкими і сприяють безпеці внутрішніх приміщень будівлі. Внутрішні стіни додатково покриті гіпсокартонними плитами встановленими на металевому каркасі.

Покрівля

Плоский дах 20-поверхової будівлі в рамках комплексного капітального ремонту повністю демонтовано до монолітної бетонної плити товщиною 250 міліметрів. Монтаж нової покрівельної системи починається з підготовки поверхні, яка забезпечує чистоту, рівність і відсутність сміття на бетонній плиті, щоб забезпечити належну поверхню зчеплення для наступних шарів.

Першим шаром, що наноситься на плиту, є ґрунтовка, яка сприяє адгезії і створює сполучний шар для гідроізоляційних матеріалів. Після затвердіння встановлюється гідроізоляційна мембрана, яка являє собою двошаровий полімерно-бітумний лист товщиною 4 міліметри на шар, що наноситься за допомогою клейового з'єднання для створення безперервного, непроникного бар'єру проти проникнення води. Шви, що перекривають один одного, зварюються термічним зварюванням, щоб забезпечити повну цілісність гідроізоляції.

Далі йде теплоізоляційний шар, що складається з плит екструдованого полістиролу товщиною 120 міліметрів, обраних за їх низьку теплопровідність в 0,035 Вт/м·К. Плити стійкі до вологи, легкі та міцні, забезпечують ефективну ізоляцію для зменшення теплових втрат. Плити встановлюються в шаховому порядку для мінімізації теплових перемичок і механічно скріплюються та приклеюються для забезпечення стабільності.

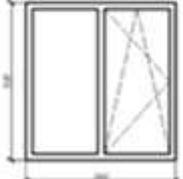
Поверх ізоляції наноситься розділовий шар нетканий геотекстильний лист, який захищає ізоляцію від механічних пошкоджень і допускає незначні переміщення між шарами, підвищуючи довговічність покрівлі. Останнім шаром покрівлі є захисний верхній шар, який виготовляється з бітумного матеріалу.

Вікна та двері

Таблиця 2.1. Специфікація дверей

Мар. поз	Позначення	Найменування	Всього	Маса од., кг.	Примітка
1	Т.У.2.6-11-97	Д.Б.700х2100	20		
2	Т.У.2.6-11-97	Д.Б.800х2100	8		
3	ГОСТ6629-88	ДО21-13	2		
4	Інд.вироб.	ДГ21-9	42		Дерев. Утепл.
5	ГОСТ6629-88	ДГ21-9	77		

Таблиця 2.2. Специфікація вікон

Мар. поз	Позначення	Найменування	Маса, од., кг.	Примітка
1	2	4	13	14
ВК1		ОРС19,8-15	-	
ВК2		ОРС13,8-15	-	
ВК3		ОРС13-19	-	

Покриття підлог

Укладання нової підлоги в під'їзді будівлі починається з ретельної підготовки існуючої основи, щоб забезпечити стабільну, рівну основу. Старе покриття, клей і сміття повністю видаляються, а поверхня підлоги

очищається, вирівнюється і латається за необхідності, щоб усунути будь-які нерівності. Для забезпечення гладкої, рівної поверхні наноситься самовирівнююча основа, що має вирішальне значення для належної адгезії та експлуатаційних характеристик нової підлоги.

Після того, як підкладка затвердіє, встановлюється шар звукоізоляційного матеріалу з гуми товщиною 5 міліметрів, щоб зменшити ударний шум і підвищити акустичний комфорт. Цей звукоізоляційний шар приклеюється безпосередньо на чорнову підлогу.

Потім за допомогою клею на цементній основі, придатного для приміщень з високою прохідністю, встановлюється керамогранітна плитка. Плитки встановлюються з прокладками між ними, щоб забезпечити рівномірні лінії затірки і професійну обробку. Кожна плитка ретельно вирівнюється, і клей застигає протягом 24 годин, щоб міцно закріпити плитку.

Зовнішнє і внутрішнє опорядження

Зовнішній ремонт входу в будівлю передбачає структурований підхід до відновлення довговічності та естетичного вигляду. Спочатку зі стін, колон і поверхонь входу видаляються всі пошкоджені матеріали, відкриваючи чисту і стабільну основу. Будь-які нерівності або пошкодження поверхні усуваються за допомогою вирівнюючої суміші, що забезпечує рівномірну і гладку основу для подальшого нанесення.

Грунтовка наноситься безпосередньо на підготовлену поверхню. Ця грунтовка є глибокопроникаючим силан-силоксановим розчином, спеціально розробленим для посилення адгезії та покращення вологостійкості. Він проникає в пори основи, створюючи зв'язок, який зміцнює з'єднання з наступними шарами.

Далі наноситься базовий шар полімер-модифікованого розчину, армованого синтетичними волокнами, товщиною 10 міліметрів. Цей полімер-модифікований розчин має високу адгезію, гнучкість і довговічність, утворюючи атмосферостійкий шар, що витримує вплив навколишнього

середовища. Волокна, що входять до складу розчину, підвищують тріщиностійкість, забезпечуючи довготривалу стійкість до структурних зрушень або температурних перепадів.

Для теплоізоляції поверх основного шару встановлюються плити пінополістиролу з фіксованою товщиною 100 міліметрів і теплопровідністю 0,038 Вт/м·К. Плити приклеюються до стіни цементним клеєм, спеціально розробленим для зовнішніх робіт, і механічно закріплюються за допомогою кріплень, щоб запобігти будь-якому зміщенню.

Після ізоляції шар скловолоконної сітки вкладається в шар полімер-модифікованого розчину товщиною 5 міліметрів. Цей шар наноситься безпосередньо на плити для зміцнення зовнішньої поверхні. Скловолоконна сітка, призначена для ударостійкості та запобігання утворенню тріщин, ретельно вкладається для створення стабільного, еластичного шару. Цей процес гарантує, що вхідна конструкція витримує як механічні удари, так і зовнішні вібрації, що є важливим для зон з високим трафіком.

Останнім шаром є акрилове покриття на основі акрилу, яке наноситься товщиною 3 міліметри. Ця штукатурка має високу водостійкість, паропроникність і стійкість до ультрафіолетового випромінювання. Її склад запобігає проникненню вологи, дозволяючи стіні дихати, зменшуючи ризик утворення конденсату. Доступна у вибраному кольорі, ця акрилова штукатурка також стійка до вицвітання та розтріскування під впливом сонячних променів, що гарантує, що вхід збереже свій зовнішній вигляд з плином часу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Житлові будинки. Основні положення: ДБН В.2.2-15:2019 [Чинний від 2019-12-01]. -К: Мінрегіонбуд України, 2019. – 54 с. (Національні стандарти України).
2. Пожежна безпека об'єктів будівництва: ДБН В.1.1.7-2016 [Чинний від 2017-06-01]. -К: Держбуд України, 2017. – 84 с. (Національні стандарти України).
3. Благоустрій територій (зі Змінами): ДБН Б.2.2-5:2011 [Чинний від 2012-09-01]. -К: Мінрегіонбуд України, 2019. – 44 с. (Національні стандарти України).
4. Природне і штучне освітлення: ДБН В.2.5-28:2018 [Чинний від 2019-02-28]. -К: Мінрегіонбуд України, 2018. – 7 с. (Національні стандарти України).
5. Склад та зміст проектної документації на будівництво: ДБН А.2.2-3-2014 [Чинний від 2014-10-01]. -К: Мінрегіонбуд України, 2014. – 10 с. (Національні стандарти України).
6. Теплова ізоляція будівель: ДБН В.2.6-31:2016 [Чинний від 2016-10-01]. -К: Мінрегіонбуд України, 2017. – 15 с. (Національні стандарти України).
7. Навантаження і впливи. Норми проектування: ДБН В.1.2-2:2016 [Чинний від 2017-10-01]. -К: Мінрегіонбуд України, 2016. – 13-16 с. (Національні стандарти України).
8. Основи і фундаменти будівель та споруд. Основні положення: ДБН В.2.1-10:2018.
9. Конструкції зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією: ДБН В.2.6-33:2018.
10. Кам'яні та армокам'яні конструкції: ДБН В.2.6-162:2010.
11. Покриття будівель і споруд: ДБН В.2.6-220:2017
12. Кошторисні норми України. Ресурсні елементні кошторисні норми на будівельні роботи. Підлоги.

13. Вікна та двері: ДСТУ EN 14351-1:2020.
14. Кошторисні норми України. Ресурсні елементні кошторисні норми на будівельні роботи. Оздоблювальні роботи
15. Каналізація. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування: ДБН В.2.5-75:2013.
16. Охорона праці і промислова безпека в будівництві ДБН А.3.2-2-2009: [Чинний від 2012-04-01]. -К: Мінрегіонбуд України, 2012. – 53-54 с. (Національні стандарти України).
17. Організація будівельного виробництва: ДБН А.3.1-5:2016 [Чинний від 2016-01-01]. -К: Мінрегіонбуд України, 2016. – 44-46 с. (Національні стандарти України).
18. Кошторисні норми України «Настанова з визначення вартості будівництва»: [Чинний від 2021-11-09]. -К: Мінрегіонбуд України, 2021. – 44-46 с. (Національні стандарти України).
19. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення: ДБН В.2.6- 98:2009 [Чинний від 2011-01-01]. -К: Мінрегіонбуд України, 2011. – 45 с. (Національні стандарти України).
20. Довідково-інформаційний збірник ресурсів та одиничних розцінок на будівельно-монтажні роботи, Суми, СНАУ – 2011 р.