

**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: «Техніко-економічні аспекти використання сучасних  
конструктивних матеріалів при будівництві багатоповерхового житлового  
будинку в м. Конотоп»

Виконав (ла)

\_\_\_\_\_  
(підпис)

М. О. Гусак

\_\_\_\_\_  
(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**

**Гусак Максим Олександрович**

**Тема роботи:** Техніко-економічні аспекти використання сучасних конструктивних матеріалів при будівництві багатоповерхового житлового будинку в м. Конотоп

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. Опис технології самовідновлювального бетону, 1.2. Методологія виробництва, 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)

18 слайдів мультимедійного матеріалу

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**Керівник :**

(підпис)

А. С. Бородай  
(Прізвище, ініціали)

**Консультант**

(підпис)

А. С. Бородай  
(Прізвище, ініціали)

**Завдання прийняв до виконання:**

**Здобувач**

(підпис)

М. О. Гусак  
(Прізвище, ініціали)

## Анотація

Гусак Максим Олександрович «Техніко-економічні аспекти використання сучасних конструктивних матеріалів при будівництві багатоповерхового житлового будинку в м. Конотоп» – 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.

Бетон є найбільш використовуваним матеріалом у будівництві, що відіграє важливу роль як у новому будівництві, так і в ремонті існуючих конструкцій. Однак традиційний бетон схильний до розтріскування та деградації, що потребує регулярного обслуговування та збільшує екологічні і фінансові витрати. Розробка бетону, що самовідновлюється, є інноваційним рішенням, яке дозволяє зменшити потребу в технічному обслуговуванні та продовжити термін служби конструкцій, що відповідає вимогам стійкості в будівництві та зменшення негативного впливу на навколишнє середовище.

Метою цього дослідження є порівняння вартості життєвого циклу традиційного бетону та двох типів бетону, що самовідновлюється, з фокусом на зниження витрат на обслуговування та збільшення довговічності конструкцій. Дослідження також оцінює перспективи використання самовідновлювального бетону на прикладі житлового багатоповерхового будинку в місті Конотоп. Для цього застосовано підхід оцінки життєвого циклу, поєднаний з факторним методом, що враховує вплив матеріалів на глобальні витрати та довговічність.

Наукова новизна роботи полягає у розробці самовідновлювальних бетонних матеріалів, що значно покращують водостійкість і довговічність у порівнянні з традиційними бетонами. Використання капсул PLA та віртуальних капсул для герметизації тріщин дозволяє знизити проникнення води на 24% та досягти ефективності герметизації 96% після 14 днів під водою. Економічний аналіз показав, що самовідновлювальні матеріали знижують витрати на технічне обслуговування на 30% і загальні витрати на володіння до 20% у порівнянні з традиційними рішеннями, збільшуючи залишкову вартість компонентів.

Ключові слова: бетон, суміш, полімери.

Список публікацій та/або виступів на конференціях студента:

1. Бородай А.С., Гусак М. О. ОБҐРУНТУВАННЯ ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ САМОВІДНОВЛЮВАЛЬНОГО БЕТОНУ / // Матеріали XVIII Міжнародної науково-практичної конференції , 29 листопада 2024 р., ХНАДУ, Харків, С.31

2. Гусак М. О. ОБҐРУНТУВАННЯ ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ САМОВІДНОВЛЮВАЛЬНОГО БЕТОНУ / Матеріали 86 Міжнародної наукової конференції студентів, 8-12 квітня 2024 р., ХНАДУ, Харків, С.23

В додатках наведено тези конференції, альбом слайдів мультимедійної презентації.

Структура роботи.

Робота складається з основного тексту на 43 сторінках, у тому числі 5 таблиць, 3 рисунка. Текст роботи містить загальну характеристику роботи, 2 розділи, висновки і рекомендації за результатами роботи, список з 21 використаних джерел. Графічна частина складається з 18 слайдів мультимедійної презентації.

## **Abstracts**

Gusak Maksym Oleksandrovykh “Technical and economic aspects of the use of modern structural materials in the construction of a multi-storey residential building in the city of Konotop” – 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, methods of scientific research are formulated.

Concrete is the most widely used material in construction, which plays an important role in both new construction and the repair of existing structures. However, traditional concrete is prone to cracking and degradation, which requires regular maintenance and increases environmental and financial costs. The development of self-healing concrete is an innovative solution that allows to reduce the need for maintenance and extend the service life of structures, which meets the requirements of sustainability in construction and reduces the negative impact on the environment.

The aim of this study is to compare the life cycle cost of traditional concrete and two types of self-healing concrete, with a focus on reducing maintenance costs and increasing the durability of structures. The study also evaluates the prospects for the use of self-healing concrete on the example of a residential multi-storey building in the city of Konotop. For this purpose, a life cycle assessment approach was applied, combined with a factorial method that takes into account the impact of materials on global costs and durability.

The scientific novelty of the work lies in the development of self-healing concrete materials that significantly improve water resistance and durability compared to traditional concrete. The use of PLA capsules and virtual capsules for

crack sealing allows to reduce water penetration by 24% and achieve a sealing efficiency of 96% after 14 days under water. Economic analysis showed that self-healing materials reduce maintenance costs by 30% and total cost of ownership by up to 20% compared to traditional solutions, increasing the residual value of components.

Keywords: concrete, mixture, polymers.

List of publications and/or speeches at student conferences:

1. Boroday A.S., Gusak M. O. SUBSTITUTION OF THE PROSPECTS OF USING SELF-HEALING CONCRETE TECHNOLOGY // Proceedings of the XVIII International Scientific and Practical Conference, November 29, 2024, KhNADU, Kharkiv, P.31

2. Gusak M. O. SUBSTITUTION OF THE PROSPECTS OF USING SELF-HEALING CONCRETE TECHNOLOGY / Materials of the 86th International Scientific Conference of Students, April 8-12, 2024, KhNADU, Kharkiv, P.23

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

Structure of the work.

The work consists of the main text on 43 pages, including 5 tables, 3 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 21 sources used. The graphic part consists of 18 multimedia presentation slides.

## **ЗМІСТ**

<b>Розділ 1. Загальна характеристика роботи.....</b>	<b>9</b>
<b>1.1. Опис технології самовідновлювального бетону.....</b>	<b>10</b>
<b>1.2. Результати дослідження властивостей бетону.....</b>	<b>17</b>
<b>Розділ 2. Опис архітектурно-планувального рішення будівлі.....</b>	<b>33</b>
<b>2.1. Ситуаційний план.....</b>	<b>33</b>
<b>2.2. Об'ємно-планувальне рішення.....</b>	<b>33</b>
<b>2.3. Архітектурно-конструктивне рішення.....</b>	<b>34</b>
<b>Список використаних джерел.....</b>	<b>42</b>

## РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми:** Бетон є найбільш широко використовуваним матеріалом у будівництві в усьому світі, який суттєво сприяє як новому будівництву, так і ремонту або модернізації існуючих конструкцій. Однак традиційний бетон часто потребує регулярного обслуговування через розтріскування та деградацію, що призводить до збільшення екологічних та фінансових витрат.

Розробка бетону, що самовідновлюється, представляє інноваційне рішення для вирішення цих проблем шляхом зменшення потреби в обслуговуванні та продовження терміну служби бетонних конструкцій. Ця тема є дуже актуальною, оскільки вона узгоджується з глобальним акцентом на стійкості в будівництві, мінімізації впливу на навколишнє середовище та оптимізації довгострокових інвестицій в інфраструктуру.

**Мета і завдання дослідження:** Основною метою дослідження є оцінка та порівняння вартості життєвого циклу традиційного бетону та двох типів бетону, що самовідновлюється. Це робиться для того, щоб оцінити їхній потенціал у зниженні витрат на технічне обслуговування, подовженні терміну служби будівель і сприянні загальній стійкості будівельних проектів.

**Об'єкт дослідження:** Дослідження перспективи використання технології самовідновлювального бетону.

**Предмет дослідження:** Житловий багатоповерховий будинок в місті Конотоп.

**Методи дослідження:** Дослідження використовує підхід оцінки життєвого циклу, щоб порівняти загальні витрати, пов'язані з різними матеріальними рішеннями. Дослідження зосереджено на компоненті стіни будівлі в місті Конотоп, з використанням стандартного бетону та двох варіантів бетону, що самовідновлюється. Для кількісної оцінки довгострокових переваг цей підхід поєднується з факторним методом, який враховує довговічність матеріалу та його вплив на глобальні витрати.

Розраховуючи вимоги до обслуговування та залишкову вартість, методологія підтримує більш обґрунтований процес прийняття рішень на ранніх стадіях проектування будівельних проектів.

**Наукова та технічна новизна одержаних результатів:** Наукова новизна цієї роботи полягає в розробці самовідновлювальних бетонних матеріалів, що значно покращують водостійкість та довговічність порівняно з традиційними рішеннями. Вперше використано капсули PLA та віртуальні капсули для герметизації тріщин, що знижує проникнення води на 24% та досягає ефективності герметизації 96% після 14 днів під водою. Застосування цих капсул дозволяє значно збільшити термін служби компонентів до 45 років.

Методологія оцінки включає аналіз таких факторів, як максимальна навантажувальна здатність і опір проникненню води, що дозволяє точніше визначити довговічність матеріалів. Економічний аналіз показав, що самовідновлювальні рішення знижують витрати на технічне обслуговування на 30% і загальні витрати на володіння до 20% у порівнянні з традиційними матеріалами, збільшуючи залишкову вартість компонентів.

**Апробація та публікація результатів роботи:** 1. Бородай А.С., Гусак М. О. ОБґРУНТУВАННЯ ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ САМОВІДНОВЛЮВАЛЬНОГО БЕТОНУ // Матеріали XVIII Міжнародної науково-практичної конференції , 29 листопада 2024 р., ХНАДУ, Харків, С.31

2. Гусак М. О. ОБґРУНТУВАННЯ ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ САМОВІДНОВЛЮВАЛЬНОГО БЕТОНУ / Матеріали 86 Міжнародної наукової конференції студентів, 8-12 квітня 2024 р., ХНАДУ, Харків, С.23

### **1.1. Опис технології самовідновлювального бетону**

Бетон продовжує залишатися одним із найбільш широко використовуваних матеріалів у будівельній промисловості через його широку доступність, відносно низькі витрати на виробництво та чудові механічні

властивості. Його внутрішня міцність на стиск у поєднанні з його сумісністю зі сталеву арматурою, щоб витримувати напруги розтягування, відіграли ключову роль у формуванні сучасної архітектури та інженерії. Поява залізобетону була кардинальною, ознаменувавши важливу віху в еволюції будівельної інженерії, забезпечивши стійке та довговічне рішення для будівельних застосувань.

Незважаючи на ці переваги, екологічні проблеми, пов'язані з виробництвом бетону, привертають все більше уваги, особливо в контексті триваючої кліматичної кризи. Виробництво бетону пов'язане зі значними наслідками для навколишнього середовища, включаючи високі рівні викидів вуглекислого газу, забруднення води та значне утворення відходів. Основна екологічна проблема пов'язана з інтенсивним використанням природних ресурсів і викопного палива, необхідних для виробництва бетону.

Викиди вуглекислого газу є побічним продуктом кількох етапів процесу, включаючи кальцинацію вапняку та глини під час виробництва цементу, спалювання палива для випалювання та подрібнення клінкеру, а також викиди, що є результатом виробництва та транспортування бетону. Крім того, утилізація бетонних відходів після закінчення терміну служби ще більше посилює екологічне навантаження. На будівельний сектор припадає 20–25% усіх відходів, які утворюються в Україні, включаючи різні матеріали, такі як бетон, пластик, дерево, скло та метали. Хоча багато з цих матеріалів технічно придатні для переробки, фактичні показники переробки залишаються обмеженими через економічні, матеріально-технічні та технологічні перешкоди.

У відповідь на ці гострі екологічні проблеми дослідницькі зусилля все більше зосереджуються на розробці альтернативних, більш стійких матеріалів. Одним із найперспективніших напрямків інновацій є продовження терміну служби бетону за рахунок використання технологій самовідновлення. Ці технології поділяються на дві основні категорії: аутогенне (стимульоване) та автономне відновлення. Великі дослідження

вивчили потенціал методів самовідновлення на основі капсул, які дозволяють автономно ремонтувати тріщини, які утворюються протягом терміну служби бетонних конструкцій.

Ці інкапсульовані системи вивільняють увальні агенти від мінералів і полімерів до бактерій у тріщини, ефективно заклеюючи їх і відновлюючи цілісність матеріалу. Обидва методи мікрокапсульювання та макрокапсульювання продемонстрували великий потенціал у підвищенні довговічності бетону. Герметизація тріщин має вирішальне значення, оскільки вона запобігає впливу корозійних умов навколишнього середовища на арматурну сталь, тим самим зменшуючи ризик корозії арматури, основної причини структурної деградації залізобетону.

Корозія арматурної сталі значно погіршує характеристики конструкції, що часто призводить до передчасного руйнування. Таким чином, бетон, що самовідновлюється, не тільки покращує довговічність конструкцій, але й мінімізує частоту ремонтних втручань, тим самим пом'якшуючи вплив на навколишнє середовище, пов'язаний з обслуговуванням бетону.

З економічної точки зору використання бетону, що самовідновлюється, має значні переваги. Зниження потреб у технічному обслуговуванні, менше ремонтних втручань і зниження витрат на заміну сприяють покращенню фінансової здійсненності будівельних проектів. Ці економічні переваги роблять бетон, що самовідновлюється, особливо привабливим для розробників і проектувальників, оскільки подовжений термін служби та скорочене обслуговування перетворюються на більшу прибутковість. Крім того, довговічність будівельних компонентів відіграє вирішальну роль у визначенні результатів економічної оцінки, особливо щодо залишкової вартості конструкцій.

Аналіз вартості життєвого циклу підкреслює, що довговічність матеріалу має істотний вплив на загальну вартість проекту, часто перевершуючи екологічні та короткострокові фінансові міркування. Таким чином, інтеграція самовідновлюваного бетону в будівельну практику являє

собою значну можливість підвищити стійкість і економічну життєздатність архітектурного середовища.

Незважаючи на значний потенціал самовідновлюваного бетону щодо впливу на тенденції на ринках нерухомості та його актуальність для економічних секторів та екологічно стійкого проектування, комплексний аналіз у цих сферах залишається незначним. У літературі зберігається явна прогалина щодо кількісної оцінки економічних та екологічних наслідків бетону, що самовідновлюється, особливо порівняно з традиційними матеріалами. Щоб вирішити цю проблему, поточне дослідження спрямоване на оцінку економічного впливу, пов'язаного з виробництвом та використанням самовідновлюваного бетону.

Крім того, він пропонує методологічну основу для полегшення порівняльного вибору альтернативних будівельних матеріалів або продуктів на етапі проектування, покращуючи процес прийняття рішень. Основна увага приділяється терміну служби будівельних компонентів, оскільки він є вирішальним чинником у прийнятті інвестиційних рішень. Підкреслюється вплив терміну служби компонентів на довговічність, потреби в обслуговуванні та потенційну залишкову вартість, оскільки ці фактори в сукупності формують як економічну доцільність проектів, так і їхній екологічний слід.

Це дослідження підкреслює важливість оцінки терміну корисного використання, який відіграє ключову роль у розрахунку загальних витрат і залишкової вартості матеріалів. Щоб реалізувати це, дослідження приймає циклічну перспективу, застосовуючи підхід оцінки життєвого циклу для порівняння традиційного бетону з двома альтернативними бетонами, що самовідновлюються. Це порівняння контекстуалізовано в рамках тематичного дослідження компонентів стін, призначених для використання в будівельних роботах у місті Конотоп.

Модель розроблена для розрахунку глобальних витрат, пов'язаних з кожною матеріальною альтернативою. Методологія додатково

удосконалюється шляхом інтеграції факторного методу, який стандартизовано згідно з структурою, яка включає оцінювання на основі ефективності. Цей підхід кількісно визначає термін служби будівельних компонентів шляхом множення базового терміну служби на набір зважених факторів, які можуть впливати на довговічність компонентів. Ці фактори, які включають різні субфактори навколишнього середовища, матеріалів і використання, вводяться для забезпечення всебічного прогнозування терміну служби будівельних матеріалів.

Лабораторні дані з попередніх експериментальних досліджень використовуються для призначення відповідних ваг цим субфакторам, забезпечуючи точність моделі. Крім того, для врахування властивих невизначеностей, пов'язаних із мінливістю даних і обмеженнями моделювання, введено два аналітичні сценарії, що представляють високі та низькі впливи. Цей підхід із подвійним сценарієм підвищує гнучкість моделі та її здатність обробляти варіації зовнішніх факторів.

Результати моделі демонструють глибокий вплив довговічності матеріалу на загальні витрати, особливо в будівельному секторі. Показано, що використання самовідновлюваного бетону значно скорочує витрати на технічне обслуговування, продовжує термін служби конструкцій і, як наслідок, пом'якшує вплив будівельної діяльності на навколишнє середовище. Ці результати підкреслюють значні переваги використання матеріалів, що самовідновлюються, особливо з точки зору економічної та екологічної стійкості.

Інноваційне методологічне застосування, запропоноване в цьому дослідженні, сприяє зростанню обсягу наукової літератури про самовідновлювальний бетон і є важливим кроком до його більш широкого практичного впровадження. З точки зору реальних наслідків, це дослідження має значення як для приватних, так і для державних організацій, особливо в контексті державно-приватного партнерства.

Зокрема, дослідження дає цінну інформацію для приватних суб'єктів, які шукають оптимальний вибір дизайну, який узгоджується з економічною та фінансовою доцільністю будівельних проектів, беручи до уваги різні масштаби та використання різних матеріалів. Він також пропонує керівництво для осіб, які приймають рішення, які беруть участь у екологічних державних закупівлях або в розробці сталих процесів державних закупівель, де екологічні та економічні результати тісно переплітаються.

Це дослідження базується на двох ustalених методологіях: підході вартості життєвого циклу і факторному методі, обидві широко визнані для оцінки економічних аспектів і аспектів довговічності будівельних матеріалів. Аналіз оцінює довгостроковий фінансовий вплив матеріалів, включаючи початкові витрати, технічне обслуговування, ремонт і утилізацію, пропонуючи повну перспективу економічної доцільності протягом усього терміну служби матеріалу.

Метод оцінює термін служби шляхом коригування еталонного терміну служби на основі таких факторів, як умови навколишнього середовища та якість матеріалу. Цей метод допомагає прогнозувати майбутні потреби в обслуговуванні, підвищуючи точність оцінки терміну служби та підтримуючи довгострокову стійкість матеріалів.

Точне прогнозування тривалості життя матеріалу є складним, і тут використовуються різні методи, починаючи від експертних підходів до наукових випробувань та інженерних оцінок. Метод зокрема, просунувся, щоб запропонувати більше прогнозів на основі продуктивності, зменшивши суб'єктивність.

Завдяки інтеграції цих технологій це дослідження забезпечує ретельний аналіз потенціалу самовідновлюваного бетону для зниження витрат на технічне обслуговування, продовження терміну служби конструкції та зменшення впливу на навколишнє середовище. Він пропонує особам, які приймають рішення як у приватному, так і в державному секторах, зрозуміти

оптимізацію вибору матеріалів для більшої економічної та екологічної стійкості.

Ключовим внеском у це дослідження є вивчення інноваційних матеріальних рішень, спрямованих на підвищення стійкості залізобетонних конструкцій. Помітне дослідження досліджує інтеграцію супервбираючих полімерів для пом'якшення розтріскування в залізобетоні, оцінюючи його економічну та екологічну життєздатність. Застосовуючи методології оцінки життєвого циклу і вартості життєвого циклу, дослідження порівнює різні матеріальні рішення, зосереджуючись на продуктивності та довговічності протягом усього терміну експлуатації. Результати вказують на значні довгострокові економічні та екологічні переваги, підкреслюючи потенціал для підвищення стійкості залізобетону в конструкціях.

Подальші дослідження розширюють цей аналіз, вивчаючи розробку вдосконалених збірних бетонних елементів, призначених для енергоефективної модернізації існуючих будівель. У цьому дослідженні для оцінки економічних та екологічних аспектів цих матеріалів використовується екологічний підхід. Основна увага приділяється оптимізації витрат і розумінню того, як такі фактори, як ставка дисконту, впливають на фінансовий результат. Ця робота підкреслює важливість економічної оптимізації для сталого матеріального розвитку та роль у збалансуванні миттєвих витрат із довгостроковим впливом на навколишнє середовище.

Ці дослідження разом з іншими сприяють зростанню кількості літератури, яка прагне гармонізувати економічну та екологічну стійкість інноваційних матеріалів. Вони підкреслюють важливість прийняття перспективи життєвого циклу при оцінці альтернативних будівельних рішень, надаючи критичне розуміння того, як вибір матеріалів впливає як на довгострокову економічну ефективність, так і на екологічні результати. Це дослідження узгоджується з ширшими зусиллями, спрямованими на узгодження економічної доцільності стійких матеріалів із необхідністю зменшення впливу будівельної практики на навколишнє середовище.

## 1.2. Методологія виробництва

Для визначення оптимального рішення серед різноманітних технологічних альтернатив використовується методологія калькулювання життєвого циклу. Цей підхід полегшує кількісну оцінку як короткострокових, так і довгострокових витрат і вигод шляхом створення синтетичних показників, які охоплюють весь життєвий цикл оцінюваних сценаріїв. Ця циклічна перспектива дозволяє оцінити ефективність та результативність різних варіантів проекту, позиціонуючи як критичний інструмент для оцінки альтернативних продуктів у контексті нового будівництва та реконструкції.

Основоположна концепція глобальних витрат, яка лежить в основі структури, сформульована через встановлені керівні принципи, що дозволяє проводити сувору оцінку економічних наслідків з точки зору повного циклу виробництва. Ця комплексна методологія забезпечує систематичну основу для прийняття рішень, зрештою полегшуючи вибір найбільш економічно життєздатних і стійких технологічних рішень для будівельних проектів.

$$C_G(\tau) = C_I + \sum_j \cdot \left[ \sum_{i=1}^{\tau} (C_{a,j}(i) \cdot R_d(i)) - V_{f,\tau}(j) \right]$$

У цьому контексті  $C_G$  позначає загальну вартість, пов'язану з початковим роком,  $\tau$ . Термін  $C_I$  відноситься до початкової інвестиційної вартості. Змінна  $C_a$ , означає річні витрати, пов'язані з компонентом  $j$  протягом року  $i$ . Ці річні витрати охоплюють різні витрати, включаючи експлуатаційні витрати (наприклад, споживання енергії та витрати на технічне обслуговування), регулярні витрати на заміну та витрати, пов'язані з демонтажем і утилізацією.

Термін  $R_d$  представляє ставку дисконту, застосовану для року  $i$ , яка використовується для обліку часової вартості грошей у фінансових оцінках. Крім того,  $V_{f,\tau}$  вказує залишкову вартість компонента  $j$  наприкінці розрахункового періоду, оцінену по відношенню до початкового року. Коефіцієнт дисконтування  $R_d$  математично виражається у рівнянні, яке формалізує його розрахунок:

$$R_d(p) = \left[ \frac{1}{1 + \frac{r}{100}} \right]^p$$

У цьому контексті змінна  $p$  представляє кількість років, що минули від початкової точки, тоді як  $r$  означає реальну ставку дисконту. Важливо зазначити, що початкова вартість інвестицій залишається недисконтованою в цьому аналізі.

У цьому дослідженні представлено спрощене застосування калькуляції вартості життєвого циклу у масштабі матеріалів, наголошуючи на порівняльному аналізі витрат на технічне обслуговування, а також компонентів терміну служби та залишкової вартості, як описано в наступних розділах. Спрощена модель глобальних витрат, яка використовується в цьому дослідженні, математично формалізована в рівнянні:

$$C_G = C_I + \sum_{t=1}^N \left( \frac{C_m}{(1+r)^t} + \frac{V_r}{(1+r)^N} \right)$$

У цьому формулюванні  $C_G$  являє собою загальну вартість,  $C_I$  позначає інвестиційну вартість,  $C$  означає вартість послуги,  $V$  вказує на залишкову вартість,  $t$  відповідає року, в якому були понесені витрати,  $N$  відноситься до кількості років протягом аналізу. період, а  $r$  представляє ставку дисконту.

У моделях оцінки життєвого циклу розрахунок залишкової вартості є критичним етапом, тісно пов'язаним з періодом аналізу, який визначається розрахунковим терміном корисного використання компонента. Запропоновано методологію моделювання терміну служби компонентів за допомогою факторного методу, який узгоджується з оцінками на основі продуктивності. Ця методологія включає розрахунок еталонного терміну служби шляхом застосування мультиплікативного підходу, що включає набір із семи факторів, які можуть впливати на довговічність компонентів. Це співвідношення математично представлено в рівнянні:

$$ESL = RSL \times A \times B \times C \times D \times E \times F \times G$$

У цьому контексті ES позначає розрахунковий термін служби компонента, тоді як RS представляє еталонний термін служби. Змінні від А до G відповідають різним факторам впливу: А — якість матеріалів і компонентів, В — рівень дизайну, С — якість виготовлення, D — умови навколишнього середовища в приміщенні, Е — умови зовнішнього середовища, F — використання умов, а G означає рівень обслуговування. Кожен елемент цього рівняння має бути ретельно оцінений для конкретних застосувань шляхом лабораторних експериментів, випробувань, моделювання окремих компонентів або аналізу на основі даних, отриманих із наукової літератури.

Запропонована методологія може бути покращена шляхом включення ряду піделементів, пов'язаних з кожним основним фактором у рівнянні. Ці піделементи можуть бути лінійно об'єднані, щоб представити складовий фактор, таким чином підкреслюючи різні впливи на процес деградації та результуючі характеристики матеріалу або компонента, що в кінцевому підсумку впливає на загальну довговічність.

Сітка коефіцієнтів, розроблена за допомогою цієї операційної модальності, може служити інструментом прогнозування для оцінки ефективності компонентів з часом. Отже, важливо аналізувати продуктивність у всьому часовому спектрі та визначати критичні значення для кожної змінної, що називаються пороговими значеннями критичної продуктивності. Виявлене мінімальне критичне значення відповідає терміну служби.

Це дослідження стверджує, що рівень дизайну, рівень продуктивності, умови навколишнього середовища в приміщенні, зовнішні умови навколишнього середовища та умови використання порівнюються з точки зору їх впливу. На відміну від цього, конкретні субфактори, пов'язані з якістю матеріалів і компонентів і рівнем обслуговування, визначаються на основі результатів попередньо розроблених лабораторних випробувань, проведених на низці додаткових компонентів.

Робочий процес для аналізу очікуваного терміну корисного використання з використанням факторного методу викладено таким чином:

1. Персоналізація: адаптуйте еталонний термін служби для кожного компонента, використовуючи відповідну літературу та дані.

2. Індивідуалізація факторів/субфакторів: адаптуйте застосування факторів і субфакторів на основі спрощеного підходу до оцінки ефективності, наголошуючи на балах, отриманих з емпіричних лабораторних тестів, і зважування альтернативних сценаріїв.

3. Інтеграція в аналіз: включіть розрахунковий термін корисного використання в аналіз витрат протягом життєвого циклу та застосуйте це до кожного альтернативного сценарію.

4. Порівняння результатів: Оцініть і порівняйте результати різних сценаріїв, щоб отримати інформацію для прийняття рішень.

Рандомізоване дослідження служить еталоном для застосування методології, описаної вище. Дослідження під назвою оцінка систем самовідновлення для бетону з використанням капсульної стратегії надає базові дані для цього аналізу. Це дослідження було зосереджено на реалізації стратегій самовідновлення шляхом розробки нових макрокапсул діаметром понад 1 мм, які згодом інтегровані в матеріали на основі цементу.

Зокрема, дослідження оцінює ефективність самовідновлювальних розчинів, досягнутих завдяки введенню двох різних типів капсул. Перший тип — це трубчаста капсула, що складається з оболонки з тривимірним надрукованим полімолочною кислотою, яка містить поліуретанову розширювальну смолу як відновлювальний засіб. Другий тип включає віртуальну капсулу, створену шляхом стиснення активної порошкової суміші при підвищених температурах (приблизно 265 °C) у форму капсули, яку потім покривають епоксидною смолою.

У цьому дослідженні оцінюється продуктивність двох розчинових систем шляхом вивчення їхньої початкової міцності на стиск, міцності на відновлення та здатності до ущільнення тріщин у порівнянні зі звичайним

цементним розчином. Для кількісної оцінки ефективності в лабораторних масштабах, розчинні призми були використані як тестові зразки. Цей ретельний порівняльний аналіз має на меті з'ясувати ефективність запропонованих стратегій самовідновлення для підвищення міцності та довговічності бетонних матеріалів.



**Рис. 1.1. Процес тривимірного друку поліпласту**

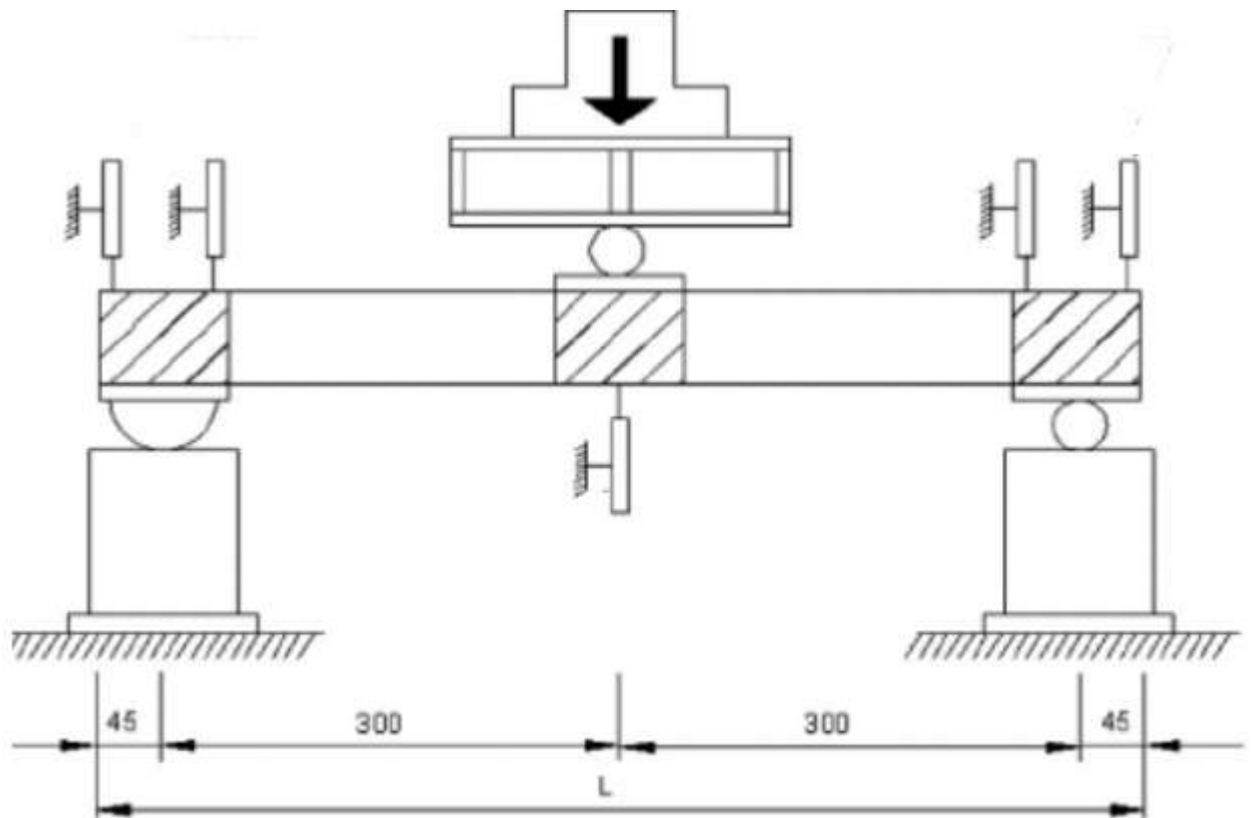
Перший тип капсули був створений шляхом оптимізації конструкції трубчастої оболонки, виготовленої з тривимірного надрукованого поліпласту, що характеризується міцністю на розрив 100 МПа та модулем пружності 3,55 ГПа. Ця оболонка була поєднана з комерційно доступним герметиком з епоксидної смоли. Капсула містила високореактивний поліуретан на основі агента, що відновлює набряк. Попередні дослідження, проведені дослідницькою групою авторів, продемонстрували значний потенціал подібних засобів для самовідновлення.

Відповідно до даних безпеки та технічних специфікацій обидві смоли реагують з вологою навколишнього середовища з утворенням поліуретану

або полісечовини. Хоча поліуретанову смолу класифікують як негорючу рідину, вона може горіти під час пожежі. Для забезпечення механічної цілісності бетону, що самовідновлюється, вміст капсули підтримується приблизно на рівні 5% за об'ємом. Після розриву капсули поліуретан розширюється всередині тріщини, менше 1 мм у ширину, ефективно закриваючи її. Очікується, що доступ кисню в закритій тріщині буде обмеженим, таким чином мінімізуючи ризик пожежі.

Тим не менш, оскільки смола призначена для застосування під землею, її вогнестійкість вимагає додаткової оцінки. Комплексний огляд досліджень щодо вогнестійкості монокомпонентних поліуретанових клеїв для дерев'яних виробів. Ці матеріали мають відповідати стандартам, які підкреслюють утворення шарів вугілля, що зменшує швидкість горіння. Подібні підходи можна застосувати до бетону, що самовідновлюється. Однак використання однокомпонентних або двокомпонентних органічних загоювачів, таких як поліуретанові смоли, представляє значні проблеми, особливо щодо старіння тріщин через відносно короткий термін придатності цих хімікатів, що потенційно ставить під загрозу їхню ефективність.

У результаті були досліджені нові відновлювальні речовини, що призвело до розробки другого типу капсул. Це передбачало дослідження активних порошкових сумішей, включаючи комерційно доступний будівельний розчин, що містить вапно, кварцовий пісок і домішки з робочим часом 2.2 хвилини та очікуваною міцністю на стиск 40,6 МПа через 28 днів. Поліакрилат натрію, суперабсорбуючий полімер, був включений як внутрішній затверджувач для полегшення гідратації цементу. Порошкову суміш, що складається з кислотно-основної композиції 8:1 (містить бікарбонат натрію, яблучну та винну кислоти для виробництва газованої води), ущільнюють у невеликі циліндричні форми під високою температурою, а потім покривають комерційно доступною епоксидною смолою.



**Рис. 1.2. Випробування на міцності за триточковою системою**

Експериментальна основа використовувала розчинні призми, наповнені вищезазначеними типами капсул, поряд із еталонною призмою, позбавленою капсул. Ці призми пройшли триточкові випробування на згинання за допомогою гідравлічного преса із замкнутим циклом і сервоприводом. Прикладену силу кількісно вимірювали в кілоньютонах, тоді як датчик контролював розкриття тріщини. Було зафіксовано максимальне навантаження, що вказує на несучу здатність призми. Після утворення тріщин зразки піддавали автономному загосненню у воді тривалістю 7 та 15 діб. Після цього періоду здатність до самоущільнення була оцінена за допомогою випробувальної установки для потоку води, а остаточне відновлення механічної міцності було оцінено за допомогою додаткових випробувань на триточковий згин.

У дослідженні порівнювали показники ефективності напружених призм, наголошуючи на початковій міцності, відновленні міцності та ефективності закриття тріщин. Отримані дані показали, що призми, які

містять надруковані на 3D-друкі та віртуальні капсули, показали вищий рівень відновлення механічних властивостей і міцності після розтріскування порівняно з еталонними призмами розчину.

Максимальна навантажувальна здатність призми була зареєстрована на рівні 1,5 кілоньютона. Після початку поширення тріщини, зокрема при зміщенні гирла тріщини 0,25 міліметра, прикладена сила зменшилася до 0,2 кН. У міру подальшого розширення тріщини до 0,5 міліметра навантаження зменшилося до 0,055 кН. Після 15-денного періоду загоєння середнє відновлення міцності еталонної розчинної призми було визначено на рівні 3,75%.

Для порівняння, призма два показала максимальну навантажувальну здатність 1,22 кН. При 0,25 міліметра навантаження становило 0,3 кН, яке зменшилося до 0,17 кН, коли тріщина розширилася до 0,5 міліметра. Середнє відновлення міцності для віртуальної капсульної системи після 15-денного періоду було визначено як 10,5%. Подібним чином, призма три продемонструвала максимальну навантажувальну здатність 1,3 кН. Під час дії 0,25 міліметра зареєстрована сила становила 0,8 кН, яка згодом зменшилася до 0,2 кН при 0,5 міліметра. Середнє відновлення міцності капсульної системи через 15 днів було встановлено на 12%.

Загалом, експериментальні призми показали кращу продуктивність у відновленні навантаження порівняно з традиційним бетоном. Зібрані дані, отримані в результаті трьох тестів, проведених на кожній системі, підвищують надійність і значимість отриманих результатів.

Крім того, зразки пройшли випробування на водопроникність для оцінки водопроникності в контексті тріщин, що самозагоюються. Для цієї оцінки в кожен зразок було вбудовано литий отвір, що полегшує з'єднання з резервуаром для води, відповідно до методології, описаної в попередніх дослідженнях. Випробування потоку води проводили двічі з десятиденним інтервалом між кожним випробуванням. Початкове випробування відбулося через 7 днів занурення у воду, а потім наступне випробування через 14 днів.

Під час випробувань потоку води тиск води, виміряний від центру ливарного отвору до верхнього рівня води в резервуарі, підтримувався на постійному значенні  $50 \pm 0,50$  сантиметрів шляхом періодичного поповнення резервуара демінералізованою водою. Отже, тиск постійно підтримувався на рівні приблизно 0,06 бар. Прецизійну шкалу під'єднали до ливарного отвору для кількісного визначення об'єму води, що виділяється з розкриття тріщини протягом інтервалу часу щонайменше 5 хвилин. Перед випробуванням сторони тріщин були герметизовані силіконом, щоб вода протікала виключно через тріщини.

Швидкість потоку води потім обчислюється за допомогою рівняння. Після цього розрахунку ефективність ущільнення оцінюється, як детально описано в рівнянні. Важливо відзначити, що в цьому рівнянні змінна SH відповідає залежно від конкретного контексту аналізу. Крім того, термін WFC підлягає оновленню для кожного окремого проведеного тесту. Ефективність ущільнення виражається у відсотках, що є кількісним показником ефективності процесу ущільнення.

$$WF = \frac{\Delta m}{\Delta t} [\text{г/мін}]$$

$$SE = \frac{WF_{CEM} - WF_{SH}}{WF_{CEM}} [\%]$$

Результати другого випробування потоку води, проведеного після 14 днів витримки під водою, показали, що швидкість потоку води контрольного зразка зменшилася в середньому на 5% протягом наступного 12-денного періоду. Це зменшення вказує на незначний ефект самовідновлення, недостатній для ефективного пом'якшення проникнення води через тріщини.

Навпаки, призми, що містять капсули PLA, продемонстрували значне середнє зниження потоку води на 24% за той самий 12-денний інтервал. Ефективність герметизації еталонної продемонструвала підвищення, із середньою ефективністю герметизації в діапазоні від 87% у першому випробуванні потоком води (після 10 днів затвердіння під водою) до 90% у

другому випробуванні (після 14 днів затвердіння). Ці результати підкреслюють, що капсули значно покращують герметизацію, ефективно зменшуючи об'єм води, що проникає через тріщини.

Крім того, призми VIR продемонстрували середнє зниження потоку води на 9% протягом 12-денного періоду, що призвело до вражаючої середньої ефективності герметизації 96% після 14 днів підводного затвердіння. Це свідчить про те, що віртуальні капсули надзвичайно ефективно запобігають проникненню води через тріщини.

Порівняння показали суттєво покращену ефективність герметизації порівняно з контрольними цементними призмами. Це вказує на те, що використання самовідновлюваних капсул не тільки покращує механічні властивості матеріалу, але й значно покращує його здатність запобігати проникненню води. Наслідки цих результатів важливі для застосування матеріалів, що самовідновлюються, у будівництві, особливо в регіонах, чутливих до пошкоджень водою, таких як підвали та фундаменти.

У цьому дослідженні стверджується, що експериментальні результати, отримані для розчину, можна екстраполювати на бетон. Отже властивості, визначені в цьому дослідженні, застосовуються до конструкційного бетону, і всі наступні розрахунки проводяться з урахуванням цього припущення.

Економічний показник, який називається глобальна вартість, обчислюється відповідно до конкретного рівняння, на основі трьох альтернативних рішень. Важливо визнати, що економічні припущення та фінансові дані, які використовуються в процесі моделювання, базуються на поточній відсутності емпіричних доказів, оскільки процес видобутку все ще перебуває на попередніх стадіях розвідки. Крім того, усі відповідні компоненти витрат обліковуються відповідно до встановлених стандартів, яка стосується методологій визначення витрат протягом життєвого циклу, який стосується глобальних принципів калькуляції.

Концептуальна основа витрат припускає, що моделювання витрат може ефективно диференціювати різні технологічні варіанти, виключаючи

елементи витрат, які вважаються рівномірно розподіленими між альтернативами. Він також включає витрати, безпосередньо пов'язані з аспектами, що впливають на термін служби та довговічність досліджуваного компонента.

Очікувана початкова інвестиційна вартість, яка охоплює витрати, пов'язані як зі звичайними стінами, так і зі стінами, що самовідновлюються, виражені в долар за квадратний метр, визначається за допомогою спеціального графіка ціноутворення на основі переважаючих ринкових ставок. Довідкова ціна на бетонну стіну виходить із спеціального прайс-листа. Розрахунок включає витрати на бетон, виготовлений на місці з використанням цементу типу 32 R, піску та гравію, а також витрати, пов'язані з неконструкційним бетоном, змішаним на центральному заводі. У результаті агрегування витрат за цими статтями середнє значення для двох різних бетонних сумішей з використанням цементу 32 R оцінюється в 170 доларів за кубічний метр.

Окрім початкових інвестиційних витрат, аналіз включає витрати, понесені протягом періоду зберігання, які включають перевірку та технічне обслуговування, виражені в євро за квадратний метр на рік. Існує гіпотеза, що бетонна стіна, що самовідновлюється, має розміри, ідентичні розмірам звичайної бетонної стіни, потребує щорічних витрат на технічне обслуговування, які значно нижчі, ніж у звичайних стін, що відображає покращення довговічності та продуктивності.

Період аналізу становить 45 років. Цей часовий проміжок служить індикатором необхідного терміну служби, визначеного коефіцієнтом очікуваного терміну служби, і формує основу для розрахунку залишкової вартості технічних компонентів, що стосується їхньої підвищеної довговічності з точки зору додаткового терміну служби.

Крім того, ставка дисконту визначається відповідно до існуючої літератури, враховуючи, що оцінка фінансової прибутковості не є основною метою моделювання. У результаті, відповідно до типових програм для

визначення витрат протягом життєвого циклу, ринковий ризик виключається, рівень інфляції вважається мінімальним, а підвищені ставки дисконту не враховуються, особливо в світлі тривалого періоду аналізу.

**Таблиця 1.1. Порівняльна таблиця**

Вхідні дані	Одиниця	Варіант 1	Варіант 2	Варіант 3
Початкові інвестиційні витрати	грн /м <sup>2</sup>	6000 UAH/m <sup>2</sup>	8400 UAH/m <sup>2</sup>	8400 UAH/m <sup>2</sup>
Річні витрати на технічне обслуговування	грн/м <sup>2</sup> / рік	2100 UAH/m <sup>2</sup> / рік	1050 UAH/m <sup>2</sup> / рік	1050 UAH/m <sup>2</sup> / рік
Період аналізу	роки	50	50	50
Ставка дисконту	%	3%	3%	3%

Методологія починається з припущення про необхідний термін служби 45 років як початковий крок в аналізі. Після цього здійснюється вибір відповідних субфакторів, які можуть вплинути на довговічність компонента, на основі результатів, отриманих під час лабораторних випробувань. Ці підфактори зокрема включають максимальну навантажувальну здатність, опір, виміряний при зміщенні отвору тріщини 0,25 міліметра, і опір при 0,50 міліметра. Крім того, фактор А, який відображає якість матеріалів і компонентів, оцінюється в поєднанні з показниками відновлення міцності. Аналіз також включає субфактор для швидкості потоку води протягом 12-денного періоду, виражений у літрах на хвилину, а також фактор G, який вказує на рівень наданої підтримки та деталізується з точки зору ефекту ущільнення, пов'язаного з захист арматури протягом того ж терміну.

Після встановлення і визначення відповідних субфакторів, що впливають на довговічність компонента, розрахований термін служби обчислюється відповідно до конкретного рівняння, яке описується рівнянням.

$$ESL = RSL \times A_1 \times A_2 \times A_3 \times A_4 \times B \times C \times D \times E \times F \times G_1 \times G_2$$

У цьому контексті очікуваний термін служби означає прогнозовану тривалість ефективної продуктивності компонента, тоді як еталонний термін служби позначає встановлений контрольний показник для його очікуваного

терміну експлуатації. Змінні А представляють конкретні підфактори, пов'язані з фактором, який охоплює характеристики, пов'язані з якістю матеріалів і компонентів. Подібним чином G є субфакторами, пов'язаними з фактором, який стосується рівня підтримки, що надається в системі. Разом ці фактори та підфактори сприяють повному розумінню міцності та довговічності компонента, що аналізується.

Важливо визнати, що в оцінці впливу підфакторів середні значення використовуються для кількісного визначення сукупного впливу кожного відповідного фактора. Такий підхід дозволяє точніше представити загальну значущість даного фактора. Отже, остаточне формулювання представлено таким чином:

$$ESL = RSL \times \bar{A}_{1,2,3,4} \times B \times C \times D \times E \times F \times \bar{G}_{1,2}$$

Кількісну оцінку субфакторів проводили за стандартизованою шкалою до 5 балів, де кожному фактору присвоювали коефіцієнт k в інтервалі до 1,2 бала, як рекомендовано відповідними стандартами та літературою. Ця оцінка була розпочата на основі належним чином зважених результатів лабораторних тестів. Крім того, модель включає гнучкість, симулюючи варіації значення у вузькому діапазоні до 1,1 пункту, таким чином враховуючи невизначеності, що виникають через припущення даних, такі як коливання ринкових цін.

**Таблиця 1.2. Протокол випробувань і ваги**

Сценарій/ Шкала	Шкала 0–5 балів	Шкала 0,8–1,2 бала	Сценарій високого впливу	Сценарій низького впливу
0	0	0.84	0.945	0.84
1	1	0.924	0.987	0.924
2	2	1.008	1.029	0.987
3	3	1.092	1.071	1.029
4	4	1.176	1.113	1.071
5	5	1.26	1.155	1.113

Результати випробувань оцінюються за допомогою порівняльної шкали для трьох різних варіантів. Ці висновки систематично зібрані та представлені в таблиці, що полегшує чітку оцінку характеристик продуктивності, пов'язаних з кожним варіантом.

Вагові коефіцієнти, призначені вибраним факторам, зокрема факторам А і G, разом із відповідними субфакторами, представлені в наступній таблиці. Важливо зазначити, що фактори В, С, D, Е та F не піддаються детальному аналізу щодо конкретних субфакторів на цьому етапі дослідження, і тому їх ваги стандартизовані. Щоб забезпечити всебічної оцінки та визнання того, що навіть незначні варіації вхідних параметрів можуть суттєво вплинути на очікуваний термін корисного використання, як наслідок, на довговічність компонента.

Використовуючи набір даних, окреслений у попередньому розділі, програма глобальних витрат виконується для трьох визначених варіантів, що дає змогу порівняти результати. Початковий етап передбачає розрахунок очікуваного терміну корисного використання для кожного варіанту шляхом застосування факторного методу. Отримані дані згодом консолідуються та представлені в таблиці нижче.

**Таблиця 1.3. Розрахунок терміну придатності**

Варіант	Високий вплив (років)	Низький вплив (років)
1	42.75	47.58
2	60.83	56.60
3	73.50	62.56

Дані, представлені в таблиці, ілюструють значне скорочення очікуваного терміну корисного використання, який помітно знижується як у сценаріях високого, так і в низькому впливі, демонструючи зменшення від 7 до 12 років. Навпаки, альтернативи демонструють тенденцію до зростання. Зокрема, другий варіант показує збільшення з приблизно 5 років за сценарієм низького впливу до 22 років за сценарієм сильного впливу.

Враховуючи ці помітно відмінні результати, використовуються різні моделі вартості життєвого циклу, що включають монетизацію залишкової вартості, пов'язаної з кожним компонентом. Загалом, впровадження моделі для всіх варіантів дає результати, узагальнені в таблиці. У цій зведеній таблиці детально наведено розраховану чисту приведену вартість для трьох альтернатив, як для високого, так і для низького впливу.

Чиста поточна вартість, отримана в результаті аналізу, показує значні варіації, пов'язані з використовуваними матеріалами. Сценарій з традиційним матеріалом є найдорожчим варіантом із порівнянними результатами як для сценаріїв високого, так і низького впливу. Навпаки, альтернативи демонструють значне зниження витрат в обох сценаріях.

Незважаючи на простоту підходу до моделювання, результати підкреслюють економічні переваги впровадження самовідновлювальних рішень. Ці інноваційні матеріали не тільки продовжують термін служби компонентів, але й підвищують їх довговічність і залишкову вартість, що робить їх вигідним варіантом. Крім того, зниження витрат на технічне обслуговування та ремонт сприяє зменшенню загальних витрат на володіння протягом життєвого циклу матеріалів.

### **Висновок**

У цьому дослідженні розглядається ефективність самовідновлюваних бетонних розчинів як альтернативи традиційному бетону, пропонується методологія оцінки їх економічної життєздатності. Методологія спрямована на підтримку прийняття рішень щодо вибору альтернативних компонентів матеріалу, заснованих на припущенні, що попередні експериментальні дослідження дизайну компонентів є надійними, з акцентом на оцінку життєвого циклу та залишкову вартість.

Аналіз використовує структуру вартості життєвого циклу для кількісного визначення та порівняння чистої поточної вартості різних варіантів. Ця модель об'єднує факторний метод для оцінки терміну служби компонентів на основі показників продуктивності. У прикладі порівнюється

звичайна бетонна стіна із двома самовідновлюваними бетонними стінами, які використовують різні капсульні стратегії: тривимірна друкована стіна, запечатана епоксидною смолою, та ущільнена активована порошкова суміш. Передбачається, що ці матеріали будуть застосовуватися в архітектурних проектах на півночі України, а розрахунки базуватимуться на поширенні результатів експериментів із розчином на бетон.

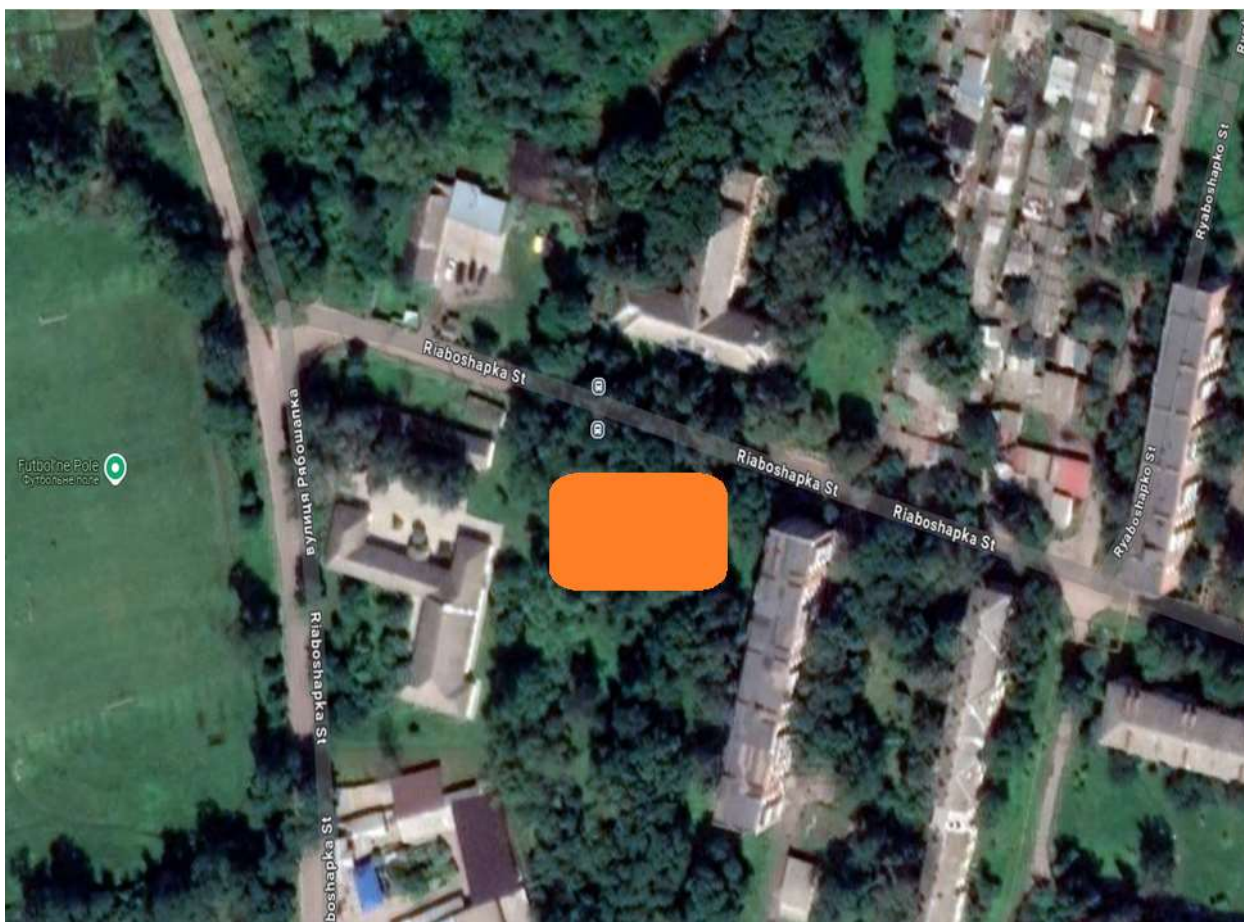
Висновки дослідження підкреслюють переваги оцінки альтернативних матеріалів протягом життєвого циклу проекту, наголошуючи на зменшенні витрат на технічне обслуговування, підвищеній довговічності та підвищеній залишковій вартості, пов'язаній із матеріалами, що самовідновлюються, що сприяє зниженню впливу на навколишнє середовище.

Незважаючи на обнадійливі результати, дослідження має обмеження. Фінансові припущення, включаючи ставки дисконту та оцінку витрат, вимагають ретельного вивчення. Крім того, аналіз наразі враховує лише два із семи визначених факторів, що потребує подальшого вивчення відповідних підфакторів. Зосередженість на одному еталонному компоненті свідчить про необхідність ширшого застосування до цілих будівель, тоді як притаманну невизначеність у припущеннях даних можна вирішити за допомогою імовірнісного аналізу.

Майбутні дослідження повинні бути спрямовані на усунення цих обмежень і подальший внесок у зростаючу кількість літератури про економічні наслідки самовідновлювальних конкретних рішень.

## РОЗДІЛ 2. ОПИС АРХІТЕКТУРНО-ПЛАНУВАЛЬНОГО РІШЕННЯ БУДІВЛІ

### 2.1. Ситуаційний план



**Рис. 2.1. Ситуаційний план**

Житловий будинок розташований на вулиці Рябошапка, одній з центральних магістралей Конотопа.

### 2.2. Об'ємно-планувальне рішення

Житловий п'ятиповерховий будинок на вулиці Рябошапка височіє на загальну висоту 17 метрів, вирізняючись багатоповерховою спорудою, спроектованою з продуманими об'ємно-планувальними рішеннями. Завдяки тому, що висота кожного поверху досягає 3 метрів, будівля пропонує просторі та комфортні житлові приміщення, що забезпечує достатню висоту стелі як для естетики, так і для практичності.

Ядро будівлі, побудоване за безкаркасною системою, складається з міцної високоякісної цегли. Несучі стіни зі значною товщиною 380 мм

забезпечують виняткову стабільність і довговічність, роблячи будівлю стійкою до навантажень навколишнього середовища та забезпечуючи довготривалу цілісність конструкції. Ці товсті стіни також сприяють чудовій теплоізоляції, підвищуючи енергоефективність і комфорт у приміщенні, мінімізуючи втрати тепла в холодні місяці та підтримуючи прохолоду всередині влітку.

Міжповерхові перекриття складаються з міцних монолітних плит товщиною 250 мм кожна. Ці монолітні елементи не тільки зміцнюють структурну цілісність будівлі, але й забезпечують покращену звукоізоляцію та теплоізоляцію між поверхами, покращуючи загальні умови проживання.

Для вертикального переміщення будівля обладнана зручними сходами та сучасним ліфтом, що робить її доступною як для мешканців, так і для відвідувачів. Така комбінація сходів і ліфтової системи забезпечує легке та ефективно пересування будівлею, додаючи їй практичності та комфорту для щоденного життя.

### **2.3. Архітектурно-конструктивне рішення**

#### **Фундаменти**

Фундамент житлового будинку на вулиці Рябошапка спроектовано на пальових фундаментах, вибір яких відображає як конструктивні вимоги, так і геотехнічні умови ділянки. Кожна паля має діаметр 300 мм і забивається в землю на глибину 9 метрів, забезпечуючи міцну основу, здатну витримувати значні навантаження. Використання забивних паль забезпечує високу несучу здатність, забезпечуючи необхідну стійкість для багатоповерхової конструкції вище.

Навантаження від будівлі ефективно передається на палі через монолітний залізобетонний ростверк. Цей ростверк з розміром поперечного перерізу 450 мм на 700 мм служить жорстким каркасом, який рівномірно розподіляє конструктивне навантаження по системі паль, запобігаючи нерівномірному осіданню і забезпечуючи тривалу стабільність. Надійні

розміри сітки відображають ретельний розгляд ваги будівлі та навантажень, що виникають через її висоту та склад матеріалу.

Глибина ґрунтових вод на ділянці становить 15 метрів, що означає, що пальовий фундамент знаходиться значно вище рівня ґрунтових вод, що зменшує ризики, пов'язані з інфільтрацією води або змінами рівня ґрунтових вод, які інакше можуть поставити під загрозу цілісність фундаменту. Ґрунт на ділянці — чорнозем лучний, родючий, насичений органічними речовинами. Хоча лугово-чорноземний ґрунт відомий своїми сільськогосподарськими властивостями, він також забезпечує помірну опору для фундаменту будівель, хоча глибша система палів забезпечує передачу несучої навантаження на більш стабільні підґрунтя.

### **Зовнішні, внутрішні стіни та перегородки**

Стіни житлового будинку є найважливішим елементом його конструктивної цілісності, покликаним забезпечити як міцність, так і теплоізоляцію. Несучі стіни зведені з повнотілої цегли товщиною 380 мм. Ці стіни не тільки забезпечують суттєву підтримку безкаркасної конструкції будівлі, але й забезпечують чудову тепло- та звукоізоляцію завдяки своїй товщині та складу матеріалу. Значна маса цих стін допомагає підтримувати комфорт у приміщенні, регулюючи температуру та мінімізуючи зовнішній шум.

Цегла, яка використовується в будівництві, - це глиняна цегла високої щільності, обпалена при високих температурах для досягнення довговічності та стійкості до факторів навколишнього середовища. Ця цегла відома своєю вражаючою міцністю на стиск, яка коливається від 15 до 20 МПа, що робить їх ідеальними для несучих застосувань. Крім того, вони мають низькі водопоглинальні властивості, що допомагає захистити стіни від проникнення вологи, зберігаючи структурну цілісність будівлі з часом. Цегла також має чудові вогнестійкі якості, що сприяє загальній безпеці будівлі.

Всередині будівлі перегородки товщиною 120 мм відокремлюють окремі кімнати та квартири. Ці перегородки також виготовлені з тієї ж

високоякісної цегли, що забезпечує хорошу звукоізоляцію між різними просторами, зберігаючи при цьому простоту конструкції. Незважаючи на більш тонкий профіль, ці перегородки розроблені таким чином, щоб забезпечити достатню міцність для внутрішнього поділу без шкоди для загальної стабільності конструкції.

### **Покрівля**

Шатрова покрівля багатопверхового будинку виконується з дерев'яної кроквяної системи, виготовленої з бруса із хвойних порід деревини класу С24, перетином 200x50 мм, із кроком крокв 1,2 м. Мауерлат формується з бруса перетином 150x150 мм, закріпленого до армопоясу анкерними болтами Ø16 мм із кроком 1 м.

Покрівельне покриття виконується з металочерепиці з полімерним покриттям (товщина 0,5 мм, поліестер). Для гідроізоляції використовується полімерна мембрана товщиною 1,5 мм, а теплоізоляція здійснюється мінеральною ватою товщиною 200 мм із теплопровідністю  $\lambda = 0,035$  Вт/(м·К), під якою укладена поліетиленова пароізоляційна плівка.

Настил під покриття виконується з вологостійкої фанери товщиною 15 мм, укладеної на дерев'яні обрешітки з бруса перетином 50x50 мм. Для вентиляції використовуються покрівельні аератори із кроком 5 м.

Кут нахилу схилів становить 30°, а верхній гребеневий вузол з'єднується за допомогою металевих пластин товщиною 4 мм для забезпечення міцності конструкції.

### **Покриття підлог**

У житлових квартирах будинку кожен тип кімнати був ретельно продуманий, щоб забезпечити як функціональність, так і комфорт, а підлогове покриття відіграє важливу роль у визначенні атмосфери та зручності кожного простору.

Спальні розроблені таким чином, щоб створити затишну, спокійну атмосферу, де вибір підлоги створює тепло та комфорт. Тут використовується високоякісний ламінат з м'яким покриттям під дерево, що

імітує натуральний дуб або горіх. Ламінат товщиною 8 мм забезпечує стабільну і гладку поверхню, ідеальну для босих ніг і щоденного використання. Підкладка під ламінатом додає звукоізоляцію, роблячи спальню спокійним місцем для відпочинку від зовнішнього шуму. Цей матеріал також стійкий до вицвітання від сонячного світла, завдяки чому підлога зберігає свій естетичний вигляд з часом.

У кухонних приміщеннях потрібне більш довговічне рішення для підлоги, щоб впоратися з вимогами приготування їжі та частого прибирання. Тому вінілову плитку класу люкс вибирають за її водостійкість, довговічність і простоту догляду. Захистний шар на кухні має товщину 4 мм із шаром зносу, який забезпечує захист від подряпин і розливів. Він також має фактурну поверхню, яка імітує камінь або дерево, додаючи стилю та практичності. Цей матеріал стійкий до ковзання, що робить його безпечним для простору, схильного до випадкових розливів води або їжі, а його стійкість до вологи та плям гарантує, що він не потребує обслуговування.

У ванних кімнатах водонепроникна порцелянова плитка є природним вибором через її здатність справлятися з постійною вологістю та забезпечує поверхню, яку легко мити. Плитка товщиною 10 мм покрита глазур'ю для додаткового захисту від проникнення води, а її нековзка поверхня забезпечує безпеку у вологому середовищі. Плитка доступна в різноманітних нейтральних або заспокійливих тонах, таких як м'які сірі або теплі бежеві, щоб створити атмосферу спа-центру. Стійкість до плісняви та грибка в поєднанні з їх довговічністю робить їх ідеальними для тривалого використання у ванних кімнатах, де часто потрапляє вода.

У вітальнях, де комфорт і стиль є ключовими, такий же високоякісний ламінат, який використовується в спальнях, продовжує використовуватися всюди. Теплий, схожий на дерево вигляд ламінату доповнює різноманітні дизайни інтер'єрів, від сучасних до традиційних. Завдяки рейтингу довговічності AC4 ламінат у вітальні здатний витримувати більшу кількість людей, зберігаючи при цьому полірований зовнішній вигляд. Легкість

чищення та стійкість матеріалу до плям гарантує, що він залишається практичним вибором для сімей та гостей.

У технічних приміщеннях, таких як підсобні приміщення або зони технічного обслуговування, підлогу було виконано з епоксидного покриття. Ця епоксидна підлога товщиною 2-3 мм, забезпечує чудову стійкість до хімічних речовин, плям і стирання, що робить її ідеальною для приміщень, де може зберігатися обладнання або проводитися технічне обслуговування. Гладка безшовна поверхня епоксидного покриття не тільки неймовірно проста в очищенні, але й дуже довговічна, забезпечуючи відмінну стійкість до ударів і зношування.

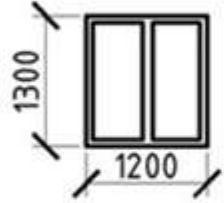
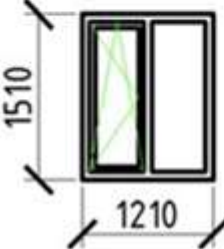
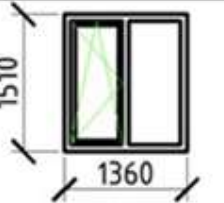
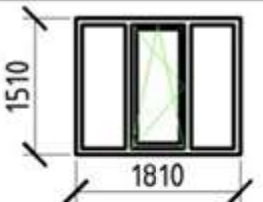
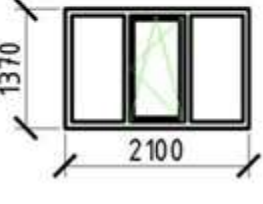
У під'їздах і коридорах террасо залишається основним матеріалом завдяки своїй довговічності та стійкості до зношування. Полірована обробка цього матеріалу додає вишуканого, гостинного відчуття в цих місцях з інтенсивним рухом людей, водночас гарантуючи, що підлоги залишаються низькими в обслуговуванні та мають високу стійкість до плям або пошкоджень.

## Двері та вікна

**Таблиця 2.2. Специфікація дверних проїомів**

Мар поз	Позначенн я	Найменува ння	Кількість на повахі					Ма са од., кг.	Приміт- ка
			1	2	3	4	Всього		
Д-1	Д.В. 1450x2100	Д-1	2				2		
Д-2	Д.М. 1200x2100	Д-2	3	3	3	3	12		
Д-3	ДО 1200x2100	Д-3	3	3	3	3	12		
Д-4	ДГ 900x2100	Д-4	6	6	6	6	24		
Д-5	Д.Б. 800x2100	Д-5	4	4	4	4	16		
Д-6	ДГ 800x3000	Д-6	11	1 1	1 1	1 1	44		

**Таблиця 2.3. Специфікація віконних проїмів**

Марка по проекту	Позначення, ескіз	Найменування елемента	Площа, м <sup>2</sup>	Кількість, шт.	Примітка
1	2	3	4	5	6
ВК-1		Металопластикове вікно фірми REHAU з подвійним склопакетом	1,56	12	
ВК-2		Металопластикове вікно фірми REHAU з подвійним склопакетом	1,83	40	
ВК-3		Металопластикове вікно фірми REHAU з подвійним склопакетом	2,05	80	
ВК-4		Металопластикове вікно фірми REHAU з подвійним склопакетом	2,73	40	
ВК-5		Металопластикове вікно фірми REHAU з подвійним склопакетом	2,877	20	

### **Зовнішнє і внутрішнє опорядження**

Внутрішні стіни та стелі житлового будинку на вулиці Рябошапка спроектовані з урахуванням естетичної привабливості та функціональності з використанням високоякісних матеріалів, які покращують загальні враження від проживання. Для теплоізоляції фасад утеплено пінополістиролом.

У вітальнях і спальнях стіни оброблені високоякісною фарбою, що миється, нанесеною на гладкі поверхні гіпсокартону. Гіпсокартон товщиною 12,5 мм кріпиться на металеві або дерев'яні шпильки, створюючи чисту і рівну поверхню, ідеальну для фарбування. Використана фарба типу з низьким вмістом летких органічних сполук, що забезпечує більш здорову якість повітря в приміщенні, одночасно забезпечуючи довговічне покриття, яке протистоїть вицвітанням та плямам. Палітра кольорів складається з нейтральних тонів, таких як м'який сірий, бежевий або брудно-білий, які створюють спокійний і універсальний фон для різних дизайнів інтер'єру.

У кухнях і ванних кімнатах стіни покриті вологостійкими матеріалами, щоб витримати підвищений рівень вологості та можливі бризки. На кухнях плитка використовується через її довговічність і легкість миття. Ці плитки часто є керамічними або порцеляновими, товщиною близько 8-10 мм і мають глазуровану поверхню, стійку до плям і води. Плитка може мати текстуроване покриття для покращення зчеплення та зменшення слизькості.

У ванних кімнатах стіни так само покриваються порцеляновою або керамічною плиткою, яка забезпечує чудову водостійкість. Плитка у ванній кімнаті часто менша за розміром і може мати складні візерунки або мозаїчні малюнки, щоб додати візуального інтересу, забезпечуючи практичний водонепроникний бар'єр. Плитка укладається за допомогою високоякісної затирки, яка протистоїть утворенню плісняви та цвілі, додатково забезпечуючи довговічність і легкість у догляді.

У приміщеннях загального користування, таких як коридори та вестибюлі, стіни оброблені поєднанням фарбованого гіпсокартону та декоративних елементів. Використовується високоякісна фарба, що миється, з акцентом на довговічність та простоту догляду. Акцентні стіни можна прикрасити декоративними панелями або фактурними шпалерами, які додають візуального інтересу та створюють вишукану атмосферу цих приміщень.

Стелі у вітальнях та спальнях оброблені стандартними гіпсокартонними панелями, товщиною 12,5 мм. Ці панелі кріпляться на металевий каркас, створюючи гладку і рівну поверхню, ідеальну для фарбування або додаткової обробки. Стелі пофарбовані в матовий або сатиновий колір, часто в білий або світлий колір, щоб підсилити яскравість і створити відчуття відкритості в кімнатах.

У кухнях і ванних кімнатах, де особливо важлива вологостійкість, стелі також покривають гіпсокартоном. Для додаткового захисту від вологи використовується спеціальний вологостійкий тип гіпсокартону, який часто називають зеленою дошкою. Цей тип гіпсокартону має водостійку серцевину та спеціальне покриття, яке протистоїть утворенню цвілі та цвілі. Стелі в цих приміщеннях також можуть мати вбудовані системи вентиляції для керування вологістю та підтримки якості повітря.

Стелі в зонах загального користування, таких як вестибюлі та коридори, розроблені таким чином, щоб доповнити загальну естетику будівлі. Вони оздоблені гладким гіпсокартоном і можуть включати декоративні елементи, такі як вбудовані освітлювальні прилади або стельові молдинги. Стелі також можна пофарбувати в нейтральні тони, щоб гармоніювати зі стінами та створювати єдиний вигляд у цих просторах. У деяких місцях можна використовувати акустичні плитки або панелі для покращення якості звуку та зниження рівня шуму, особливо в зонах інтенсивного руху чи громадських зонах.

В цілому, покриття стін і стелі в житловому будинку вибрано за їх довговічністю, естетичною привабливістю та функціональністю, що сприяє створенню комфортного та візуально приємного середовища проживання.

## 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.
21. Нормування праці та кошториси в будівництві. Суми -«Мрія – 1», 2010, 452 с.