

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**Факультет будівництва та транспорту**  
**Кафедра Будівництва та експлуатації будівель, доріг та транспортних споруд**

До захисту  
Допускається  
Завідувач кафедри  
Будівництва та експлуатації  
будівель, доріг та транспортних споруд \_\_\_\_\_ О. П. Новицький

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2024р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

**за другим рівнем вищої освіти**

На тему: «Особливості та методи реконструкції лікарні в м. Суми»

Виконав (ла)

\_\_\_\_\_  
(підпис)

С. В. Бобрицький

\_\_\_\_\_  
(Прізвище, ініціали)

Група

\_\_\_\_\_  
ЗПЦБ 2301м

(Науковий)  
керівник

\_\_\_\_\_  
(підпис)

О. В. Юрченко

\_\_\_\_\_  
(Прізвище, ініціали)

Суми – 2024 р.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

**Кафедра:** Будівництва та експлуатації будівель, доріг та транспортних споруд  
**Спеціальність:** 192 "Будівництво та цивільна інженерія"

**ЗАВДАННЯ**

**НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

**Бобрицький Сергій Вікторович**

**Тема роботи:** Особливості та методи реконструкції лікарні в м. Суми

Затверджено наказом по університету № 2915/ос від " 30 " 08 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. Характеристики добавок, 1.2. Аналіз факторів впливу, Розділ 2. Опис архітектурно-планувального рішення будівлі, 2.1. Ситуаційний план, 2.2. Об'ємно-планувальне рішення, 2.3.



## Анотація

Бобрицький Сергій Вікторович «Особливості та методи реконструкції лікарні в м. Суми» – 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.

Мікроморфологічні властивості бетону є ключовими для визначення його макроскопічних характеристик, зокрема механічних властивостей і гідроізоляції. У дослідженні вивчено вплив поліпропіленових волокон, золи-винесення та капілярно-кристалічної гідроізоляції на мікроструктуру бетону. Для цього було підготовлено чотири групи зразків, які включають різні комбінації цих матеріалів, і проведено скануючу електронну мікроскопію та рентгенівський дифракційний аналіз. Результати показали значні покращення в мікроструктурі бетону з додаванням золи-винесення та капілярно-кристалічної гідроізоляції.

Скануючі електронні мікрофотографії підтвердили, що використання золи-винесення зменшує пористість бетону, покращує його щільність і загальну міцність. Капілярно-кристалічна гідроізоляція також сприяє зниженню пористості, що підвищує водонепроникність бетону. Комбінація поліпропіленових волокон із золею-винесенням та гідроізоляцією забезпечує найбільші покращення в мікроструктурі, запобігаючи мікротріщиноутворенню та зміцнюючи зв'язок між компонентами бетону.

Рентгенівський дифракційний аналіз показав, що додавання золи-винесення збільшує інтенсивність піку гідроксиду кальцію, що свідчить про

покращення реакцій гідратації та формування гелеподібних продуктів гідратації. У свою чергу, додавання капілярно-кристалічної гідроізоляції зміцнює кристалічну структуру, підвищуючи довговічність та міцність бетону. Поєднання золи-винесення та гідроізоляції підтримує гідратацію та покращує загальні властивості бетону, що робить його більш ефективним для використання в умовах підвищених вимог до міцності та водонепроникності.

Ключові слова: гідроізоляція, бетон, реконструкція.

Список публікацій та/або виступів на конференціях студента:

1. Юрченко О. В., Бобрицький С. В. ВИВЧЕННЯ ВПЛИВУ ГІДРОІЗОЛЯЦІЙНИХ ДОБАВОК В БЕТОН: ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИЙ АСПЕКТ // Матеріали XVIII Міжнародної науково-практичної конференції , 29 листопада 2024 р., ХНАДУ, Харків, С.73

В додатках наведено тези конференції, альбом слайдів мультимедійної презентації.

Структура роботи.

Робота складається з основного тексту на 52 сторінках, у тому числі 21 таблиця, 6 рисунків. Текст роботи містить загальну характеристику роботи, 2 розділи, висновки і рекомендації за результатами роботи, список з 18 використаних джерел. Графічна частина складається з 16 слайдів мультимедійної презентації.

## **Abstracts**

Bobrytskyi Serhii Viktorovych 'Features and methods of reconstruction of the hospital in Sumy' - Master's qualification work in the form of a manuscript.

Master's thesis in the speciality 192 'Construction and Civil Engineering.' - Sumy National Agrarian University, Sumy, 2024.

The work consists of the table of contents, general characteristics of the work and its qualification features, a review of research on the chosen topic, sections of the main part, conclusions on the results of the ICR (in Ukrainian and English).

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

The micromorphological properties of concrete are key to determining its macroscopic characteristics, in particular mechanical properties and waterproofing. The study examined the effect of polypropylene fibres, fly ash and capillary crystal waterproofing on the microstructure of concrete. For this purpose, four groups of samples were prepared, including different combinations of these materials, and scanning electron microscopy and X-ray diffraction analysis were carried out. The results showed significant improvements in the microstructure of concrete with the addition of fly ash and capillary crystal waterproofing.

Scanning electron micrographs confirmed that the use of fly ash reduces the porosity of concrete, improves its density and overall strength. Capillary crystal waterproofing also helps to reduce porosity, which increases the water resistance of the concrete. The combination of polypropylene fibres with fly ash and waterproofing provides the greatest improvements in microstructure, preventing microcracking and strengthening the bond between concrete components.

X-ray diffraction analysis showed that the addition of fly ash increases the intensity of the calcium hydroxide peak, indicating improved hydration reactions and the formation of gel-like hydration products. In turn, the addition of capillary crystalline waterproofing strengthens the crystal structure, increasing the durability and strength of concrete. The combination of fly ash and waterproofing maintains hydration and improves the overall properties of concrete, making it more effective

for use in conditions with increased strength and water resistance requirements.

Keywords: waterproofing, concrete, reconstruction.

List of publications and/or conference presentations of the student:

1. Yurchenko O.V., Bobrytskyi S.V. STUDY OF THE INFLUENCE OF HYDROISOLATION ADDITIVES IN CONCRETE: TECHNICAL AND ECONOMIC ASPECT // Proceedings of the XVIII International Scientific and Practical Conference, 29 November 2024, KhNADU, Kharkiv, P.73

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

Structure of the work.

The work consists of the main text on 52 pages, including 21 tables, 6 figures. The text of the paper contains a general description of the work, 2 chapters, conclusions and recommendations based on the results of the work, a list of 18 references. The graphic part consists of 16 slides of a multimedia presentation.

## **ЗМІСТ**

<b>Розділ 1. Загальна характеристика роботи.....</b>	<b>9</b>
<b>1.1. Характеристики добавок.....</b>	<b>12</b>
<b>1.2. Аналіз факторів впливу.....</b>	<b>19</b>
<b>Розділ 2. Опис архітектурно-планувального рішення будівлі.....</b>	<b>41</b>
<b>2.1. Ситуаційний план.....</b>	<b>41</b>
<b>2.2. Об'ємно-планувальне рішення.....</b>	<b>41</b>
<b>2.3. Архітектурно-конструктивне рішення.....</b>	<b>43</b>
<b>2.4. Інженерні розрахунки.....</b>	<b>44</b>
<b>Список використаних джерел.....</b>	<b>51</b>

## РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми:** Актуальність теми дослідження полягає у зростаючій потребі в бетоні з підвищеною довговічністю та експлуатаційними характеристиками, особливо для конструкцій, які потребують високого рівня водонепроникності та стійкості до розтріскування. Ці характеристики особливо важливі для підземних конструкцій у будинках, де проникнення води та структурна напруга можуть призвести до довгострокового пошкодження та зниження безпеки. Додавання таких матеріалів, як летюча зола, цементні капілярно-кристалічні гідроізоляційні агенти та поліпропіленові волокна показали багатообіцяюче покращення як механічної міцності, так і водонепроникності бетону.

Однак конкретна комбінація цих матеріалів та їх синергетичний ефект потребують подальшого дослідження. Це дослідження відповідає цій потребі, досліджуючи, як ці матеріали можна оптимізувати для створення бетону, який є міцнішим, довговічнішим і стійкішим до розтріскування. При цьому він пропонує рішення, які дуже актуальні для будівельної галузі, особливо в таких сферах, як ізоляція підземних споруд, де довговічність і водонепроникність є критичними.

**Мета і завдання дослідження:** Метою дослідження є вивчення спільного впливу золи-винесення, цементних капілярних кристалічних гідроізоляційних засобів і поліпропіленових волокон на механічні властивості та водонепроникність бетону. Зокрема, дослідження спрямоване на визначення оптимальної комбінації цих матеріалів, яка максимізує міцність бетону на стиск і розтяг, одночасно значно знижуючи його проникність. Очікується, що результати цього дослідження призведуть до створення бетонного композиту, який не тільки має покращену структурну цілісність, але також є більш стійким до розтріскування та проникнення води, що робить його ідеальним для використання у складних застосуваннях, таких як ізоляція підземних споруд у будинках.

Для досягнення цієї мети було визначено декілька ключових завдань. Перше завдання полягає в тому, щоб дослідити, як різні концентрації золи-винесення, цементних капілярно-кристалічних гідроізоляційних матеріалів і поліпропіленових волокон впливають на механічні властивості та водонепроникність бетону. Це передбачає проведення серії експериментів для систематичної оцінки впливу різних кількостей цих матеріалів на міцність бетону на стиск і розтяг, а також на його здатність протистояти проникненню води.

Друге завдання полягає в аналізі мікроскопічних змін, які відбуваються в бетоні при додаванні цих матеріалів. Для цього використовуються новітні методи візуалізації, такі як скануюча електронна мікроскопія та рентгенівська дифракція, щоб досліджувати зміни в мікроструктурі бетону та ідентифікувати кристалографічні зміни, які відбуваються.

Третє завдання полягає у визначенні оптимальної комбінації цих матеріалів, яка забезпечує найкращий баланс між підвищеною міцністю та зниженою проникністю. Нарешті, необхідно оцінити, як ці матеріали впливають на процес гідратації цементу та результуючу мікроструктуру бетону. Це допомагає зрозуміти основні механізми, завдяки яким матеріали покращують властивості бетону.

**Об'єкт дослідження:** Вивчення впливу гідроізоляційних добавок в бетон.

**Предмет дослідження:** Реконструкція лікарні в місті Суми.

**Методи дослідження:** Методи дослідження, використані в цьому дослідженні, призначені для проведення ретельного та детального аналізу впливу золи-винесення, цементних капілярних кристалічних гідроізоляційних агентів і поліпропіленових волокон на бетон. Перший метод передбачає ортогональне тестування, структурований експериментальний підхід, який дозволяє систематично оцінювати, як різні комбінації цих матеріалів впливають на властивості бетону. Цей метод особливо корисний

для виявлення взаємодії між матеріалами та визначення найбільш ефективної комбінації.

Другий метод передбачає використання скануючої електронної мікроскопії та рентгенівської дифракції для дослідження мікроскопічної структури бетону. Скануюча електронна мікроскопія забезпечує зображення морфології бетону з високою роздільною здатністю, що дозволяє детально проаналізувати, як матеріали змінюють свою структуру на мікроскопічному рівні. Рентгенівська дифракція використовується для виявлення кристалографічних змін, які відбуваються в бетоні, що дає розуміння хімічних і фізичних процесів, які сприяють його покращенню.

На додаток до цих методів візуалізації, механічні випробування використовуються для вимірювання міцності на стиск, міцність на розтяг і проникність бетону. Ці випробування надають кількісні дані, які можна використовувати для оцінки того, як матеріали впливають на механічні властивості бетону та його здатність протистояти проникненню води. Нарешті, інтегрований метод оцінки використовується для оцінки ефективності різних комбінацій трьох матеріалів. Цей метод дозволяє визначити оптимальну комбінацію, яка максимізує міцність і водонепроникність бетону, надаючи чіткі рекомендації для практичного застосування в будівництві.

**Наукова та технічна новизна одержаних результатів:** Наукова новизна дослідження полягає в комплексному вивченні впливу модифікованих матеріалів, зокрема поліпропіленових волокон, золи-винесення та капілярно-кристалічної гідроізоляції, на мікроструктурні та макроскопічні властивості бетону. Вперше в роботі здійснено порівняльний аналіз чотирьох груп бетону, що включають різні комбінації цих матеріалів, з використанням скануючої електронної мікроскопії та рентгенівського дифракційного аналізу для оцінки їх впливу на процеси гідратації та утворення гелеподібних продуктів гідратації цементу.

Дослідження також виявило нові механізми взаємодії між поліпропіленовими волокнами, золею-винесенням та капілярно-кристалічною гідроізоляцією на мікроструктурному рівні, що дозволяє значно покращити міцність і водонепроникність бетону. Зокрема, було встановлено, що комбінація золи-винесення та капілярно-кристалічної гідроізоляції сприяє посиленню кристалічності гідратаційних продуктів і підвищенню загальної щільності бетону, що має потенціал для значного покращення його експлуатаційних характеристик.

Результати дослідження також внесли нові дані про взаємодію між компонентами бетону, що відкриває перспективи для створення високоефективних бетонних сумішей, здатних досягати кращих характеристик в умовах підвищених вимог до механічних і гідроізоляційних властивостей. Ці результати можуть бути використані для подальших розробок нових бетонних матеріалів з поліпшеними експлуатаційними властивостями для застосування в будівництві, особливо в умовах агресивних середовищ.

**Апробація та публікація результатів роботи:** 1. Юрченко О. В., Бобрицький С.В. ВИВЧЕННЯ ВПЛИВУ ГІДРОІЗОЛЯЦІЙНИХ ДОБАВОК В БЕТОН: ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИЙ АСПЕКТ // Матеріали XVIII Міжнародної науково-практичної конференції , 29 листопада 2024 р., ХНАДУ, Харків, С.73

### **1.1. Характеристики добавок**

З постійним розширенням будівництва значно зріс попит на капітальний ремонт підземні споруди, такі як ті, що знаходяться в будинках. Однак це зростання супроводжувалося зростанням структурних проблем, включаючи витіки через підземні споруди, розтріскування бетону та погіршення стану теплоізоляційних систем. Серед них витік води в ізоляції підземних споруд є особливо помітним і є постійною проблемою. Ця проблема ставить під загрозу не лише експлуатаційну безпеку споруд, але й ефективність основної інфраструктури, що призводить до корозії об'єктів,

зниження структурної цілісності, а в серйозних випадках – до людських жертв і фінансових втрат.

У районах зі складними геологічними та гідрологічними умовами вода, яка часто містить корозійні іони, проникає крізь бетон, що призводить до корозії арматури та погіршення структурних властивостей бетону. У результаті підвищення водонепроникності та тріщиностійкості бетону в підземних спорудах стало предметом серйозного занепокоєння. Досягнення цього вимагає зосередження на оптимізації складу бетонної суміші для покращення її внутрішніх гідроізоляційних властивостей.

Сучасний підхід до вирішення цих питань передбачає включення в бетонну суміш мінеральних добавок та інших домішок. Цей метод покращує здатність матеріалу протистояти проникненню води та розтріскуванню, які є основними факторами, що порушують структурну цілісність. Самогідроізоляція бетону багато в чому залежить від його механічних властивостей і компактності його внутрішньої структури. Утворення тріщин — на макро- або мікрорівні — значно знижує щільність бетону, погіршує його водонепроникність, морозостійкість, міцність і довговічність. Тріщини діють як канали для проникнення води, що робить стійкість до тріщин вирішальним визначальним фактором загальних характеристик матеріалу.

Різні дослідники використовували порівняльні експерименти та мікроскопічний аналіз, щоб продемонструвати, що найкращі показники гідроізоляції були досягнуті шляхом заміни 30% цементу відпрацьованим керамічним полірувальним порошком, демонструючи покращену водонепроникність у поєднанні з летючою золою. Додавання золи-винесення біомаси призвело до більш щільної мікроструктури та підвищення міцності на стиск, розтяг і згин. Оптимальні характеристики бетону досягаються з вмістом мінеральних речовин 22%, співвідношенням піску 45%, вмістом кам'яного порошку 14% і водоцементним співвідношенням 0,31.

Реакції гідратації, що відбуваються в процесі твердіння бетону, що містить різні мінеральні домішки, часто призводять до автогенної усадки.

Наприклад, спостерігалось, що введення шлакового порошку в бетон збільшує самоусадку, причому швидкість усадки прямо пропорційна кількості доданого шлаку. Експерименти показали, що зі збільшенням вмісту шлаку початкова температура, напруга розтріскування та температура розтріскування бетону зменшуються, а автогенна усадка значно зростає, що свідчить про наявність оптимального вмісту шлаку.

Крім того, дослідження показали, що збільшення коефіцієнта заміщення кремнецементу призводить до помітного збільшення автогенної усадки з часом порівняно з еталонним бетоном. Подібним чином це явище спостерігається в самоущільнюваному фібробетоні. Вплив мінеральних домішок на автогенну усадку та раннє розтріскування пояснюється, перш за все, їх активними та морфологічними характеристиками. Високоактивні домішки прискорюють процес гідратації цементу та підсилюють потік води в суміші, що призводить до підвищення негативного капілярного тиску. Це може підвищити як швидкість автогенної усадки, так і можливість розтріскування. Отже, було визначено, що зола-винесення з низькою активністю та округлою формою частинок особливо підходить для виробництва водонепроникного бетону.

Хоча додавання мінеральних домішок може призвести до автогенної усадки, дуже важливо включати ці матеріали у відповідних кількостях для покращення різних властивостей бетону. Були проведені численні експериментальні та теоретичні дослідження непроникності та стійкості до розтріскування фібробетону, що дало значні результати. Наприклад, дослідження проникності бетону нормальної міцності та бетону, армованого волокном, за постійного розтягуючого навантаження показали, що зразки, армовані волокном, демонструють значно нижчу проникність, ніж стандартні зразки за подібних рівнів напруги, що позитивно впливає на довговічність залізобетонних конструкцій.

Крім того, дослідження впливу волокон на водонепроникність і стійкість до розтріскування показали, що конкретні комбінації волокон і

домішок можуть призвести до істотного поліпшення механічних властивостей. Наприклад, було показано, що використання волокон з полівінілового спирту в поєднанні зі штучними сталевими волокнами та розширювачами з сульфоалюмінату кальцію підвищує міцність на стиск і розтяг, одночасно значно покращуючи водостійкість. Включення поліпропіленових волокон у бетон, що містить золу-винесення та шлаковий порошок, також продемонструвало покращені гідроізоляційні характеристики зі збільшенням вмісту волокон.

Порівняльні дослідження різних типів волокон показали, що як базальтові, так і поліпропіленові волокна ефективно знижують високу водопроникність стандартного бетону, при цьому поліпропіленові волокна перевершують базальтові волокна в цьому відношенні. Результати досліджень показують, що використання поліпропіленових волокон довжиною 10 мм у певній дозі може значно знизити водопроникність бетону порівняно зі стандартними складами.

Крім того, було вивчено вплив водопроникних кристалічних гідроізоляційних матеріалів на гідроізоляційні та механічні властивості бетону. Докази свідчать про те, що додавання таких матеріалів може значно підвищити водонепроникність, одночасно покращуючи загальні механічні властивості бетону, включаючи зменшення пористості та водопоглинання.

Перед впровадженням ортогональних методів будівництва важливо встановити еталонну пропорцію бетонної суміші. Цей еталонний склад призначений для підтримки постійного водоцементного співвідношення в усіх групах зразків шляхом заміни еквівалентної маси цементу золою-винесенням і цементним капілярно-кристалічним гідроізоляційним матеріалом. Еталонний бетон служить контролем під час експериментів, дозволяючи оцінити вплив модифікації різних груп зразків у рамках ортогональних випробувань.

Визначення еталонних пропорцій і виконання тестових сумішей мають вирішальне значення для забезпечення працездатності та механічних

властивостей бетону, які є основою для всього експериментального процесу. У складі бетонної суміші використовується звичайний портландцемент з класом міцності 42. Фізичні властивості цього цементу детально описані в супровідній таблиці даних.

Крупний заповнювач це щебінь із безперервною грануляцією номінальних діаметрів від 7 до 14 міліметрів. Дрібний заповнювач складається з механічного піску суцільної фракції з коефіцієнтом крупності 2,65. Зола класу I додається як мінеральна добавка, тоді як гідроізоляційний агент використовується як цементний капілярний гідроізоляційний матеріал, характеристики якого також вказані в допоміжній таблиці даних. Додатково в суміші використовуються поліпропіленові волокна довжиною 18 міліметрів, відповідні показники наведені в супровідній таблиці.

**Таблиця 1.1. Фізико-механічні показники цементу**

Номер	Вимога щодо нормальної консистенції / %	Стабільність	Тонкість / %	Час схоплювання / хв	Міцність на вигин / МПа	Міцність на стиск / МПа
P-O 42.5	28.0	Відповідає нормі	1.37	Початкове схоплювання	Кінцеве схоплювання	3 дні
				179	247	3.86

**Таблиця 1.2. Показники цементних капілярнокристалічних гідроізоляційних матеріалів**

Тестові Параметри	Технічні Вимоги	Результати Тесту
Зовнішній вигляд	Однорідний, без грудок	Однорідний, без грудок
Вміст води / %	≤1.5	0.0
Тонкість, залишок на ситі 0.63 мм / %	≤5.0	1.26
Вміст хлорид-іонів / %	≤0.1	0.0525
Ступінь водозниження / %	<8.0	7.35
Вміст газу / %	≤3.0	2.1
Різниця в часі схоплювання	Початкове схоплювання / хв	
	Кінцеве схоплювання / год	

**Таблиця 1.3. Експлуатаційні показники поліпропіленових волокон**

Тестові Параметри	Технічні Вимоги	Результати Тесту
Міцність на розрив / МПа	350–537	492.45
Подовження при розриві / %	≤30	29.82
Модуль пружності / МПа	≥4000	4447.8
Густина / г·см <sup>-3</sup>	0.91	0.91
Діаметр / мм	18–78	34.335
Температура плавлення / °С	169	169

Бетон, що використовується для підземних конструкцій будинків, має специфічні характеристики, серед яких помірна міцність, висока текучість і відмінні гідроізоляційні властивості. На відміну від бетону, який використовується в інших конструкціях, цей тип бетону не несе більшої частини навантаження від будівлі, оскільки основні конструктивні елементи витримують це. Замість цього він служить додатковим захисним шаром, тобто висока міцність не є критичною вимогою.

Будівництво в підземних середовищах представляє унікальні проблеми, які ускладнюють впровадження традиційних методів вібрації бетону. Таким чином, розробка суміші повинна мати пріоритет на досягненні належної міцності, одночасно забезпечуючи придатність бетону до виконання вимогливих умов будівництва.

**Таблиця 1.4. Розрахована пропорція суміші стандартного бетону**

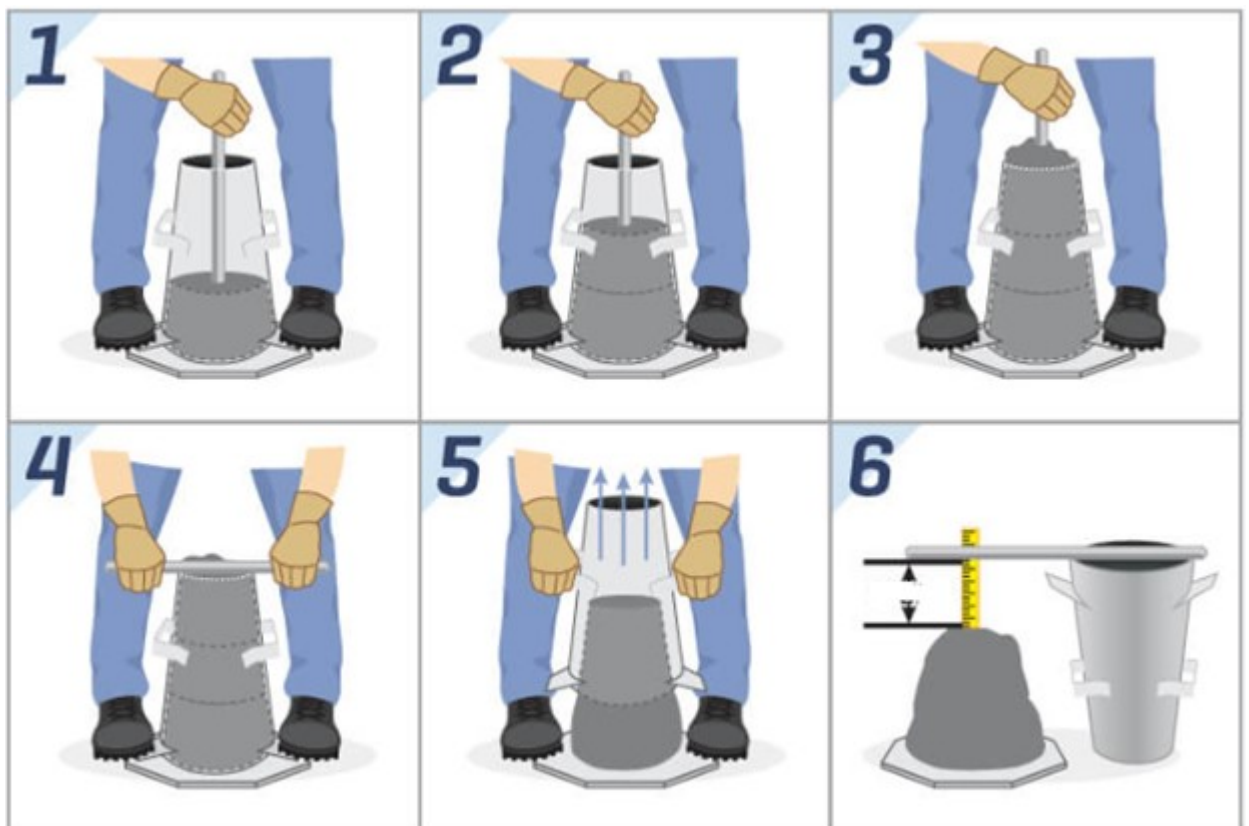
Сировина	Цемент	Дрібний Заповнювач	Крупний Заповнювач	Вода	Водознижуючий Агент
Споживання на кубічний метр / кг·м <sup>-3</sup>	420	747.6	1167.6	184.8	0.84
	1	1.869	2.919	0.462	0.0021

Через мінливість властивостей сировини співвідношення суміші, розраховане відповідно до стандартних специфікацій, не може бути безпосередньо застосоване для підготовки зразка. Важливо провести пробну суміш у початковому співвідношенні та відрегулювати її відповідним чином

для досягнення бажаної легкоукладальності та механічних властивостей бетону.

У процесі змішування використовується примусовий міксер. Процедура виглядає наступним чином: спочатку цемент і дрібний заповнювач додають у міксер і перемішують протягом 3 хвилин. Потім додається вода для утворення цементного розчину з дрібним заповнювачем. Далі додається щебінь і перемішується протягом 5 хвилин, щоб забезпечити повне вбирання розчину каменем. Нарешті, для точного налаштування консистенції суміші додається водовідновлювач. Після змішування суміш перевіряють на наявність кровотеч і піддають тесту на осадження.

Після завершення змішування та тестування бетон формують і дають йому схопитися. Після затвердіння зразки переносять у стандартну камеру затвердіння. Щоб оцінити початкову міцність бетону, через тиждень проводять випробування міцності на стиск.



**Рис. 1.1. Випробування на осідання**

В результаті пробного замішування в бетоні, замішаному згідно з початково розрахованими пропорціями, спостерігалось протікання, що

свідчить про необхідність коригування. Перший підхід передбачав зменшення водоцементного співвідношення без зміни кількості цементного матеріалу. Однак цей метод значно зменшив текучість бетону, давши значення осадки лише 95 мм, що було недостатньо.

Другий підхід був зосереджений на збільшенні питомої поверхні бетону за рахунок збільшення частки піску. Цей метод вимагав більше води, одночасно зменшуючи кількість вільної води, допомагаючи підтримувати консистенцію суміші. Після збільшення вмісту піску на 3% легкоукладальність суміші покращилася. Міцність на стиск досягла 32,35 МПа через тиждень, що відповідає початковим вимогам як до міцності, так і до працездатності в ізоляції підземних споруд.

Таким чином, кінцеві пропорції суміші для еталонного бетону були успішно визначені і представлені в таблиці.

**Таблиця 1.5. Фінальні фізико-механічні показники цементу**

Сировина	Цемент	Дрібний Заповнювач	Крупний Заповнювач	Вода	Водознижувачий Агент
Споживання на кубічний метр / кг-м <sup>3</sup>	420	785.4	1129.8	184.8	0.84
	1	1.963	2.825	0.462	0.0021

## 1.2. Аналіз факторів впливу

Перед проведенням ортогонального плану експерименту важливо чітко визначити мету тесту та запропонувати відповідні показники оцінки, щоб забезпечити точність результатів. Основною метою цього експерименту є підвищення водонепроникності та стійкості до розтріскування бетону підземних конструкцій будинків шляхом введення в бетонну суміш різних матеріалів. Для цього пропонуються три ключові параметри випробувань: міцність на стиск, міцність на розтяг і глибина проникнення води.

Міцність на стиск забезпечує несучу здатність конструкції, міцність на розрив оцінює стійкість бетону до розтріскування, а глибина проникнення відображає здатність матеріалу протистояти проникненню води.

Після визначення експериментальних показників вибираються фактори, які можуть вплинути на результати, і встановлюються відповідні рівні. Вибір факторів вимагає поєднання практичного досвіду та огляду літератури. Завдяки комплексному аналізу попередніх досліджень було обрано три основні матеріали: зола-винос (як репрезентативна мінеральна добавка), поліпропіленове волокно (як волокниста добавка) і цементний капілярно-кристалічний гідроізоляційний матеріал (як гідроізоляційна добавка). Ці матеріали були обрані для покращення водонепроникності та стійкості бетону до розтріскування. На основі детального огляду літератури були встановлені оптимальні рівні для кожного з цих матеріалів, які представлені у відповідній таблиці.

**Таблиця 1.6. Тестові значення**

Фактор	А (Вміст летючої золи)	В (Вміст волокна)	С (Вміст водонепроникного матеріалу)
Рівень			
1	15.75%	1.05 кг/м <sup>3</sup>	1.05%
2	21.00%	1.575 кг/м <sup>3</sup>	2.10%
3	26.25%	2.10 кг/м <sup>3</sup>	3.15%

Після встановлення факторів і рівнів для ортогонального експерименту наступним кроком є вибір відповідного ортогонального масиву для плану експерименту. Розмір ортогонального масиву має вирішальне значення; він не повинен бути ні занадто великим, ні занадто маленьким. Надмірно великий ортогональний масив може не суттєво вплинути на результати експерименту та знизити ефективність роботи, тоді як менший масив може поставити під загрозу точність результатів. З огляду на те, що це дослідження включає три фактори, кожен з яких має три рівні, ортогональна матриця виявляється найбільш прийнятним варіантом для проведення експерименту.

Щоб підтримувати постійне співвідношення води і в'язучого, цемент у суміші замінюють золом-виносом і водонепроникним кристалічним гідроізоляційним засобом.

**Таблиця 1.7. Співвідношення суміші зразків**

Номер	Співвідношення вода-з binder	Цемент (кг/м <sup>3</sup> )	Середній пісок (кг/м <sup>3</sup> )	Щебінь (кг/м <sup>3</sup> )	Вода (кг/м <sup>3</sup> )	Пластифікатор (кг/м <sup>3</sup> )	Летюча зола (кг/м <sup>3</sup> )	Волокно (кг/м <sup>3</sup> )	СССВ (кг/м <sup>3</sup> )
L-0	0.44	420	785	1130	185	0.84	0	0	0
L-1	0.44	352	785	1130	185	0.84	63	1.05	4.2
L-2	0.44	327	785	1130	185	0.84	84	1.58	8.4
L-3	0.44	302	785	1130	185	0.84	105	2.10	12.6
L-4	0.44	344	785	1130	185	0.84	63	1.58	12.6
L-5	0.44	332	785	1130	185	0.84	84	2.10	4.2
L-6	0.44	307	785	1130	185	0.84	105	1.05	8.4
L-7	0.44	349	785	1130	185	0.84	63	2.10	8.4
L-8	0.44	323	785	1130	185	0.84	84	1.05	12.6
L-9	0.44	311	785	1130	185	0.84	105	1.58	4.2

Для приготування зразків бетону використовуються примусові змішувачі, що забезпечують точне вимірювання ваги кожного компонента перед змішуванням. Процедура змішування повторює процедуру змішування еталонного бетону. Спочатку цемент, пісок і поліпропіленові волокна вводяться в змішувач, потім йде фаза сухого змішування тривалістю 3 хвилини для досягнення рівномірного розподілу волокон і пом'якшення злипання. Потім додається вода і перемішування триває ще 3 хвилини до отримання однорідного цементного розчину. Потім додають щебінь і водовідновлювач, після чого ще 3 хвилини ретельно перемішують.

Після процесу змішування отриману бетонну суміш заливають у форми і ущільнюють за допомогою вібрації. Форми не турбують протягом доби перед вийманням. Потім кожен зразок маркується та зберігається в стандартній коробці для затвердіння протягом місяця. Механічні властивості оцінюють за допомогою кубічних зразків розміром 100 мм, тоді як водостійкість оцінюють за допомогою стандартних трапецієподібних зразків.

Після завершення періоду твердіння негайно проводяться випробування механічних властивостей. Машина для випробування тиском працює зі швидкістю навантаження 0,55 МПа/с. Звичайний бетон демонструє крихке руйнування, що характеризується значним відколюванням поверхні

зразка. Навпаки, бетон, армований волокнами, демонструє збереження залишкової міцності після розтріскування, викликаного стисненням. Це покращення продуктивності пояснюється властивостями поліпропіленових волокон на розтягнення, які ефективно пом'якшують катастрофічні крихкі руйнування, зміцнюючи бетонну матрицю під час напруги.



**Рис. 1.2. Випробування міцності на стиск**

Зразки бетону поділяють на групи на основі однакових числових позначень і розраховують середню міцність на стиск для кожної групи, щоб отримати кінцеве значення міцності на стиск. Враховуючи, що зразки, використані в цьому експерименті, є нестандартними, розраховану середню міцність на стиск необхідно скоригувати шляхом застосування коефіцієнта зниження 0,9. Метод розрахунку дотримується зазначеної формули для визначення скоригованої міцності на стиск.

$$f_{cc} = \frac{F}{A}$$

У цьому контексті  $f$  позначає міцність на стиск зразка бетонного куба,  $F$  позначає навантаження на розрив, а  $A$  позначає площу, що витримує тиск. Міцність на розрив має вирішальне значення для оцінки стійкості бетону до розтріскування та є ключовим параметром у проектуванні конструкції, що впливає як на стійкість до розтріскування, так і на міцність зв'язку між бетонною матрицею та арматурною сталлю. Випробування на міцність на розрив включають таке обладнання, як сталевий дуговий ударний блок, фанерна ударна стрічка та лінійка. Для бетону використовувалась швидкість навантаження 0,055 МПа/с у межах рекомендованого діапазону від 0,055 до 0,085 МПа/с.

Значення міцності на розрив визначається як середнє значення трьох зразків із застосуванням коефіцієнта зниження 0,9 для врахування нестандартного характеру зразків. Метод розрахунку здійснюється за вказаною формулою.

$$f_{ts} = \frac{2F}{\pi A} = 0.637 \frac{F}{A}$$

У цьому дослідженні для оцінки водонепроникності бетону використовувалася інтелектуальна машина для тестування водонепроникності бетону. Цей прилад працює при максимально допустимому тиску 4 МПа і має автоматичний наддув, що дозволяє одночасно перевіряти шість зразків. Розміри сталеві форми складають 170 мм у верхньому діаметрі, 180 мм у нижньому діаметрі та 155 мм у висоті, що відповідає стандартам для оцінки довгострокової роботи та довговічності звичайного бетону.

Для методу висоти проникнення зразки спочатку виймають із контейнера для твердіння та очищають. Ущільнення виконується за допомогою гумових кілець і клею для скла, а не парафіну, щоб пом'якшити екологічні проблеми та ускладнити експлуатацію. Гумові кільця розміщують

на обох кінцях зразка, а потім наносять клей для скла на місця кілець. Потім зразок пресують у сталеву форму та залишають для герметизації на 10 годин. Цей метод продемонстрував простоту використання та ефективні герметизуючі властивості, мінімізуючи витік води з форми та підвищивши рівень успіху експерименту.



**Рис. 1.3. Випробування на водонепроникність бетону**

Після завершення герметизації можна починати тестування. Почніть з відкриття шести водяних клапанів, щоб наповнити тестовий резервуар і видалити будь-яке захоплене повітря з водопровідних труб і резервуара. Переконайтеся, що тестовий зразок правильно встановлено за допомогою щільно закріплених гвинтів, щоб зберегти герметичність.

Спочатку встановіть тиск води на 1,25 МПа та стежте за будь-яким просочуванням води навколо зразка. У разі просочування вийміть і повторно закрийте зразок. Кожен із шести зразків піддається цьому тиску води протягом доби, після чого випускний клапан закривається для завершення випробування.

Потім скористайтеся пресом, щоб розділити насичений зразок бетону навпіл уздовж центральної лінії. Позначте водяну пляму водонепроникною

ручкою та розділіть її на десять рівних частин. Виміряйте висоту проникнення та обчисліть середнє значення.

Висота проникнення обчислюється за допомогою рівнянь:

$$h_i = \frac{1}{10} \sum_{j=1}^{10} h_{ij}$$

$$= \frac{1}{6} \sum_{i=1}^6 h_i$$

У цьому контексті  $h_j$  представляє висоту проникнення в  $j$ -й точці вимірювання  $i$ -го зразка, тоді як  $h$  позначає середню висоту проникнення в десяти точках вимірювання для  $i$ -го зразка. Загальна середня висота проникнення для групи зразків позначається як  $h$ , вимірюється в міліметрах, і служить кінцевим результатом випробування висоти проникнення для цієї групи.

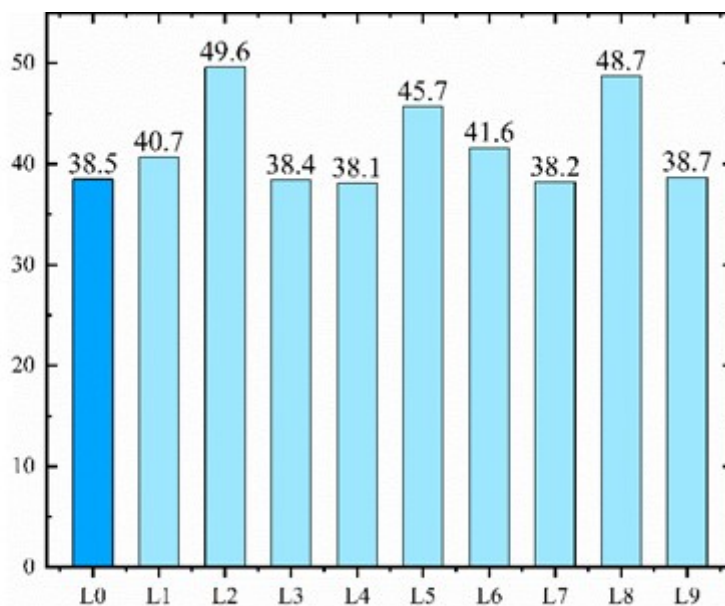
Після того як висота проникнення для кожної групи зразків обчислена, коефіцієнт відносної проникності може бути отриманий на основі тиску води та тривалості проникнення. Цей коефіцієнт відображає гідроізоляційну ефективність бетону; менший коефіцієнт відносної проникності вказує на більший опір бетону проникненню рідини.

$$S_k = \frac{mD^2}{2TH}$$

У цьому контексті  $S_k$  представляє відносний коефіцієнт проникності, тоді як  $m$  є коефіцієнтом водопоглинання бетону. Змінна  $D_m$  позначає середню висоту проникнення зразка,  $T$  — тривалість проникнення, а  $H$  вказує тиск води, виражений у вигляді гідравлічного напору.

Основна перевага ортогональних експериментів полягає в їх здатності сприяти комплексному аналізу за допомогою мінімальної кількості тестів. Ця методологія дозволяє ідентифікувати суттєві взаємодії між різними факторами, що впливають на результати експерименту. Методи аналізу, що

використовуються в цьому контексті, включають аналіз діапазону та дисперсійний аналіз.



**Рис. 1.4. Результати випробувань на міцність на стиск**

Бетон, що містить модифіковані матеріали демонструє підвищену міцність порівняно зі звичайним бетоном. Примітно, що міцність бетонної суміші другого зразка продемонструвала найбільш значне збільшення на 28%, що свідчить про позитивний внесок поєднання золи-винесення, поліпропіленових волокон і капілярно-кристалічної гідроізоляції у загальну міцність бетону.

Однак у контексті ортогональних експериментів простого порівняння груп вибірки недостатньо. Важливо провести аналіз діапазону та дисперсійний аналіз експериментальних результатів, щоб виявити чіткі моделі впливу.

**Таблиця 1.8. Аналіз діапазону міцності на стиск**

Номер зразка	Вміст летючих порід/%	Вміст волокон/ кг·м <sup>3</sup>	Вміст СССW/%	Компресійна міцність/ МПа
L1	15.0	1.05	1.05	42.74
L2	21.0	1.58	2.10	52.56
L3	26.25	2.10	3.15	40.32
L4	15.0	1.58	3.15	39.01
L5	21.0	2.10	1.05	48.00
L6	26.25	1.05	2.10	43.68
L7	15.0	2.10	2.10	40.01
L8	21.0	1.05	3.15	51.14
L9	26.25	1.58	1.05	40.67
K1	122.85	137.55	131.00	A > B > C
K2	151.20	132.72	136.20	
K3	124.65	128.43	131.00	
k1	40.95	45.87	43.83	
k2	50.40	44.21	45.26	
k3	41.70	42.84	43.83	
R	9.45	3.04	1.47	

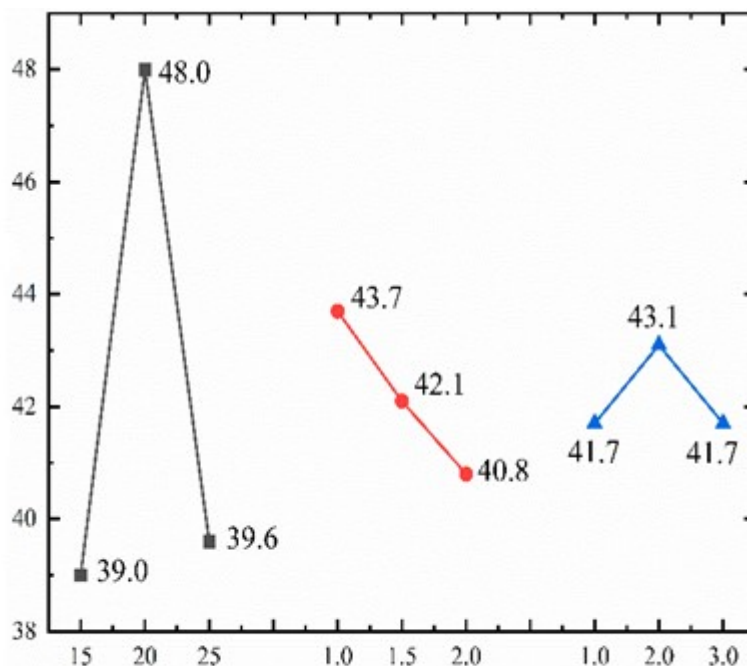
Аналіз міцності на стиск показує ієрархію впливу трьох досліджуваних факторів: найбільш значний вплив має вміст золи, потім вміст волокна та вміст капілярно-кристалічної гідроізоляції. Це вказує на те, що зменшення вмісту золи-винесення помітно підвищує міцність бетону, тоді як внески поліпропіленових волокон і капілярно-кристалічних гідроізоляційних агентів порівняно мінімальні.

Підвищення міцності, яке приписується золі-виносу, можна пояснити трьома основними механізмами: пуцолановою реакцією попелу, внесенням дрібних агрегатів і морфологічними характеристиками частинок попелу. Реакція відбувається, коли активні компоненти золи-винесення реагують з гідроксидом кальцію, що виділяється під час гідратації цементу, що призводить до утворення більш щільного гідратованого силікату кальцію та

гідратованого алюмінату кальцію, які зміцнюють структурну цілісність. Крім того, дрібні частинки золи-винесення збільшують питому поверхню заповнювача, сприяючи заповненню порот між грубими та дрібними заповнювачами. Це покращує працездатність і, зрештою, сприяє підвищенню міцності бетону, явище, яке часто називають ефектом мікрозаповнювача золи.

Сферична форма та гладкі поверхні частинок золи зменшують потребу суміші у воді, підвищуючи текучість і сприяючи ефективному ущільненню бетону. Включення волокон, речовин, що зменшують усадку, і суперабсорбентних полімерів додатково покращує міцність на стиск. Комбінація золи-винесення, поліпропіленових волокон і капілярно-кристалічних гідроізоляційних агентів призводить до значного підвищення міцності на стиск завдяки синергічним ефектам цих матеріалів.

Оптимальні дозування цих компонентів можна визначити за допомогою аналізу індикаторної факторної діаграми. Важливість впливу кожного фактора на міцність на стиск також може бути перевірена шляхом проведення дисперсійного аналізу, що забезпечує всебічне розуміння взаємодії між цими факторами.



**Рис. 1.5. Тенденція зміни міцності на стиск**

**Таблиця 1.9. Дисперсійний аналіз міцності на стиск**

Джерело варіації	Сума квадратів варіації	Ступінь свободи	Середній квадрат	Значення F	p-значення	Значущість
A (Вміст летючих домішок)	160.02	2	80.01	70.14	0.01	Значний вплив
B (Вміст волокон)	13.23	2	6.615	5.78	0.15	Має певний вплив
C (Вміст CCCW)	4.20	2	2.10	1.89	0.36	Немає впливу
	2.415	2	1.2075			

Розрахунки показали, що значення  $p$  для фактора А було менше 0,055, що означає значний вплив на міцність бетону на стиск. І навпаки, включення поліпропіленових волокон і капілярно-кристалічної гідроізоляції мало мінімальний вплив на міцність на стиск. Для оптимальної роботи було визначено комбіноване дозування, що дало середню міцність на стиск 49,85 МПа, що значно підвищило несучу здатність стандартного бетону.

Міцність на розтяг еталонного бетону була виміряна на рівні 4 МПа, що є найнижчим серед десяти зразків. На відміну від цього, зразки два та чотири продемонстрували найвищий межа міцності на розрив 6,28 МПа і 5,93 МПа відповідно, що представляє збільшення на 55% і 46% порівняно з еталонним бетоном. Загалом, додавання золи-винесення, волокон та гідроізоляційних речовин покращує стійкість бетону до розтріскування. Для подальшого дослідження впливу цих трьох факторів на міцність на розрив і оптимізації дозувань було проведено аналіз діапазону та дисперсійний аналіз.

Результати показали, що дозування поліпропіленового волокна було найвпливовішим фактором на міцність на розрив, тоді як летюча зола не показала істотного підвищення міцності на розрив. На відміну від мінеральних добавок, поліпропіленові волокна модифікують бетон переважно через фізичну взаємодію. Процес змішування розсіює пучки волокон на численні окремі волокна, утворюючи підтримуючу мережу

волокон, яка покращує рівномірність розподілу частинок. Хоча це може трохи зменшити текучість, це сприяє більш щільній структурі бетону. Крім того, поліпропіленові волокна ефективно пом'якшують мікротріщини, що виникають внаслідок пластичної усадки та термічних навантажень, зменшуючи концентрацію напруги та перешкоджаючи поширенню тріщин.

Дисперсійний аналіз продемонстрував р-значення 0,022 для фактора В, що вказує на дуже значний внесок поліпропіленових волокон у покращення міцності на розрив. Р-значення для фактора С впало між 0,15 і 0,25, що свідчить про помірний вплив проникаючих кристалічних гідроізоляційних агентів на стійкість до розтріскування. Подальші дослідження виправдані для вивчення потенційних синергічних ефектів між гідроізоляційним агентом і волокнами, зокрема щодо посилення адгезії.

**Таблиця 1.10. Аналіз діапазону межі міцності на розрив**

Номер зразка	Вміст летючої золи/%	Вміст волокон/кг-м <sup>3</sup>	Вміст CCCW/%	Межа міцності на розтяг/МПа
L1	15	1.0	1.0	4.82
L2	20	1.5	2.0	6.60
L3	25	2.0	3.0	5.24
L4	15	1.5	3.0	6.22
L5	20	2.0	1.0	4.47
L6	25	1.0	2.0	5.36
L7	15	2.0	2.0	5.09
L8	20	1.0	3.0	4.77
L9	25	1.5	1.0	6.15
K1	15.35	14.22	14.72	B > C > A
K2	15.09	18.07	16.24	
K3	15.95	14.11	15.44	
k1	5.35	4.94	5.14	
k2	5.25	6.30	5.67	
k3	5.57	4.94	5.36	
R	0.315	1.365	0.525	

Зміна вмісту золи-винесення не впливає суттєво на міцність бетону на розрив, максимальна зміна становить лише 0,31 МПа в діапазоні 10-20%. Включення поліпропіленових волокон спочатку підвищує міцність на розрив, досягаючи піку при 1,55 кг/м<sup>3</sup> з міцністю на розрив 6 МПа, а потім знижується через надмірний вміст волокна. Це зниження пояснюється зниженням текучості та утворенням агломератів, які створюють дефекти, що погіршують характеристики бетону, особливо з волокнами з більшим співвідношенням сторін.

Міцність на розрив також збільшується при додаванні проникаючих кристалічних гідроізоляційних агентів до порогу 3% цементного матеріалу; після цієї точки відбувається зниження через несприятливий вплив надлишку на гідратацію цементу, що призводить до зниження утворення гідратованого силікату кальцію та погіршення стійкості до розтріскування. Таким чином, оптимальне комбіноване дозування для підвищення міцності на розтяг, що призводить до середньої міцності на розрив 6,3 МПа, що на 55% перевищує стандартний бетон, тим самим підвищуючи стійкість до розтріскування.

Для випробування на водонепроникність зразки групували, і для кожної групи визначали середню висоту водонепроникності. Статистичний аналіз дав висоту проникності та відносні коефіцієнти проникності, демонструючи, що висота проникності звичайного бетону становила 120 мм, з відносним коефіцієнтом проникності 2,08. Додавання золи-винесення, поліпропіленових волокон і кристалічних гідроізоляційних агентів значно знизило проникність, з найбільш помітним зниженням у зразку шість, де проникність становила приблизно одну третину від порівняльного бетону, що призвело до зниження відносної проникності на 87%. Найменше зниження відбулося в третьому зразку, з відносною проникністю 42% від контрольного значення.

Загалом додавання цих матеріалів помітно підвищило гідроізоляційні властивості бетону. Подальша оптимізація співвідношення суміші та аналіз

факторів, що впливають, вимагають проведення аналізу діапазону та дисперсії, як представлено в супровідній таблиці.

**Таблиця 1.11. Аналіз діапазону та дисперсії**

Номер зразка	Вміст летючої золи, %	Вміст волокон, кг·м <sup>3</sup>	Вміст проникаючого кристалічного гідроізолятора, %	Висота проникнення, мм
L1	15	1.0	1.0	65
L2	20	1.5	2.0	48.3
L3	25	2.0	3.0	83.5
L4	15	1.5	3.0	60.9
L5	20	2.0	1.0	80.9
L6	25	1.0	2.0	44.1
L7	15	2.0	2.0	51.5
L8	20	1.0	3.0	81.9
L9	25	1.5	1.0	58.8
K1	169	182	195	C > B > A
K2	201	160	137	
K3	177	205	215	
k1	56.3	60.7	65.0	
k2	67.0	53.3	45.7	
k3	59.0	68.3	71.7	
R	10.7	15.0	26.0	

Аналіз діапазону показав, що послідовність факторів, що впливають на водонепроникність бетону, така: цементна капілярна кристалічна гідроізоляція > поліпропіленові волокна > зола-винесення. Ця ієрархія свідчить про те, що цементна капілярно-кристалічна гідроізоляція є найбільш критичним фактором, зі значними значеннями 0,025 для цементної капілярно-кристалічної гідроізоляції та 0,055 для поліпропіленових волокон, що підтверджує їх значний вплив на гідроізоляцію. Р-значення для золи-винесення становить 0,085, що вказує на менший, але помітний внесок у підвищення гідроізоляції бетону.

Хоча всі три матеріали покращують гідроізоляцію, їх механізми відрізняються. Цементна капілярно-кристалічна гідроізоляція діє в основному за допомогою механізму утворення опадів або комплексу, в якому активні хімічні речовини реагують з вільними іонами кальцію та оксидами в бетонній матриці з утворенням нерозчинних кристалів, тим самим закриваючи пори та мікротріщини. Поліпропіленові волокна допомагають пом'якшити дефекти під час затвердіння, контролюючи усадку та запобігаючи появі наскрізних тріщин, тоді як летуча зола підвищує компактність, зменшує пористість і покращує водонепроникні характеристики завдяки дрібному наповнювачу та ефекту вулканічного попелу.

Співвідношення між вмістом золи та висотою проникнення показує початкове збільшення, а потім зменшення, коли вміст підвищується з 14% до 24%. Оптимальне проникнення досягається при вмісті золи 14%, зі зменшенням висоти проникнення на 52%, 44% і 50% порівняно з еталонним бетоном. Подібним чином оптимальний вміст поліпропіленового волокна в 1,55 кілограма на кубічний метр призводить до зменшення висоти проникнення води на 52-57%, при цьому надлишок волокна негативно впливає на внутрішню компактність. Встановлено, що оптимальний вміст проникаючого кристалічного гідроізоляційного агента становить 3%, що призводить до зниження висоти проникнення на 45%, 61% і 40%.

Враховуючи те, що попередні аналізи були зосереджені на окремих індикаторах, було прийнято комплексний метод оцінки для об'єднання кількох індикаторів в єдину систему оцінки. Цей підхід призначає коефіцієнти важливості для кожного показника на основі експериментальних цілей, що дозволяє більш цілісно оцінити характеристики бетону з точки зору водостійкості та стійкості до розтріскування. Правильне визначення цих коефіцієнтів має вирішальне значення для ефективного аналізу, хоча наразі не існує універсальної формули для їх розрахунку.

Щоб оцінити, як різні фактори впливають на бетон, ми розраховуємо загальну оцінку для кожної комбінації за цією формулою:

$$\text{Загальна оцінка} = (150 - \text{висота проникнення}) \times 2,5 + \text{міцність на розтяг} \times 2,5 + \text{міцність на стиск} \times 0,5$$

$$\text{Загальна оцінка} = (150 - \text{висота проникнення}) \times 2,5 + \text{міцність на розтяг} \times 2,5 + \text{міцність на стиск} \times 0,5$$

У цій формулі 150 вказує на висоту, на якій вода не проникає в зразок. Вищий загальний бал означає кращу продуктивність бетону. Ми також проводимо аналіз діапазону та дисперсійний аналіз цих загальних балів, як показано в таблиці.

**Таблиця 1.12. Аналіз діапазону задач із кількома індикаторами**

Номер	A	B	C	Показники тесту	Комплексний бал
L1	15	1.0	1.0	42.74	4.82
L2	20	1.5	2.0	52.09	6.60
L3	25	2.0	3.0	40.32	5.24
L4	15	1.5	3.0	39.05	6.22
L5	20	2.0	1.0	48.00	4.48
L6	25	1.0	2.0	43.68	5.36
L7	15	2.0	2.0	40.12	5.08
L8	20	1.0	3.0	51.15	4.77
L9	25	1.5	1.0	40.37	6.16
K1	839.39	809.66	774.73	A: Вміст летючих золи/%; B: Вміст волокон/кг-м <sup>3</sup> ; C: Вміст проникаючого кристалічного гідроізоляційного матеріалу/%; 1 *: Значення міцності на стиснення/МПа; 2 **: Значення розтягувальної міцності/МПа; 3 **: 150 — Висота проникнення/мм;	
K2	769.36	875.06	931.19		
K3	815.78	743.84	724.16		
k1	279.88	270.88	258.88		
k2	256.31	291.67	310.45		
k3	273.09	248.14	242.01		
R	23.00	43.58	69.72		

Аналіз загальних балів за трьома тестовими показниками виявляє значні розбіжності, вказуючи на те, що основні фактори, що впливають на механічні властивості та довговічність бетону, ранжуються таким чином: проникна кристалічна гідроізоляція > композитні волокна > зола-винесення.

Дисперсійний аналіз показує, що ймовірності значущості для факторів В і С нижче 0,055, підтверджуючи їх значний вплив на механічні та водонепроникні властивості бетону.

Валідаційні тести підтверджують, що визначена оптимальна комбінація факторів дає найвищі значення для відповідних показників. Зокрема, бетон з першої комбінації демонструє збільшення міцності на стиск на 29,31%, тоді як друга комбінація призводить до підвищення міцності на розрив на 55%. Друга комбінація визначена як найефективніше рішення, що забезпечує чудову водопроникність разом із сприятливими загальними показниками продуктивності.

Подальша перевірка показала, що цей бетон отримав найвищу загальну оцінку. Ця комбінація не тільки відповідає вимогам міцності на стиск для конструкції, але й підтримує оптимальний рівень міцності на розтяг і водопроникність, значно підвищуючи стійкість матеріалу до розтріскування та покращуючи його гідроізоляційні властивості.

Мікроморфологічні властивості та склад матеріалу бетону мають вирішальне значення для визначення його макроскопічних характеристик. Попередні оцінки механічних властивостей і гідроізоляції показали, що включення трьох модифікованих матеріалів значно покращило загальні властивості бетону. Для подальшого вивчення мікромеханізмів, залучених до процесів гідратації та затвердіння золи-винесення, поліпропіленових волокон і капілярно-кристалічної гідроізоляції на цементній основі, було проведено скануючу електронну мікроскопію та рентгенівський дифракційний кількісний фазовий аналіз.

Порівняльний аналіз був використаний для з'ясування механізмів модифікації цих зовнішніх матеріалів та їх взаємодії з мікроструктурної

точки зору. Для цього дослідження було підготовлено чотири групи бетону: бетон, що містить лише поліпропіленові волокна, комбінація поліпропіленових волокон і золи-винесення, суміш поліпропіленових волокон і капілярно-кристалічної гідроізоляції та композит з поліпропіленових волокон, золи та капілярно-кристалічної гідроізоляції.

З огляду на те, що поліпропіленові волокна в основному виконують фізичну роль у бетоні, не впливаючи на продукти гідратації або кристалізацію цементу, цей експериментальний план полегшує дослідження того, як різні цементні композитні системи впливають на мікроструктурні властивості бетону. Це також дозволяє аналізувати адгезійні властивості на межі волокна та матриці. На підставі попередніх досліджень вміст поліпропіленового волокна було стандартизовано на рівні  $1,55 \text{ кг/м}^3$ , золи – 14% цементного матеріалу, а капілярно-кристалічної гідроізоляції – 2% цементного матеріалу. Пропорції суміші та кількості зразків для чотирьох груп бетону детально описані в супровідній таблиці.

**Таблиця 1.13. Групування та розподілення зразків**

Номер	Водяно-зв'язуюче співвідношення	Цемент (кг)	Щебінь (кг)	Камінь (кг)	Вода (кг)	Пластифікатор (%)	Попіл (кг)	Поліпропіленове волокно ( $\text{кг/м}^3$ )
SEM-1	0.44	420	785	1130	185	0.84	0	1.58
SEM-2	0.44	357	785	1130	185	0.84	63	1.58
SEM-3	0.44	412	785	1130	185	0.84	0	1.58
SEM-4	0.44	349	785	1130	185	0.84	63	1.58

Мікроструктурні властивості чотирьох груп зразків бетону аналізували за допомогою скануючого електронного мікроскопа зосереджуючись на бетонній матриці та характеристиках адгезії між поліпропіленовими волокнами та матрицею. Скануючі електронні мікрофотографії показують значні відмінності в мікроструктурах чотирьох груп бетону після місяцю гідратації.

Перша група містить тільки цемент як цементний матеріал. Його мікроструктура характеризується шаруватими кристалами гідроксиду

кальцію, великою кількістю гелю гідрату силікату кальцію і невеликою кількістю голчастого етрінгіту, розподіленого по порах і тріщинах. Ця структура пухка і пориста, що негативно впливає на механічні властивості та гідроізоляцію бетону.

Друга група складається з суміші цементу і золи. Його мікроструктура щільніша порівняно з першою із помітним зменшенням пор і тріщин. Додавання золи-винесення посилює реакцію гідратації цементу, забезпечуючи ефективне наповнення та ефект вулканічного попелу, який заповнює пори та сприяє більш щільній мікроструктурі, таким чином покращуючи міцність та довговічність.

У третій групі, який має цементну та капілярно-кристалічну гідроізоляцію зовнішня морфологія подібна до першої групи, але він демонструє зменшену структуру пор. Загальна цілісність і компактність покращені, вказуючи на те, що він зміцнює внутрішню структуру та покращує водонепроникність.

Четверта група включає звичайний портландцемент і золу-винесення. Після гідратації його мікроструктурні властивості показують значно зменшені дефекти кристалічної структури та повні реакції гідратації, на що вказує повністю сформований гель. Сумісність і взаємодія трьох цементних матеріалів зміцнюють мікроструктуру бетону, що призводить до поліпшення макроскопічних механічних властивостей і гідроізоляції.

У бетоні першої групи численні дефекти матриці призводять до висмикування волокон, що вказує на низьку міцність зв'язку та значні зазори на межі розділу. Бетон другої групи має більш гладку матрицю, але зберігає великі зазори, що відображає недостатню міцність зчеплення між бетоном і волокнами. Третя група демонструє зменшені зазори та покращену міцність з'єднання, завдяки волокнам, які запобігають поширенню мікротріщин, тим самим покращуючи водонепроникність. Четверта група має ще менші зазори з волокнами, покритими кристалами гідратованого силікату кальцію, що зміцнює зв'язок і забезпечує переваги проти розтріскування.

Загалом, бетон з використанням лише цементу показав численні внутрішні дефекти, тоді як додавання золи-винесення трохи покращило мікроструктуру та міцність зв'язку. Поєднання цементу та золи-винесення призвело до найбільш значних покращень, демонструючи чудову сумісність.

Для оцінки впливу золи-виносу та золи-винесення на гідратацію цементу було проведено рентгенівські дифракційні випробування на чотирьох наборах зразків: еталонний бетон, бетон із золою-винесенням, бетон та композиційний бетон. Поліпропіленові волокна були виключені, оскільки вони не впливають на гідратацію цементу. Детальна інформація щодо кількості зразків і пропорцій для дифракційних вимірювань наведена в супровідній таблиці.

**Таблиця 1.14. Номери зразків і пропорції суміші**

Номер	Водозв'язувальне Співвідношення	Цемент	Гравій	Камінь	Вода	Пластифікатор	Попіл Вугілля	Поліпропіленові Волокна
XRD-1	0.44	420	785.4	1130.8	185.8	0.84	0	0
XRD-2	0.44	357	785.4	1130.8	185.8	0.84	63	0
XRD-3	0.44	412.6	785.4	1130.8	185.8	0.84	0	8.4
XRD-4	0.44	348.6	785.4	1130.8	185.8	0.84	63	8.4

Порівняльний аналіз показує, що додавання золи-винесення та капілярної кристалічної гідроізоляції цементу, окремо чи разом, не змінює типи продуктів гідратації, але впливає на інтенсивність конкретних піків.

Основні кристали, ідентифіковані у зразках бетону, включають гідроксид кальцію, етрінгіт, карбонат кальцію та компоненти негідратованого цементу. Гідратований гель силікату кальцію, первинний продукт гідратації цементу, є аморфним і не видно на дифракційних картинах.

Порівняння перших двох спектрів показує, що додавання золи-винесення трохи збільшує інтенсивність піку гідроксиду кальцію. Це пов'язано з тим, що летюча зола посилює утворення гелеподібних продуктів гідратації та сприяє кристалізації, що збільшує пікову інтенсивність. Реакція гідратації вказує на те, що вміст гелю та гідроксиду кальцію безпосередньо

пов'язані, причому гель є важливим для міцності та довговічності бетону. Заміна золи-винесення на еквівалентну кількість цементу зменшує вміст цементу, одночасно підвищуючи гідратацію, покращуючи внутрішню структуру та щільність бетону.

Порівняння першого і третього спектрів показує значне збільшення інтенсивності піку гідроксиду кальцію з додаванням цементної капілярної кристалічної гідроізоляції. Це свідчить про те, що цей агент покращує кристалічність продуктів гідратації та посилює реакцію гідратації, потенційно збільшуючи міцність і довговічність бетону. Четвертий спектр показує, що, незважаючи на найнижчий вміст цементу, пікова інтенсивність гідроксиду кальцію вища, ніж у перших двох спектрах. Це свідчить про те, що поєднання золи-винесення та цементної капілярної кристалічної гідроізоляції підтримує процес гідратації та сприяє кристалічності продуктів гідратації.

### **Висновок**

У цьому дослідженні використовується ортогональний експериментальний план для вивчення впливу різних кількостей золи-винесення, поліпропіленового волокна та капілярно-кристалічної гідроізоляції цементу на механічні властивості та водонепроникність бетону. Цілі включають визначення оптимальних пропорцій суміші для кожного індексу ефективності та проведення скануючої електронної мікроскопії та рентгенівських дифракційних тестів конкретних зразків.

Відносний вплив на міцність на стиск класифікується як летюча зола > поліпропіленове волокно > цементна капілярна кристалічна гідроізоляція. Оптимальна комбінація цих компонентів досягла міцності на стиск 49,9 МПа, що відображає збільшення на 29% порівняно зі стандартним бетоном.

Рейтинг впливу на міцність на розрив на розрив: поліпропіленове волокно > цементна капілярно-кристалічна гідроізоляція > летюча зола. Оптимальна комбінація для стійкості до тріщин дала межу міцності на розрив 6,3 МПа, що на 55% більше порівняно з контрольним бетоном.

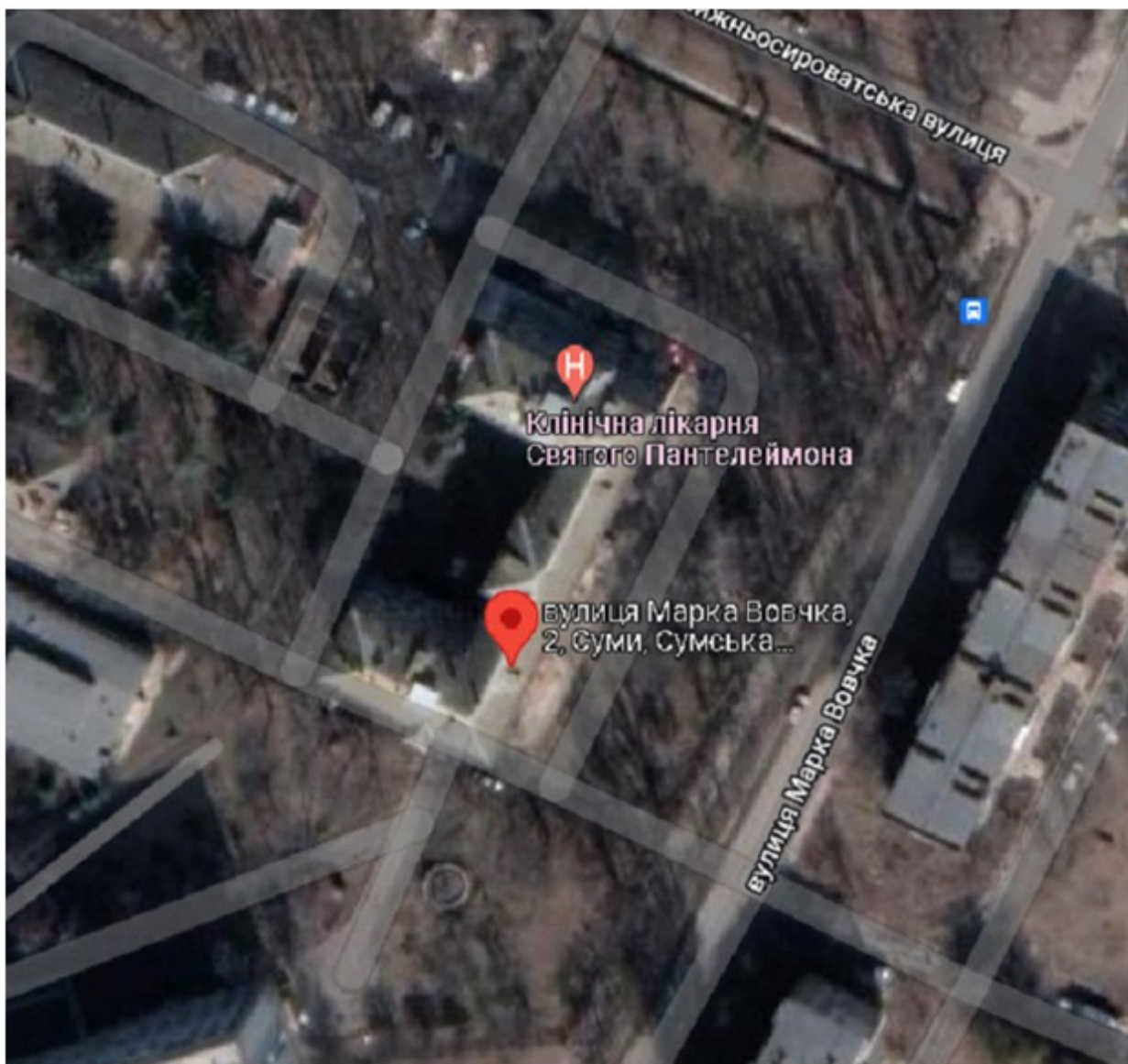
Вплив на водонепроникність наступний: цементна капілярна кристалічна гідроізоляція > поліпропіленове волокно > зола-винесення. Оптимальна комбінація знизилася проникність на 63,5% порівняно з контрольним бетоном, а також забезпечила найкращі результати багатоіндикаторного аналізу.

Контрольний бетон показав численні внутрішні порожнечі та тріщини, що вказує на низьку міцність зв'язку між поліпропіленовим волокном і бетонною матрицею. Додавання капілярно-кристалічної гідроізоляції з летючої золи або цементу значно покращує мікроструктуру, що призводить до більш щільного розподілу продуктів гідратації та покращує зв'язок між волокнами та матрицею.

Додавання золи-винесення та капілярної кристалічної гідроізоляції цементу ефективно полегшило процес гідратації цементу та підвищило кристалічність продуктів гідратації. Реакції вторинної гідратації золи-винесення та комплексні реакції осадження цементних капілярно-кристалічних гідроізоляційних матеріалів споживали частину гідроксиду кальцію, тим самим покращуючи перехідний шар між заповнювачами та зрештою підвищуючи міцність і довговічність бетону.

## РОЗДІЛ 2. ОПИС АРХІТЕКТУРНО-ПЛАНУВАЛЬНОГО РІШЕННЯ БУДІВЛІ

### 2.1. Ситуаційний план



**Рис. 2.1. Ситуаційний план**

Будівля розташована на південному сході Сум, в оточенні земельної ділянки, що належить Сумській міській раді, з розташованими поруч житловими та громадськими будівлями.

### 2.2. Об'ємно-планувальне рішення

Територія лікарні огорожена парканом, перепад висот навколо будівлі становить 240 мм. Периметр ділянки має неправильну форму, а абсолютні відмітки висоти не встановлені, оскільки будівля вже використовується.

**Таблиця 2.1. Класифікація будівлі**

Параметр	Опис
Клас капітальності будівлі	II - будівля середнього рівня капітальності, передбачає довготривале використання з необхідністю регулярного обслуговування та оновлення
Ступінь довговічності	I - найвищий ступінь довговічності, будівля розрахована на тривалу експлуатацію з мінімальною потребою в капітальному ремонті
Ступінь вогнестійкості	II - середній рівень вогнестійкості, забезпечує захист від пожежі на визначений проміжок часу
Клас наслідків (відповідальності)	СС2 - середній рівень відповідальності, передбачає, що пошкодження або аварія може мати середні наслідки для людей або майна
Категорія складності об'єкта	III - середня складність, що вимагає стандартних технічних рішень і дозволяє використання типових проектних підходів

**Таблиця 2.2. Об'ємно планувальні показники**

Параметр	Значення
Площа забудови	965,0 м <sup>2</sup>
Будівельний об'єм	16887,5 м <sup>3</sup>
Загальна площа внутрішніх приміщень	3698,8 м <sup>2</sup>
Висота будівлі	18,42 м
Висота поверху	3,9 м
Висота підвалу	2,6 м
Площа утеплення фасаду	3849,5 м <sup>2</sup>
Площа утеплення горища	820,0 м <sup>2</sup>

Медичний заклад має чотириповерхове планування з підвалом, розміром 60 м по осях 1-10 і 26,7 м по осях А-Е. Висота кожного поверху становить 3,5 м, а висота підвалу - 2,5 м, що дає загальну висоту будівлі 18,4 м від рівня землі. Відповідно до норм пожежної безпеки, проект включає головний вхід, два бічні виходи, а також сходи для аварійного доступу з підвалу.

Структура має коридорне планування з жорсткими вертикальними і горизонтальними стінами для стабільності і включає три сходові клітки, а також пасажирський і вантажний ліфти, що з'єднують всі поверхи.

Для всіх огорожувальних конструкцій та вентиляційних шахт передбачені негорючі матеріали, а дерев'яні елементи оброблені вогнезахисними засобами. Для утеплення зовнішніх стін будуть використані самозатухаючі мінеральні плити.

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

Будівля являє собою безкаркасну конструкцію, що спирається на несучі цегляні стіни з залізобетонними плитами, що утворюють рівні поверхів і сходову клітку. Фундамент - монолітна залізобетонна плита. Несучі стіни мають товщину 510 мм, а перегородки 250 мм.

Будівля має шатровий дах з дерев'яними кроквами та покриттям з металочерепиці. Залізобетонні сходи складаються з плитних маршів, розташованих по краях кожного майданчика.

Вікна виготовлені з металопластику за індивідуальними розмірами, а входні двері виготовлені з дерева та металопластику, також за індивідуальними розмірами. Підлогове покриття включає плитку, лінолеум і паркет.

В рамках реконструкції буде проведено реставрацію стін підвалу. Пошкоджені ділянки будуть виявлені та видалені, після чого буде встановлено нові монолітні залізобетонні стіни. Ці нові стіни будуть включати золу в якості додаткового цементуючого матеріалу для підвищення міцності та зменшення проникності.

Бетонна суміш матиме міцність на стиск 30 МПа з водоцементним відношенням 0,4 для забезпечення структурної цілісності. Капілярна гідроізоляція з кристалічного цементу, нанесена з розрахунку 2 кг/м<sup>2</sup>, буде інтегрована в бетонну поверхню, щоб запобігти проникненню води та підвищити стійкість до гідростатичного тиску. Будуть використані арматурні стержні з межею текучості 400 МПа і діаметром 12 мм, розташовані на відстані 200 мм для забезпечення належної структурної підтримки.

Проект передбачає термомодернізацію лікарні, зосереджуючись на утепленні фасадних стін та даху в місцях, що підлягають реставрації.

Зовнішні стіни будівлі будуть утеплені мінераловатними панелями товщиною 120 мм. Фінішний шар силікон-силікатної штукатурки Ceresit СТ 175 буде нанесений у затвердженому кольорі відповідно до проекту.

Покрівля буде повністю ізолювана мінеральною ватою товщиною 200 мм, що забезпечить безпечний доступ до пішохідних доріжок. Конструктивна основа будівлі залишиться незмінною. Сучасні енергоефективні вікна та входні двері замінять існуючі блоки для покращення теплових характеристик.

Для підвищення ефективності опалення за радіаторами буде встановлено тепловідбивний екран, що збільшить тепловіддачу на 23%. Такий підхід також зменшує капітальні та операційні витрати, скорочуючи витрати на тепломережі на 25-30%, а споживання електроенергії для циркуляції теплоносія - на 30-35%.

Автоматизоване управління опаленням дозволить заощадити до 17% теплової енергії, при цьому системи працюватимуть у заблокованому режимі, що зменшить потребу у великій кількості персоналу.

## 2.4. Інженерні розрахунки

Дані для розрахунку описані в таблиці:

**Таблиця 2.3. Розрахункові кліматичні та теплоенергетичні параметри**

Параметр	Значення
Розрахункова температура внутрішнього повітря $t_{в}$	21 °C
Розрахункова температура зовнішнього повітря $t_{з}$	-25 °C
Розрахункове значення відносної вологості приміщень	50 %
Кількість градусо-днів опалювального періоду $Dd$	3997 °C·днів
Тривалість опалювального періоду $z_{оп}$	187 днів
Середня температура зовнішнього повітря за опалювальний період $t_{опз}$	-6,6 °C
Приведений опір теплопередачі для зовнішніх стін $R_{q_{min}}$	3,3 м <sup>2</sup> ·K/Вт
Приведений опір теплопередачі для суміщеного покриття $R_{q_{min}}$	4,95 м <sup>2</sup> ·K/Вт
Приведений опір теплопередачі для дверей $R_{q_{min}}$	0,6 м <sup>2</sup> ·K/Вт
Приведений опір теплопередачі для світлопрозорих конструкцій $R_{q_{min}}$	0,75 м <sup>2</sup> ·K/Вт
Максимально допустиме значення питомих тепловитрат на опалення	48,00 кВт·год/м <sup>3</sup>

Конструкція повинна відповідати регіональним кліматичним нормам та нормам енергоефективності, щоб забезпечити належні теплотехнічні характеристики та стійкість до атмосферних впливів.

$$R_{\text{тп}} = 3.3 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}$$

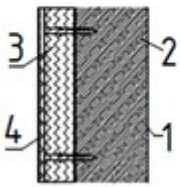
Теплопровідність матеріалів:

$-\lambda_p = 0,93 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$  - цементно-піщаний розчин;

$-\lambda_p = 0,81 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$  - цегла;

$-\lambda_p = 0,042 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$  - плити мінераловатні плити.

**Таблиця 2.4. Розріз зовнішні стіни**

Ескіз огорожувачої конструкції	Найменування елементів огорожувачої конструкції	Товщина, м
	1. Внутрішнє облицювання	0.03
	2. Цегляна стіна	0.51
	3. Теплоізоляційний шар: плити Мінераловатні	0,12
	4. Штукатурка декоративна Ceresit СТ 35	0.03
	$\Sigma$	0,69

Опір теплопередачі огорожувальної багатошарових конструкцій:

$R_{\Sigma} = R_B + \Sigma R_i + R_H$ , де

$R_B$  - опір теплопередачі внутрішньої огорожувальної конструкції:

$$(1/\alpha_B) = 1 / 8,7 = 0,115 \text{ м}^2 \cdot \text{C}/\text{К}$$

$R_H$  - опір теплопередачі зовнішньої огорожувальної конструкції:

$$(1/\alpha_s) = 1 / 23,0 = 0,043 \text{ м}^2 \cdot \text{C}/\text{К}$$

$\Sigma R_i$  - опір теплопередачі всіх окремих шарів.

$$\frac{\delta}{i}$$

$$R_i = \frac{\delta}{\lambda_i}, \text{ де}$$

$\delta_i$  - товщина  $i$ -го шару конструкції, м;

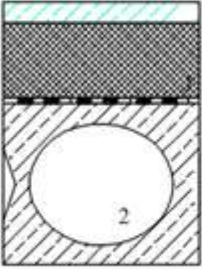
$$R_{\Sigma} = R_B + \frac{\delta}{\lambda_{1.3.5.7..9}} + \frac{\delta}{\lambda_2} + \frac{\delta}{\lambda_4} + R_H (\text{м}^2 \cdot \text{К})/\text{Вт}$$

$$R/\Sigma = 0,115 + 0,03 / 0,93 + 0,51 / 0,810 + 0,12 / 0,04 +$$

$$+ 0,03 / 0,93 + 0,043 = 3,71 (m^2 \cdot K) / B$$

$$3,3 < 3,71 \quad R_{q \min} < R_{\Sigma}$$

**Таблиця 2.5. Перекриття холодного горища**

Ескіз огорожувальної конструкції	Найменування елементів огорожувальної конструкції	
	1. Мінераловатні плити "Термолайф" питу ТЛЛАЙТ -145К1/М3	0.20
	2. Залізобетонна пустотна плита перекриття	0.22
	$\Sigma$	0,42

Опір суміщеного покриття:

$R_B$  - опір теплопередачі внутрішньої поверхні конструкції:

$$(1/\alpha_B) = 1 / 8,7 = 0,115 \text{ м}^2 \cdot \text{°C} / \text{К}$$

$R_H$  - опір теплопередачі зовнішньої поверхні конструкції:

$$(1/\alpha_3) = 1 / 12,0 = 0,083 \text{ м}^2 \cdot \text{°C} / \text{К}$$

$$R/\Sigma = 0,115 + 0,20 / 0,042 + 0,22 / 1,240 + 0,083 = 5,14 (m^2 \cdot K) / B$$

$$4,95 < 5,14 \quad R_{q \min} < R_{\Sigma}$$

Опір теплопередачі світлопрозорих конструкцій - 0,76 м<sup>2</sup>-К/Вт.

**Таблиця 2.6. Величини мінімально допустимих значень**

Вид огорожувальної конструкції	$R_{q \min}, \text{ м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт}$	$R_{\Sigma \text{пр}}, \text{ м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт}$
Зовнішні стіни	3,3	3,71
Перекриття холодного горища	4,9	5,14
Світлопрозорі огорожувальні конструкції	0,75	0,75
Зовнішні двері	0,6	0,6
Огорожувальні конструкції, що межують з ґрунтом (I зона з утепленням)	3,3	5,68
Огорожувальні конструкції, що межують з ґрунтом I зона)	2,1	2,10
Огорожувальні конструкції, що межують з ґрунтом II зона)	4,3	4,30
Огорожувальні конструкції, що межують з ґрунтом III зона)	8,6	8,6
Огорожувальні конструкції, що межують з ґрунтом IV зона)	14,2	14,2

**Таблиця 2.7. Значення питомих тепловитрат на опалення**

Параметр	Значення
Площа стін (непрозорих конструкцій) $F_{cT}$	3849,5 м <sup>2</sup>
Площа перекриттів холодних горищ $F_{дГ}$	820,0 м <sup>2</sup>
Площа світлопрозорих конструкцій (вікон) $F_{cK}$	750,0 м <sup>2</sup>
Площа зовнішніх дверей $F_{д}$	17,6 м <sup>2</sup>
Огороджуючі конструкції підвала (I зона) $F_{Iз}$	420,0 м <sup>2</sup>
Огороджуючі конструкції підвала (II зона) $F_{IIз}$	416,6 м <sup>2</sup>
Огороджуючі конструкції підвалу (III зона) $F_{IIIз}$	365,0 м <sup>2</sup>
Огороджуючі конструкції підвалу (IV зона) $F_{IVз}$	215,0 м <sup>2</sup>

Коефіцієнт теплопередачі конструкцій:

$$k_{\Sigma пр} = \xi \frac{\left( \frac{F_{nc}}{R_{\Sigma пр,nc}} + \frac{F_{nr}}{R_{\Sigma пр,nr}} + \frac{F_{ck}}{R_{\Sigma пр,ck}} + \frac{F_{dk}}{R_{\Sigma пр,d}} + \frac{F_{Iз}}{R_{\Sigma пр,d}} + \frac{F_{IIз}}{R_{\Sigma пр,d}} + \frac{F_{IIIз}}{R_{\Sigma пр,d}} + \frac{F_{IVз}}{R_{\Sigma пр,d}} \right)}{F_{\Sigma}}$$

$\xi=1,1$  - коефіцієнт, що враховує додаткові тепловитрати;

$R_{\Sigma пр,nc}$ ,  $R_{\Sigma пр,nr}$ ,  $R_{\Sigma пр,ck}$ ,  $R_{\Sigma пр,d}$

$F_{\Sigma}$  - площа внутрішньої поверхні зовнішніх конструкцій;

$$k_{\Sigma пр} = 1,1 * (3849,5/3,7 + 820/5,1 + 750/0,75 + 17,6/0,6 + 420/5,7 + 416,6/4,3 + 365/8,6 + 215/14,2) / 5714,2 = 0,47 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

Коефіцієнт теплопередачі будівлі:

$$k_i = \frac{X_2 \cdot c \cdot n_{об} \cdot U_v \cdot V_h \cdot \gamma_3 \cdot \eta}{F_{\Sigma}}; \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

$c = 1 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К});$

$V_v = 0,85;$

$X_2 = 0,278$  - розмірний коефіцієнт;

Середню густину повітря:

$$\gamma_3 = \frac{353}{373 + 0,5 \times (t_{в} - t_{оп з})}$$

$$\gamma_3 = 353 / (373 + 0,5 * (20 - (-6,6))) = 1,29 \text{ кг}/\text{м}^3$$

Повітрообмін за рахунок вентиляції і інфільтрації:

$$n_{0\delta} = \frac{\left[ \left( \frac{L_v \cdot n_v}{168} \right) + \left( \frac{P_{\text{инф}} \cdot \eta \cdot n_{\text{инф}}}{168 \cdot \gamma_3} \right) \right]}{U_v \cdot V_n}$$

$L_v$  -  $5F_{\text{тр}}$ ;

$n_v$ -168 - кількість годин у тижні;

$\eta$ - за формулою;

$P_{\text{инф}} = 0,5 \cdot U_v \cdot V_h$ ;

$$n_{0\delta} = \frac{(5 * 3631 * 48 / 168) + (0,5 * 0,85 * 1 * 168 / (168 * 1,29))}{0,85 * 12708,5} = 0,48$$

Коефіцієнт теплопередачі:

$$k_i = \frac{0,28 * 1 * 0,48 * 0,85 * 12708,5 * 1,29 * 1}{5714,20} = 0,33 \text{ Вт/(м}^2\text{/К)}$$

Загальне значення для всієї будівлі:

$$k_{\text{буд}} = k_{\Sigma \text{тр}} + k_i, \text{Вт/(м}^2\text{*К)}$$

$$k_{\text{буд}} = 0,4 + 0,33 = 0,7 \text{ Вт/(м}^2\text{*К)}$$

Визначаємо кількість скління в будівлі:

$$m_{\text{ск}} = F_{\text{ск}} / (F_{\text{шт}} + F_{\text{д}} + F_{\text{ск}})$$

$$m_{\text{ск}} = 750,0 / (3530 + 17,6 + 750,0) = 0,17$$

Значення компактності споруди:

$$L_{\text{К.буд}} = \frac{F_{\Sigma}}{V_h}$$

$$L_{\text{К.буд}} = 750,0 / 12708,5 = 0,06$$

Визначення вологостійкості будівлі:

$$\tau_E = t_{\Sigma} - \frac{t_E - t_{\Sigma}}{R_o} \cdot R_{\Sigma} = 20 - \frac{20 - (-25)}{3,75} \cdot 0,133 = 14,4^{\circ}\text{C}$$

Для розрахунку температури внутрішньої поверхні стіни використовуємо максимальну пружність водяної пари 17,55 мм рт. ст. при 21°C, а при вологості 51% фактична пружність становить 8,76 мм рт. ст. Відповідна точка роси становить 10.1°C, що запобігає утворенню конденсату в конструкції стіни.

Параметри включають мінімальну швидкість вітру 3,14 м/с у серпні, максимальну загальну радіацію 654 МДж/м<sup>2</sup> та середню сонячну радіацію 191 Вт/м<sup>2</sup>. Максимальне добове коливання температури становить 18.3°C, що використовується для оцінки коливань температури на внутрішній поверхні непрозорої конструкції будівлі влітку.

Коефіцієнт пульсації температури повітря:

$$A_{tз\text{ поз}} = 0,5 A_{tз} + \frac{\chi(I_{\text{max}} - I_{\text{сер}})}{\alpha_{зл}}$$

$$A_{tз\text{ поз}} = 0,5 * 18,2 + 0,6 * (655 - 192) / 17,4 = 25,1 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

$$v = 0,9 e^{\frac{D}{\sqrt{2}} \frac{(s_1 + \alpha_n)(s_2 + Y_1) \dots (s_n + Y_{n-1})(\alpha_{зл} + Y_n)}{(s_1 + Y_1)(s_2 + Y_2) \dots (s_n + Y_n) \alpha_{зл}}}, \text{ де}$$

$A_B$  - амплітуда добових коливань температури;

$\chi$  - коефіцієнт поглинання сонячної радіації;

$I_{\text{max}}, I_{\text{сер}}$  - максимальне і середнє значення сумарної сонячної радіації;

$\alpha_{зл}$  - коефіцієнт тепловіддачі конструкції за літніми умовами;

$D$  - теплова інерція огорожувальної конструкції;

$s_1, s_2, \dots, s_n$  -  $n$  коефіцієнти теплозасвоєння матеріалу;

$Y_1, Y_2, \dots, Y_{n-1}, Y_n$  - коефіцієнти теплозасвоєння;

$$\alpha_{зл} = 1,16 (5 + 10 \sqrt{v}) = 1,16 * (5 + 10 * \sqrt{1}) = 17,4 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

Коефіцієнт теплозасвоєння для першого шару:

$$Y_1 = \frac{R_1 s_1^2 + \alpha_B}{1 + R_1 \alpha_B}$$

$$Y_1 = \frac{(0,03 / 0,93) * 123,0 + 8,7}{1 + (0,03 / 0,93) * 8,7} = 9,9 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К});$$

Для  $n$ -го шару:

$$Y_i = \frac{R_i s_i^2 + Y_{i-1}}{1 + R_i Y_{i-1}}$$

$$Y_2 = \frac{(0,51 / 0,81) * 102,4 + 9,9}{1 + (0,51 / 0,81) * 9,9} = 10,3 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К});$$

$$Y_3 = \frac{(0,12 / 0,04) * 0,1 + 10,3}{1 + (0,12 / 0,04) * 10,3} = 0,4 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)};$$

$$Y_4 = \frac{(0,03 / 0,93) * 123,0 + 0,35}{1 + (0,03 / 0,93) * 0,35} = 4,3 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)};$$

де  $R_i, R_i$  - термічні опори.

$$\nu = \frac{((0,9 * 8,77^{(1,46/1,3)}) * ((11,1 + 8,7) * (10,1 + 9,9) * (0,4 + 1 * (11,1 + 0,4) * (17,4 + 4,3))) / ((11,1 + 9,9) * (10,1 + 10,3) * (0,4 + 0,4) * (11,1 + 4,3) * 17,4))}{134,44}$$

$$A_{\text{тв}} = 25,1 / 134,44 = 0,19 \text{ }^\circ\text{C}$$

Коливання температури в приміщенні:

$$A_{t\epsilon} = \frac{0,7q_{\text{буд}} m}{\sum_j B_j F_j}$$

$$A_{t\epsilon} = 0,7 * 271520 * 0,17 / ((4,63 + 4,71 + 0,34 + 2,86) * 3530) = 0,75 \text{ }^\circ\text{C}$$

де  $q_{\text{буд}}$  - тепловтрати приміщення, Вт.

$\tau$  - коефіцієнт нерівномірності тепловіддачі системи опалення;

$F_j$  - площа внутрішньої поверхні огороджувальної конструкції;

$K$  - кількість зовнішніх огороджувальних конструкцій у приміщенні;

$B_j$  - коефіцієнт теплопоглинання.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. 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).
2. Благоустрій територій (зі Змінами): ДБН Б.2.2-5:2011 [Чинний від 2012-09-01]. -К: Мінрегіонбуд України, 2019. – 44 с. (Національні стандарти України).
3. Природне і штучне освітлення: ДБН В.2.5-28:2018 [Чинний від 2019-02-28]. -К: Мінрегіонбуд України, 2018. – 7 с. (Національні стандарти України).
4. 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).
5. Теплова ізоляція будівель: ДБН В.2.6-31:2016 [Чинний від 2016-10-01]. -К: Мінрегіонбуд України, 2017. – 15 с. (Національні стандарти України).
6. 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).
7. Основи і фундаменти будівель та споруд. Основні положення: ДБН В.2.1-10:2018.
8. Конструкції зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією: ДБН В.2.6-33:2018.
9. Кам'яні та армокам'яні конструкції: ДБН В.2.6-162:2010.
10. Покриття будівель і споруд: ДБН В.2.6-220:2017
11. Кошторисні норми України. Ресурсні елементні кошторисні норми на будівельні роботи. Підлоги.
12. Вікна та двері: ДСТУ EN 14351-1:2020.
13. Кошторисні норми України. Ресурсні елементні кошторисні норми на будівельні роботи. Оздоблювальні роботи

14. Каналізація. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування: ДБН В.2.5-75:2013.

15. 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).

16. Організація будівельного виробництва: ДБН А.3.1-5:2016 [Чинний від 2016-01-01]. -К: Мінрегіонбуд України, 2016. – 44-46 с. (Національні стандарти України).

17. Кошторисні норми України «Настанова з визначення вартості будівництва»: [Чинний від 2021-11-09]. -К: Мінрегіонбуд України, 2021. – 44-46 с. (Національні стандарти України).

18. 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).