

**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.

«___»_____2026р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

за другим рівнем вищої освіти

На тему: «Покращення характеристик бетону за рахунок додавання добавок на прикладі сільськогосподарського підприємства»

Виконав (ла)

В. О. Співак

(підпис)

(Прізвище, ініціали)

Група

ЗПЦБ 2401м

(Науковий)
керівник

В. П. Сопов

(підпис)

(Прізвище, ініціали)

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

Співак Віталій Олександрович

Тема роботи: Покращення характеристик бетону за рахунок додавання добавок на прикладі сільськогосподарського підприємства

Затверджено наказом по університету № _____ від "___" ___ 2025р.
Строк здачі студентом закінченої роботи: "___" _____ 2026 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, Розділ 2. Бібліографічний огляд досліджень, 2.1 Базовий опис бетону та його класифікація, 2.2 Фізико-хімічні властивості бетону, Розділ 3. Покращення характеристик бетону за рахунок додавання добавок, 3.1 Дослідження дії мікроорганізмів на процеси корозії в залізобетоні, 3.2 Дослідження бетону з мікродобавками, Розділ 4. Опис архітектурно-планувального рішення будівлі, 4.1. Об'ємно-планувальне рішення, 4.2. Архітектурно-конструктивне рішення, Список використаних джерел

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

15 слайдів мультимедійного матеріалу

Керівник :

(підпис)

В. П. Сопов

(Прізвище, ініціали)

Консультант

(підпис)

В. П. Сопов

(Прізвище, ініціали)

Завдання прийняв до виконання:

Здобувач

(підпис)

В. О. Співак

(Прізвище, ініціали)

Анотація

Співак Віталій Олександрович «Покращення характеристик бетону за рахунок додавання добавок на прикладі сільськогосподарського підприємства» – Кваліфікаційна робота магістра на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота магістра за спеціальністю 192 «Будівництво та цивільна інженерія». – Сумський національний аграрний університет, Суми, 2026.

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.

Дослідження зосереджується на розробці та вдосконаленні складів бетону шляхом впровадження комплексних систем добавок, призначених для підвищення міцності, корозійної стійкості та біологічної стабільності в агресивних середовищах, типових для тваринницьких господарств. Дослідження підкреслює актуальність модифікації традиційних бетонних матеріалів для вирішення проблем мікробного забруднення, росту грибків та корозії поверхні, які значно скорочують термін експлуатації конструктивних елементів сільськогосподарських будівель. Забезпечення гігієнічної безпеки таких середовищ вимагає будівельних матеріалів, здатних протистояти як хімічному, так і біологічному руйнуванню, що робить створення біоцидних бетонних сумішей важливим науковим і практичним завданням.

Метою дослідження є вивчення впливу інноваційних добавок на фізичні, механічні та біологічні властивості бетону. Основні завдання включають визначення рівня антимікробної ефективності, оцінку змін структурної щільності та міцності, а також виявлення механізмів, відповідальних за підвищення стійкості до екологічних та мікробних факторів. Дослідження має на меті встановити стабільний склад модифікованого бетону з довготривалим

бактерицидним та протигрибковим ефектом при збереженні високої міцності та термічної стабільності.

Експериментальні методи передбачали комплексний підхід, що поєднував лабораторні випробування, термічний аналіз та мікробіологічні дослідження. Оцінка включала вимірювання міцності на стиск, оцінку термічної стабільності за допомогою програмованої мас-спектрометрії та визначення стійкості до росту мікроорганізмів у типових умовах утримання худоби. Довговічність та проникність бетону досліджували за допомогою випробувань на вплив сольового розчину та спостережень за структурою поверхні після тривалого впливу навколишнього середовища.

Ключові слова: бетон, біоцидні добавки, ферма.

Список публікацій та/або виступів на конференціях студента:

1. Співак В.О. Удосконалення архітектурно-конструктивних рішень на прикладі ресторанного комплексу в м. Харків // Матеріали 87-ї Міжнародної наукової конференції студентів університету, 7–11 квіт. 2025 р. Харків, 2025.

В додатках наведено тези конференції, альбом слайдів мультимедійної презентації.

Структура роботи.

Робота складається з основного тексту на 44 сторінках, у тому числі 5 таблиць, 8 рисунків. Текст роботи містить загальну характеристику роботи, 4 розділи, висновки і рекомендації за результатами роботи, список з 17 використаних джерел. Графічна частина складається з 15 слайдів мультимедійної презентації.

Abstracts

Vitaliy Spivak “Improvement of concrete characteristics by adding additives on the example of an agricultural enterprise” - Master's thesis as a manuscript.

Master's thesis in the specialty 192 “Construction and Civil Engineering.” – Sumy National Agrarian University, Sumy, 2026.

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

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

The research focuses on the development and improvement of concrete compositions through the introduction of complex additive systems designed to increase strength, corrosion resistance, and biological stability in aggressive environments typical of livestock farms. The study emphasizes the relevance of modifying traditional concrete materials to solve problems of microbial contamination, fungal growth, and surface corrosion, which significantly reduce the service life of structural elements of agricultural buildings. Ensuring the hygienic safety of such environments requires building materials capable of withstanding both chemical and biological degradation, making the creation of biocidal concrete mixtures an important scientific and practical task.

The aim of the study is to investigate the effect of innovative additives on the physical, mechanical, and biological properties of concrete. The main tasks include determining the level of antimicrobial efficacy, assessing changes in structural density and strength, and identifying the mechanisms responsible for increasing resistance to environmental and microbial factors. The study aims to establish a stable composition of modified concrete with a long-lasting bactericidal and antifungal effect while maintaining high strength and thermal stability.

The experimental methods involved a comprehensive approach combining laboratory tests, thermal analysis, and microbiological studies. The evaluation

included compressive strength measurements, thermal stability assessment using programmed mass spectrometry, and determination of resistance to microbial growth under typical livestock housing conditions. The durability and permeability of concrete were studied using tests for the effect of salt solution and observations of the surface structure after prolonged exposure to the environment.

Keywords: concrete, biocidal additives, farm.

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

1. V. Spivak Improvement of architectural and structural solutions using the example of a restaurant complex in Kharkiv // Materials of the 87th International Scientific Conference of University Students, April 7–11, 2025. Kharkiv, 2025.

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

Structure of the work.

The work consists of the main text on 44 pages, including 5 tables and 8 figures. The text of the work contains a general description of the work, 4 sections, conclusions and recommendations based on the results of the work, and a list of 17 sources used. The graphic part consists of 15 slides of a multimedia presentation.

ЗМІСТ

Розділ 1. Загальна характеристика роботи.....	9
Розділ 2. Бібліографічний огляд досліджень.....	12
2.1 Базовий опис бетону та його класифікація.....	12
2.2 Фізико-хімічні властивості бетону.....	17
Розділ 3. Покращення характеристик бетону за рахунок додавання добавок.....	21
3.1 Дослідження дії мікроорганізмів на процеси корозії в залізобетоні.....	21
3.2 Дослідження бетону з мікродобавками.....	24
Розділ 4. Опис архітектурно-планувального рішення будівлі.....	34
4.1 Об'ємно-планувальне рішення.....	34
4.2 Архітектурно-конструктивне рішення.....	35
Список використаних джерел.....	43

РОЗДІЛ 1

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми: Бетонні підлоги в сільськогосподарських приміщеннях піддаються хімічному та біологічному впливу, що призводить до корозії, колонізації мікроорганізмів та зниження механічної міцності. Забезпечення довготривалої експлуатаційної стійкості та антимікробних властивостей бетону має вирішальне значення для збереження здоров'я тварин та продовження терміну служби конструктивних елементів. Наявність агресивних середовищ, включаючи амоніфікуючі та нітрифікуючі бактерії, а також мікроскопічні грибки, прискорює руйнування бетону та сприяє корозії, що підкреслює необхідність використання ефективних захисних добавок.

Мета і завдання дослідження: Метою дослідження було розроблення та оцінка біоцидної добавки для бетону, яка підвищує його механічну міцність, корозійну стійкість та антимікробні властивості. Завдання включали розробку добавки, що містить пігмент жовтого оксиду заліза, рідке скло, оцтову кислоту та сульфат міді; дослідження її впливу на міцність бетону на стиск, проникність та стійкість до впливу мікроорганізмів і грибків; а також оцінку її впливу на термохімічну стабільність та проникнення хлоридів в агресивних умовах навколишнього середовища.

Об'єкт дослідження: Сільськогосподарське підприємство для утримання худоби.

Предмет дослідження: Покращення характеристик бетону за рахунок додавання добавок.

Методи дослідження: Були підготовлені зразки бетону з концентрацією добавки від 0 до 2 % від маси цементу, які піддавалися впливу середовищ, засіяних амоніфікуючими, нітрифікуючими та нітратифікуючими бактеріями, а також колонізації мікроскопічними грибами протягом шести місяців. Після впливу мікроорганізмів були проведені випробування на міцність на стиск, а проникнення хлоридів оцінювалося за допомогою занурення в 5 % розчин NaCl.

Термохімічна поведінка та виділення газу з фаз карбонату кальцію аналізували за допомогою температурно-програмованої десорбційної мас-спектрометрії. Мікробіологічні аналізи визначили ріст бактерій та грибків і підтвердили біоцидний ефект добавок.

Наукова та технічна новизна одержаних результатів: Розроблена добавка, що містить 1,5–2 % пігменту жовтого оксиду заліза, 2–3 % рідкого скла, 0,2–0,3 % оцтової кислоти та 0,5–1 % сульфату міді, продемонструвала значне поліпшення властивостей бетону. Міцність на стиск збільшилася на 2–15 % залежно від концентрації добавки та умов навколишнього середовища. Глибина проникнення хлоридів зменшилася з 19,5 мм у контрольних зразках до 3,2 мм у зразках з 2 % добавки. Добавка підвищила термохімічну стабільність, зменшила поглинання води та хімічних речовин і забезпечила виражену біоцидну дію проти бактерій і грибків, зберігаючи екологічну безпеку. Ці результати підтверджують, що добавка є ефективним засобом для поліпшення міцності, корозійної стійкості та антимікробних властивостей бетону для сільськогосподарських споруд.

Практичне значення одержаних результатів: Практичне значення отриманих результатів полягає в можливості використання розробленої добавки для виробництва будівельних матеріалів з підвищеною міцністю, корозійною стійкістю та біологічною стабільністю для застосування в фермерських приміщеннях. Модифікований бетон демонструє підвищену стійкість до агресивних хімічних і мікробних середовищ, знижену проникність і поліпшені механічні характеристики, що безпосередньо сприяє продовженню терміну експлуатації підлог і конструктивних елементів. Використання таких добавок дозволяє знизити витрати на технічне обслуговування і ремонт, поліпшити санітарні умови в сільськогосподарських будівлях і зменшити ризик вторинного зараження тварин, при цьому залишаючись сумісним зі стандартними технологіями виробництва бетону і екологічно безпечним для практичного застосування.

Апробація та публікація результатів роботи: 1. Співак В.О.
Удосконалення архітектурно-конструктивних рішень на прикладі ресторанного комплексу в м. Харків // Матеріали 87-ї Міжнародної наукової конференції студентів університету, 7–11 квіт. 2025 р. Харків, 2025.

РОЗДІЛ 2

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ ОГЛЯД ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Базовий опис бетону та його класифікація

Бетон, як композитний матеріал, що базується на контрольованій взаємодії мінеральних і хімічних компонентів, еволюціонував у високотехнологічну систему, розроблену для задоволення конкретних експлуатаційних і екологічних вимог. Сучасний бетон, що використовується в будівництві сільськогосподарських і промислових об'єктів, вже не є простою сумішшю цементу, піску і заповнювача, а складним композитом, в якому кожен компонент відіграє певну роль у досягненні продуктивності, міцності конструкції та стійкості до агресивних зовнішніх впливів.

Включення мікродобавок — дрібнодисперсних мінеральних або хімічних модифікаторів, що вводяться в невеликих дозах від 0,5% до 5% від маси цементу — стало невід'ємною частиною сучасних стандартів виробництва. Ці добавки впливають як на мікроструктуру, так і на фізико-хімічні властивості бетону, забезпечуючи помітне поліпшення міцності, непроникності та довговічності.

До найбільш широко використовуваних мікродомішок належать мікрокремнезем (кремнеземний дим), зола, метакаолін, дрібно подрібнений вапняк та оксиди, такі як TiO_2 або Al_2O_3 . Мікрокремнезем із середнім розміром частинок 0,1 мкм і питомою поверхнею до 20 000 м²/кг діє як високореактивний пуццолан, який заповнює капілярні пори, утворюючи вторинні гідрати силікату кальцію (C-S-H). Цей процес зменшує проникність на 30–50 % і збільшує міцність на стиск до 25 % порівняно зі звичайним бетоном[1].



Рис. 2.1 Мікрокремнезем

Попіл підвищує стійкість до сульфатів і зменшує теплоутворення під час гідратації, що є надзвичайно важливим при будівництві фундаментів, де температурні градієнти можуть спричинити утворення тріщин. Метакаолін, отриманий шляхом прожарювання каолінових глин при температурі 650–800 °С, є особливо ефективним для підвищення міцності на ранній стадії та стійкості до хімічного впливу силосних кислот, відходів тваринництва та добрив.

У контексті сільськогосподарського будівництва, де бетонні підлоги, підпирні стіни та ями для зберігання кормів піддаються постійному впливу вологи та атмосфери, багаті аміаком, використання інгібіторів корозії та гідрофобних мікродобавок є обов'язковим. Інгібітори на основі нітриту кальцію, що вводяться в концентраціях 2–4 % від маси цементу, значно уповільнюють корозію арматури, утворюючи пасивні оксидні шари на поверхні сталі, а гідрофобні агенти на основі силану та силоксану зменшують водопоглинання до менше ніж 2 % за вагою. Для залізобетонних елементів, що піддаються циклічному заморожуванню та відтаванню, повітрявтягуючі агенти створюють контрольовану мікроповітряну систему з діаметром пор 50–300 мкм, підвищуючи морозостійкість до 300 циклів заморожування-відтавання.

Технологічне впровадження мікродомішок вимагає точності дозування та гомогенізації. Виробничі потужності оснащені автоматизованими системами

дозування, здатними вимірювати домішки з точністю $\pm 0,1$ %. Планетарні або двовальні змішувачі з високим зсувом забезпечують рівномірне диспергування дрібних частинок, а датчики температури та вологості в змішувальному барабані забезпечують моніторинг умов гідратації в режимі реального часу.

У розвинених країнах, таких як Німеччина, Нідерланди та Данія, систематичне використання високоякісних бетонів з мікродобавками в сільськогосподарському будівництві стало стандартною практикою. Ці бетони досягають міцності на стиск 60–80 МПа, водопоглинання нижче 3% і проникності хлорид-іонів нижче 1000 С. Термін служби таких конструкцій часто перевищує 70 років при мінімальному технічному обслуговуванні, що значно знижує витрати протягом життєвого циклу. Для контролю якості затверділого матеріалу регулярно застосовуються сучасні лабораторні та польові випробування, такі як скануюча електронна мікроскопія для аналізу структури пор.

Бетон класифікується за типом в'язучого, структурою заповнювача, армуванням, консистенцією та функціональними характеристиками, кожна з яких безпосередньо визначає сферу його застосування та фізико-механічні властивості. Основною групою є цементний бетон, який становить основу більшості конструкційних систем у цивільному, промисловому та сільськогосподарському будівництві. Він використовує портландцемент або сумішеві цементи та забезпечує високу міцність на стиск, хімічну стійкість та стабільність розмірів. Асфальтобетони, що складаються з бітуму та мінеральних наповнювачів, використовуються в основному для тротуарів та дорожніх покриттів завдяки своїй еластичності та стійкості до деформації. Вапняні, гіпсові та глиняні бетони, які тверднуть шляхом карбонізації або висихання на повітрі, застосовуються в несучих перегородках та штукатурних системах[1].

За щільністю та складом заповнювачів бетони поділяються на важкі, надважкі, легкі та пористі. Важкий бетон, щільність якого перевищує 1800 кг/м³, використовує подрібнений граніт або базальт фракцією від 5 до 70 мм і досягає

міцності на стиск 30–80 МПа, водопоглинання менше 5% і використовується для несучих та армованих конструкцій. Надважкий бетон, щільність якого перевищує 2700 кг/м³, виготовляється з використанням баритових, магнетитових або гематитових заповнювачів і служить екрануючим матеріалом в ядерних або радіологічних спорудах, де забезпечує коефіцієнт ослаблення гамма-випромінювання до 0,15 см⁻¹.

Легкі бетони, щільністю нижче 1800 кг/м³, виготовляються з використанням агломерованої глини, пемзи або доменного шлаку, характеризуються низькою теплопровідністю (0,3–0,5 Вт/м·К) і використовуються для виготовлення стінових панелей та теплоізоляційних шарів. Пористі бетони, такі як газобетон і пінобетон, з щільністю від 400 до 800 кг/м³, мають однорідну структуру із закритими порами, що забезпечує теплопровідність на рівні 0,12 Вт/м·К, завдяки чому вони підходять для огорожувальних елементів сільськогосподарських будівель, що вимагають енергоефективності.

Класифікація арматури розрізняє залізобетон, армовані волокном композити та неметалеві арматурні системи. У звичайному залізобетоні використовуються ненапружені або попередньо напружені сталеві стрижні, що забезпечують міцність на стиск і розтяг для сильно навантажених плит, колон і фундаментів. Армвання волокном — з використанням базальтового, скляного, поліпропіленового або вуглецевого волокна в дозах 1–2 % за об'ємом — підвищує стійкість до тріщин, ударну міцність і довговічність поверхні. Полімерні та синтетичні волокнисті бетони зменшують деформацію від усадки на 40 %, що є надзвичайно важливим для сільськогосподарських підлог і резервуарів, які піддаються впливу вологи та коливань температури.

За консистенцією жорсткі бетони з низькими значеннями осідання (0–30 мм) застосовуються в масивних монолітних фундаментах, тоді як пластичні бетони з вищим осіданням (100–180 мм) використовуються для тонкостінних або щільних зон армування, що вимагають хорошої оброблюваності. Функціональна

класифікація визначає водонепроникні бетони, призначені для протистояння гідравлічному тиску понад 0,2 МПа з класом водонепроникності до W12, що досягається за рахунок низького водоцементного відношення (0,35–0,45) та гідрофобних добавок.

Морозостійкі бетони досягають рівня стійкості до F300 для повторюваних циклів заморожування-розморожування, що є важливим для відкритих сільськогосподарських елементів. Вогнетривкі бетони, що містять шамотні або корундові заповнювачі, витримують температури понад 1000 °С і застосовуються в сушарках і конструкціях печей. Торкрет-бетон, або торкрет, утворюється шляхом пневматичного нанесення сухої або вологої суміші за допомогою цементного пістолета під тиском до 0,6 МПа, що забезпечує щільне покриття з високою адгезією, яке часто використовується для стін силосів і облицювання резервуарів для зберігання кормів.

Заповнювачі складають близько 80–85 % об'єму бетону і визначають його щільність та міцність. Дрібні заповнювачі, такі як природний або подрібнений пісок (0,08–5 мм), і грубі заповнювачі, такі як гравій або щебінь (5–70 мм, до 120 мм для масивних елементів), підбираються на основі необхідних механічних і теплових характеристик. Легкі заповнювачі, такі як керамзит або перліт, використовуються, коли теплоізоляція має вирішальне значення. В'язуча система складається з цементу і води; оптимальні суміші підтримують водоцементне співвідношення в межах 0,40–0,55 для досягнення необхідної міцності та оброблюваності. Суперпластифікатори на основі полікарбоксилатних ефірів часто використовуються для підвищення текучості без збільшення вмісту води[4].

Склад бетону розраховується за ваговим співвідношенням цементу, піску та заповнювача, яке найчастіше становить 1:2:4 для конструкційних застосувань. Всі компоненти дозуються за допомогою автоматизованих систем зважування для забезпечення однорідності. Для поліпшення водонепроникності затверділі

поверхні іноді обробляють розчинами цинку або силікофториду кальцію ($Zn[SiF_6]$, $Ca[SiF_6]$), продукти гідролізу які ущільнюють капілярні пори.

2.2 Фізико-хімічні властивості бетону

Існуюча система неруйнівного контролю бетонних конструкцій базується переважно на використанні поздовжніх акустичних хвиль, оскільки цей метод дозволяє відносно просто виміряти швидкість та час проходження ультразвукового імпульсу через бетонну масу. Однак такий підхід надає лише обмежену інформацію, оскільки значна частина сигналу, пов'язана з внутрішньою структурою матеріалу, залишається невикористаною. В результаті ультразвуковий метод обмежується оцінкою міцності на стиск. Використання комбінованого або багатохвильового ультразвукового контролю значно підвищує точність вимірювань і дозволяє більш комплексно оцінювати фізичні та механічні властивості бетону як в лабораторних, так і в польових умовах.

Цементний камінь, що утворює затверділу матрицю бетону, складається з твердої фази та системи пор, заповнених рідиною та газом. Механічна поведінка бетону залежить від структурної цілісності цього твердого скелета та фізико-хімічних характеристик пористого простору, включаючи вміст вологи, рівень рН та температурну стабільність. Взаємодія між цими факторами визначає параметри міцності, деформації та довговічності композиту[1].

На початковому етапі експлуатації бетонні поверхні як у житлових, так і в тваринницьких будівлях виявляють бактерицидні властивості завдяки лужному середовищу, що створюється гідроксидом кальцію, який утворюється під час гідратації цементу. Однак з часом цей захисний ефект зникає, оскільки атмосферний вуглекислий газ нейтралізує лужність шляхом карбонізації за реакцією $Ca(OH)_2 + CO_2 \rightarrow CaCO_3 + H_2O$. В результаті зниження рН створюються сприятливі умови для росту мікроорганізмів і хімічної корозії, особливо в агресивних середовищах тваринницьких господарств.

Екскременти тварин містять аміак (NH_3) і сірководень (H_2S), які мають корозійний вплив на бетон і вбудовану сталеву арматуру. Сірководень сприяє

утворенню сульфідів заліза (FeS), особливо там, де захисне бетонне покриття є недостатнім. Постійний вплив дезінфікуючих засобів, висока вологість (часто перевищує 85%) і органічні кислоти з силосу та гною ще більше прискорюють руйнування. Під час ферментації кормів виділяються молочна, масляна та оцтова кислоти в концентраціях до 1,0%, а температура в анаеробних умовах може підніматися до 30–50 °С. Молочна кислота з рН нижче 5 має виражену корозійну дію на бетон, поступово знижуючи його структурну цілісність.

Крім того, конденсація водяної пари в пористих капілярах з часом призводить до дегідратації, мікротріщин та втрати міцності. Взаємодія між аміаком і водою утворює гідроксид амонію (NH₄OH), створюючи лужне середовище, яке змінює хімічний склад поверхні бетону. Ці поєднані фізичні та хімічні впливи визначають основні механізми корозії в сільськогосподарських бетонних конструкціях, де карбонізація, кислотна корозія та сульфатна корозія діють одночасно і визначають довгострокову міцність будівельних огорожень, підлог та опорних елементів.

Корозія в бетоні найчастіше розвивається в сумішах зі зниженим вмістом цементу або низьким сортом цементу, що часто спостерігається в сільськогосподарському будівництві, де зниження витрат часто призводить до погіршення якості матеріалів. У таких бетонах хлоридні сполуки прискорюють деградацію, сприяючи вимиванню іонів кальцію. Хлориди магнію та алюмінію (MgCl₂ та AlCl₃) реагують з гідроксидом кальцію, посилюючи ризик хімічної корозії, тоді як погано ущільнений хлорид кальцію серйозно порушує внутрішню структуру бетону через кристалізаційний тиск та вторинні реакції з продуктами гідратації.

Експериментальні дослідження показали, що мікробне середовище, типове для тваринницьких господарств, спричиняє ерозію поверхні та значну втрату міцності через активність бактерій і грибків. Щоб протидіяти цим ефектам і подовжити бактерицидну фазу бетону, до суміші необхідно додавати біоцидні добавки. Незважаючи на триваючі дослідження, жодна добавка ще не

забезпечила довгострокового антимікробного захисту, зберігаючи при цьому стійкість до лугів і кислот в умовах, характерних для тваринницьких господарств, де постійно присутні агресивні миючі засоби та органічні залишки. Крім того, екологічна безпека залишається важливим параметром: всі добавки повинні бути нетоксичними для тварин і людей і не повинні виділяти шкідливі летючі сполуки в навколишнє середовище.



Рис. 2.2 Руйнування бетону

Ефективне рішення полягає у введенні захисних добавок у суміші для бетонних підлог, призначених як для підвищення стійкості матеріалу до біологічного руйнування, так і для зменшення мікробного забруднення. Коли глибина карбонізації дорівнює товщині захисного шару, вбудована сталеві арматура піддається корозії. Утворення продуктів корозії, об'єм яких перевищує об'єм основного металу, спричиняє внутрішнє напруження, що призводить до утворення тріщин уздовж ліній арматури та сприяє проникненню газів та вологи. Таким чином, прогресуюче погіршення стану є результатом комбінованого руйнування сталеві та цементної матриць, що знижує несучу здатність та загальний термін експлуатації[11].

Серед внутрішніх факторів, що визначають стабільність бетону, вирішальну роль відіграють склад та якість цементної фази. Процеси гідратації та твердіння цементу утворюють тверду фазу, морфологія якої — розмір зерен, пористість та енергія зв'язування води — безпосередньо визначає механічні та хімічні властивості матеріалу. Сучасні уявлення підкреслюють, що походження та структура цементного каменю визначають довгострокову стійкість бетону до змін фізичного та хімічного середовища.

Для боротьби з цими механізмами руйнування було розроблено композитний біоцидний додаток для використання в бетонних підлогах тваринницьких будівель. До її основного складу входять жовтий пігмент оксиду заліза (Fe_2O_3), рідкий силікат натрію, сульфат міді та перекисна кислота. Ці компоненти були обрані за їх взаємодоповнюючими фізико-хімічними властивостями: оксиди заліза діють як мікронаповнювачі, що підвищують міцність на стиск і щільність поверхні, а також покращують стійкість до стирання; рідкий силікат натрію підвищує непроникність, адгезію та хімічну стійкість, утворюючи тонкий силікатний шар у капілярній структурі.

Перекисна кислота (CH_3COOH) виявляє сильний окислювальний ефект на мікробні клітини, руйнуючи як мембрану, так і ферментативні системи. Її біоцидна ефективність охоплює широкий діапазон концентрацій, причому розчини 0,005–0,2% забезпечують повне знищення грибків і спор від 30 секунд до 30 хвилин. Через свою корозійну дію кислота використовується в низьких концентраціях, доповнених сульфатом міді, який одночасно посилює антимікробну активність і зменшує кислотне пошкодження цементної матриці. Доведено, що побічні продукти міді, включаючи мідні відходи, дещо змінюють технологічність, але покращують міцність на стиск, зносостійкість і непроникність для хлоридів, причому оптимальна ефективність досягається при вмісті близько 5 %.

РОЗДІЛ 3

ПОКРАЩЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК БЕТОНУ ЗА РАХУНОК ДОДАВАННЯ ДОБАВОК

3.1 Дослідження дії мікроорганізмів на процеси корозії в залізобетоні

Поліпшення експлуатаційних властивостей бетонних підлог та їх захист від біологічної корозії та агресивних середовищ було досягнуто завдяки введенню композитної біоцидної добавки на основі пігменту жовтого оксиду заліза (Fe_2O_3), рідкого силікату натрію, сульфату міді та перекису оцтової кислоти. Кожен з цих компонентів відіграє певну роль у підвищенні міцності матеріалу: оксид заліза збільшує щільність і механічну міцність цементної матриці, рідке скло утворює силікатну плівку, що зменшує пористість і хімічну проникність, сульфат міді діє як довгостроковий біоцид, а перекисна кислота забезпечує швидку та ефективну дезінфекцію на початковій стадії затвердіння.

Оптимальний склад добавки такий (у відсотках за масою): пігмент оксиду заліза – 1,5–2,0%; рідкий силікат натрію – 2–3%; сульфат міді – 0,5–1,0%; перекисна кислота – 0,2–0,3%; вода – до 100%. Цей склад забезпечує рівномірне розподілення активних речовин у цементній суспензії та стабільні фізико-хімічні реакції під час гідратації, зберігаючи при цьому необхідну консистенцію для укладання та ущільнення бетону.

Для оцінки корозійної стійкості модифікованого бетону в органічних середовищах, що містять мікроорганізми, було підготовлено кілька середовищ для імітації типових біохімічних умов. Зразки піддавали впливу бактеріальних середовищ, що представляють різні метаболічні групи, залучені в азотний цикл, такі як амоніфікуючі, нітрофікуючі та нітрифікуючі бактерії. Ці мікроорганізми утворюють побічні продукти, включаючи вуглекислий газ, аміак, нітрити та нітрати, які, як відомо, ініціюють або прискорюють корозію в пористих цементних матеріалах. Для контрольного порівняння еталонні зразки зберігали в стерильній дистильованій воді з нейтральним рН[1].

Фізичні та механічні властивості бетону визначалися за допомогою стандартних процедур випробування на міцність на стиск, щільність та водопоглинання. Для оцінки стійкості до проникнення хлоридів кубічні зразки занурювали у 3% розчин хлориду натрію (NaCl) на 28 днів. Після впливу зразки розрізали та обприскували 0,1% розчином нітрату срібла (AgNO₃). Ділянки, що містили хлоридні іони в кількості понад 0,15% від маси цементу, вступали в реакцію з нітратом срібла, утворюючи білий осад хлориду срібла (AgCl), тоді як ділянки, вільні від хлоридів, утворювали коричневу плівку оксиду срібла (Ag₂O). Глибина білої зони вказувала на ступінь проникнення хлоридів.

Термічний аналіз внутрішньої структури бетону проводився за допомогою термопрограмованої мас-спектрометрії, що складалася з високотемпературної печі, підключеної до газового мас-спектрометра. Цей метод дозволив ідентифікувати леткі продукти, що утворилися під час контрольованого нагрівання, надавши детальну інформацію про дегідратацію, розкладання та фазові переходи сполук гідратації цементу. Аналіз допоміг визначити ступінь стабільності цементної матриці після впливу мікробного середовища.

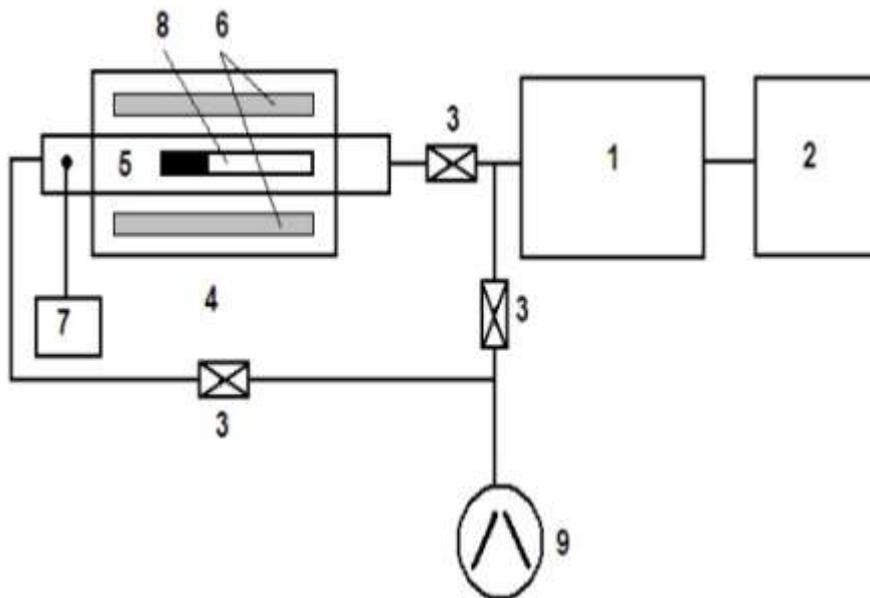


Рис. 3.1 Обладнання для дослідження: 1 – мас-спектрометр; 2 – персональний комп'ютер; 3 – вакуумний кран; 4 – піч; 5 – вакуумна трубка; 6 – нагрівачі; 7 – термометр; 8 – зразок дослідження; 9 – насос

Крім того, під час випробувань зразки з біоцидною добавкою показали зменшене проникнення хлоридів — на 30 % менше порівняно з контрольними зразками — та продемонстрували покращене збереження міцності на стиск після тривалого впливу агресивних умов. Результати підтвердили, що запропонований склад добавки забезпечує не тільки хімічну та біологічну стійкість, але й підвищує довгострокову міцність та непроникність бетонних підлог у вологих та мікробіологічно активних середовищах, таких як будівлі для утримання худоби.

Для експерименту з термопрограмованою мас-спектрометрією з підготовлених зразків бетону були взяті невеликі проби вагою 2–3 мг кожна. Під час випробувань проби поступово нагрівали в контрольованих умовах, щоб зареєструвати вивільнення летких компонентів, що утворилися під час термічного розкладу цементної матриці. Отримані мас-спектри були проаналізовані для ідентифікації характерних іонних піків, що відповідають конкретним молекулярним масам. Піки 2 відповідають молекулярному водню (H_2), 16 вказує на кисень (O_2), 18 представляє водяну пару (H_2O), 28 відповідає оксиду вуглецю (CO), а 44 ідентифікує вуглекислий газ (CO_2).

Ці сигнали відображають первинні продукти газової фази, що утворюються під час нагрівання гідратованих фаз цементу та органічних залишків у матеріалі. Відносна інтенсивність та температурне положення цих піків надають інформацію про ступінь гідратації, карбонізації та можливого термічного розкладу компонентів в'язучого. Наприклад, помітне збільшення піку CO_2 при температурі близько 600–700 °C вказує на розпад карбонату кальцію, що утворився під час карбонізації, тоді як викид води при температурі нижче 200 °C відображає десорбцію фізично зв'язаної вологи з капілярів.

Після 28 днів затвердіння зразки бетону були перевірені на біологічну стійкість за допомогою стандартизованої процедури мікробіологічного впливу. Кожен зразок був поміщений у стерильну чашку Петрі, що містила 20 мл розплавленого та охолодженого м'ясо-пептонового агару, який слугував живильним середовищем для росту бактерій. Суспензія активно зростаючої

бактеріальної культури — *Escherichia coli* або *Staphylococcus aureus* — з концентрацією клітин 2×10^9 КУО/мл була рівномірно розподілена по поверхні агару. Після 40–60 хвилин для прилипання бактерій надлишок рідини був обережно видалений, а зразки бетону були розміщені безпосередньо на інокульованому середовищі[16].

Підготовлені чашки Петрі потім інкубували в термостаті при стабільній температурі $+37,6$ °С протягом 18–24 годин, щоб імітувати умови, сприятливі для росту мікроорганізмів, і оцінити біоцидні властивості модифікованого матеріалу. Після інкубації зони контакту між зразками та бактеріальними колоніями візуально оцінювали на предмет інгібуючого ефекту — ділянки пригнічення росту вказували на антибактеріальну активність поверхні бетону. Штами бактерій, використані в експерименті, включали еталонні музейні культури *Escherichia coli* та *Pseudomonas aeruginosa*, які є стандартними тестовими мікроорганізмами для оцінки стійкості матеріалів до мікробіологічного забруднення в будівельних середовищах.

3.2 Дослідження бетону з мікродобавками

Для випробувань на корозійну стійкість були підготовлені зразки бетону з різним вмістом біоцидної добавки: 0, 0,5, 1 і 2 % від маси цементу. Після 28 днів стандартного затвердіння зразки були поміщені в герметичні колби, що містили живильне середовище, яке було стерилізовано в автоклаві при 121 °С і $0,1$ МПа. Половина середовищ була засіяна бактеріальними культурами, а решта була збережена як контрольна. Рівень рН вимірювався щомісяця, починаючи з початкових значень $4,5$ – $5,0$, що дозволило оцінити біологічний вплив на бетон та захисну ефективність добавки.

Таблиця 3.1 Результати досліджень на ріст мікроорганізмів

№	Кількість добавок	Імітація середовища тваринницьких приміщень		Середовище для амоніфікуючих бактерій (білок)		Середовище для нітрифікуючих бактерій (нітрифікація 1-ї фази)		Середовище для нітратних бактерій (нітрифікація 2-ї фази)		Середовище для амоніфікуючих бактерій (сечовина)	
		З мікроорганізмів	Контроль	З мікроорганізмів	Контроль	З мікроорганізмів	Контроль	З мікроорганізмів	Контроль	З мікроорганізмів	Контроль
1	0	2,5	5,0	2,0	5,0	3,0	5,0	2,8	4,5	2,5	4,5
2	0,5	2,0	5,0	1,5	5,0	1,8	5,0	1,8	4,5	1,5	4,5
3	1	4,0	5,0	3,2	4,5	3,5	5,0	4,0	5,0	3,8	4,5
4	2	4,2	5,5	4,5	5,0	4,0	4,5	4,5	5,0	4,5	5,0

У середовищах, що містять нітратні бактерії (друга фаза нітрифікації) та амоніфікуючі бактерії (амоніфікатори сечовини) з контрольними зразками, рН знизився на 10–15 % порівняно з початковим значенням. У присутності мікроорганізмів рН знизився на 50–60 % від початкового значення 4,5–5,0. Ця зміна рН є результатом бактеріальної активності, яка створює кисле середовище, що сприяє корозії бетону.

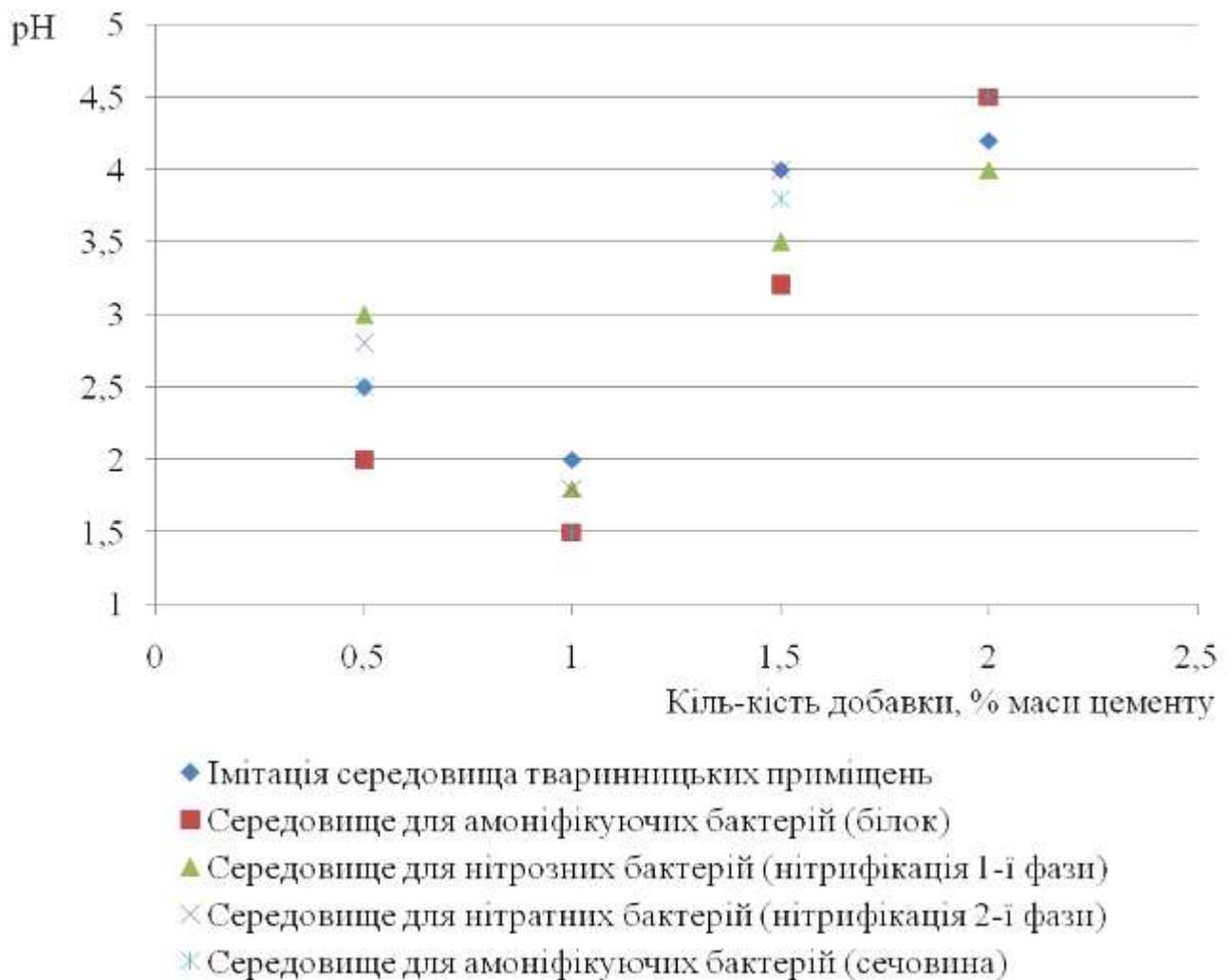


Рис. 3.2 Графік росту бактерій

Таким чином, можна зробити висновок, що додавання 1-2 % біоцидної добавки до бетону не змінює рН в агресивних середовищах, багатих на бактерії. На наступному етапі було досліджено міцність зразків бетону після шестимісячного впливу як в середовищах з мікроорганізмами, так і в стерильних умовах.

Таблиця 3.2 Показники міцності зразків

Зміна міцності зразків розміщених у різні середовища, (кг/см ₂)						
Кількість добавки	Середовище, яке імітує середовище тваринницьких приміщень		Середовище для амоніфікуючих бактерій (білок)		Середовище для нітрозних бактерій (нітрифікація 1-ї фазн)	
	З мікроо рганізм ами	Без мікроорга нізмів	З мікроорг анізмами	Без мікроорг анізмів	З мікроорга анізмами	Без мікроорг анізмів
Контроль	367	370	360	375	367	370
0,5	375	380	375	382	375	380
1	390	395	389	390	397	400
2	400	410	395	405	400	420

У контрольних зразках без добавок міцність на стиск після шести місяців впливу була стабільно нижчою в усіх випробуваних середовищах, включаючи нейтральні, амоніфікуючі та нітрифікуючі середовища, порівняно із зразками з біоцидною добавкою. В експериментальних зразках збільшення концентрації добавки відносно маси цементу призводило до пропорційного збільшення міцності на стиск, незалежно від впливу хімічно або біологічно агресивних середовищ. Цей ефект був особливо вираженим у середовищах з білковими амоніфікуючими бактеріями, де мікробна активність виробляє аміак та органічні кислоти, які прискорюють корозію бетону. Навпаки, середовища, що містять нітрифікуючі та сечовиноамоніфікуючі бактерії, показали мінімальний вплив на міцність, що узгоджується з вимірюваннями рН, які залишалися відносно стабільними через обмежене утворення кислоти[1].

Підвищення міцності пояснюється реакціями поверхневої адсорбції. Частинки оксиду заліза в матриці бетону взаємодіють з іонами OH⁻, утворюючи поверхневі функціональні групи, які адсорбують різні аніони та зменшують

електростатичне відштовхування, сприяючи міцнішому мікроструктурному зв'язку. Наявність заліза в різних станах окислення та утворення змішаних фаз додатково сприяють міцності на стиск, покращуючи упаковку частинок та міжфазну адгезію.

Додавання 0,5 % і 1 % біоцидної добавки до маси цементу збільшило міцність на стиск на 8–12 % порівняно з контролем, особливо в середовищах, що імітують умови тваринницьких будівель, та тих, що містять нітрофікуючі бактерії. Дозування добавки в 2 % дало найзначніше поліпшення, при цьому міцність на стиск перевищила контрольний зразок на 18–22 %, а також забезпечила найвищу бактерицидну ефективність. Мікробіологічні випробування підтвердили, що 2 % добавка повністю пригнічувала ріст *E. coli*, *S. aureus* і *P. aeruginosa* протягом 24 годин впливу.



Рис. 3.3 Структура бетону з додаванням добавок

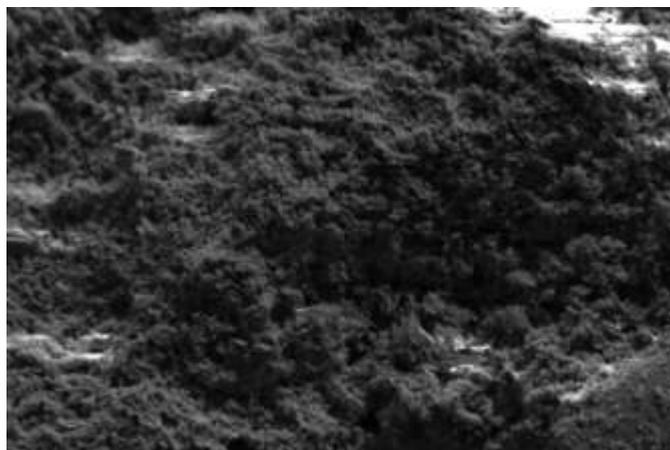


Рис. 3.4 Структура контрольного зразка

З додаванням 0,5 % біоцидної добавки міцність на стиск у бактеріальному середовищі знизилася лише на 4–5 % порівняно з контрольними зразками. При концентрації добавки 1–2 % бетонні зразки зберегли 98–99 % своєї початкової міцності навіть в агресивних мікробних умовах.

Розрахована глибина проникнення хлоридів у зразках бетону після 28 днів занурення в 5% розчин NaCl показала, що контрольні зразки зазнали значно більшого проникнення хлоридів порівняно з обробленими зразками. Для сумішей без добавок (0%) глибина проникнення досягла 19,5 мм. З додаванням 0,5–2 % біоцидної добавки проникнення поступово зменшувалося з 8,9 мм до 3,2 мм.

Зменшення проникнення хлоридів обумовлено зниженням водопоглинання, спричиненим введенням оксиду заліза, сульфату міді, перекису оцтової кислоти та силікату натрію, які ущільнюють мікроструктуру та зменшують об'єм пор. В результаті модифікований бетон утворює несуцільні пори, що істотно обмежують проникнення хлоридів.

Термопрограмована мас-спектрометрія підтвердила, що добавка не тільки покращує структурну щільність, але й позитивно впливає на фізико-хімічні властивості бетону, підтверджуючи її ефективність як захисного біоцидного та корозійно-стійкого компонента.



Рис. 3.5 Глибина проникнення хлоридів в бетон

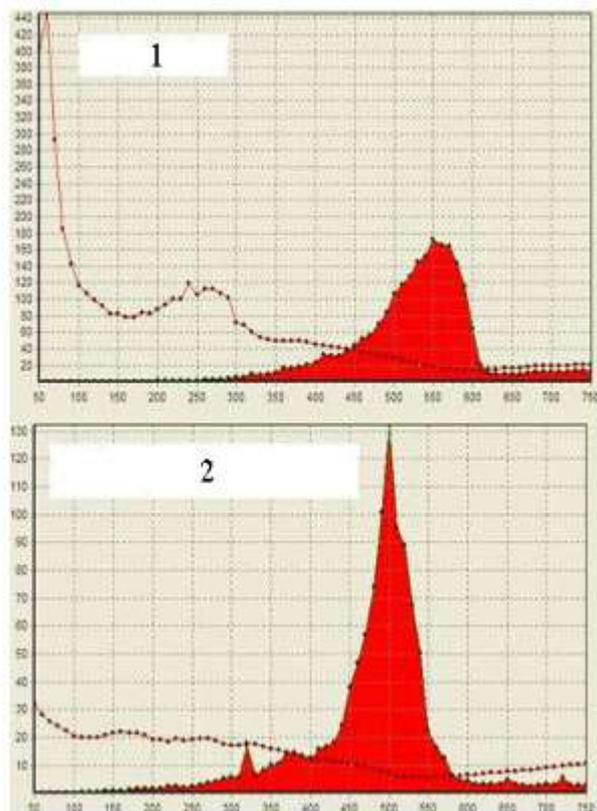


Рис. 3.6 Термограми іонів CO_2

На рисунку представлено залежність вивільнення оксиду вуглецю (CO) та двоокису вуглецю (CO_2) від температури у зразках бетону, що містять карбонати. Аналіз кривих показує чітке зміщення піку вивільнення газу в бік більш високих температур під впливом присутності добавок. Бетон збагачений оксидом заліза демонструє пік між $500\text{--}650\text{ }^\circ\text{C}$, тоді як контрольний бетон починає виділяти CO_2 при температурі близько $400\text{ }^\circ\text{C}$ через свою більш пористу структуру.

На основі експериментів було визначено, що ефективний діапазон температур для повного вивільнення карбонату кальцію з усіх протестованих зразків бетону становить $400\text{--}500\text{ }^\circ\text{C}$. Криві термограм варіюються за інтенсивністю та шириною піку залежно від складу зразка, що відображає вплив хімічних добавок на термічну поведінку.

Аналіз продемонстрував, що додавання пігменту жовтого оксиду заліза підвищує термічну стійкість бетону. Це поліпшення термічної стабільності є корисним для будівельних матеріалів, що піддаються впливу підвищених

температур, таких як ті, що використовуються в будівлях для утримання худоби[1].

Результати досліджень показують, що додавання добавки значно підвищує міцність бетону, його біоцидну активність та міцність на стиск. Добавка застосовується у вигляді водного розчину, що містить 1,5–2,0 % за масою пігменту жовтого оксиду заліза, 2–3 % за масою рідкого скла, 0,2–0,3 % за масою оцтової кислоти та 0,5–1,0 % за масою сульфату міді.

Таблиця 3.3 Антибактеріальна ефективність добавки

Кількість добавки	Експозиція			
	через 2 години	через 3 доби	через 30 діб	через 60 діб
Без добавок	+	+	+	+
0,5	–	–	–	+
1	–	–	–	–
2	–	–	–	–

Під час дослідження було виявлено, що мікроскопічні грибки легко ростуть на бетонних поверхнях. Для оцінки фунгіцидних властивостей бетону з біоцидною добавкою експериментальні та контрольні зразки протягом шести місяців витримували в умовах утримання тварин.

Таблиця 3.4 Властивості добавки зменшувати активність грибків

№	Добавка до бетону	Кількість колоній грибів				
		Penicillium	Aspergillus	Cladosporium	Fusarium	Всього колоній
1	Контроль (без добавок)	65±0,12	29±0,5 3	150±0, 42	44±0,28	288±0,1 2
2	Жовтий залізоокисний пігмент – 2 г; рідке скло – 3 мл; наоцтова кислота – 0,3 мл; сульфат міді – 0,2 г; водопровідна вода до 100 мл.	8±0,22**	–	–	–	8±0,22**

Експеримент підтвердив ефективність добавки, оскільки кількість грибкових колоній зменшилася на 98% порівняно з контрольними зразками без добавки. Виявлені грибки здатні рости в порах бетону, що створює значний ризик деградації матеріалу. Крім того, їх спори токсичні як для тварин, так і для людей.

Висновок

Дослідження показали, що бетон на фермах піддається деградації та корозії внаслідок мікробіологічної активності та агресивного впливу навколишнього середовища. Найефективнішим підходом до підвищення міцності бетону є додавання біоцидних добавок, які нейтралізують поверхневий шар і забезпечують тривалу антимікробну активність. Ці добавки одночасно покращують міцність на стиск, корозійну стійкість і зменшують проникність.

Експериментально підтверджено, що жовтий пігмент оксиду заліза покращує механічні властивості, термічну стабільність та зменшує проникність. Його біоцидний ефект базується на процесах прогресивного окислення, де перекис водню (H_2O_2) реагує з іонами $Fe(II)/Fe(III)$ з утворенням високореактивних радикалів, здатних окислювати та знищувати мікроорганізми.

Додавання оксиду заліза також індукує поверхневу адсорбцію, обмежуючи електростатичні взаємодії між іонами і утворюючи кілька фаз з різними станами окислення, що підвищує міцність на стиск. Термопрограмована десорбційна мас-спектрометрія підтвердила, що залізовмісна добавка підвищує термостійкість бетону.

Випробування на проникність з використанням 5 % розчину $NaCl$ показали, що глибина проникнення хлориду зменшилася з 19,5 мм у контрольних зразках до 3,2 мм при використанні 2 % добавки, що містила жовтий пігмент оксиду заліза, оцтову кислоту, рідке скло та сульфат міді. Цей ефект є результатом заповнення пор дрібним кристалічним пігментом та рідким склом, що зменшує водопоглинання та проникнення агресивних речовин. Деградація бетону все ще може відбуватися при контакті з негашеним вапном або гідроксидом натрію.

Мікроскопічний аналіз виявив активне зростання грибків (*Penicillium*, *Fusarium*, *Cladosporium*, *Aspergillus*) і бактерій (*Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*) в порах бетону. Біоцидна добавка продемонструвала значну антимікробну активність, зменшуючи колонізацію мікроорганізмів та обмежуючи біологічну корозію.

Обмежена тривалість антимікробної дії вказує на необхідність подальших досліджень для оптимізації складу добавки та оцінки її довгострокової ефективності. Застосування цих заходів покращує фізико-механічні та антимікробні властивості бетону, роблячи його придатним для використання в будівництві нових тваринницьких споруд.

РОЗДІЛ 4

ОПИС АРХІТЕКТУРНО-ПЛАНУВАЛЬНОГО РІШЕННЯ БУДІВЛІ

4.1 Об'ємно-планувальне рішення

Об'єктом будівництва є одноповерхова сільськогосподарська споруда, побудована за прямолінійним планом та двома додатковими сегментами. Загальні розміри плану між осями 1–11 становлять 60 000 мм у поздовжньому напрямку, а між осями А-Г – 42 500 мм у поперечному напрямку, утворюючи основну секцію розміром 60,0 м на 35,5 м і два додаткові сегменти розміром 12,25 м на 12,0 м кожен. Конструкційна сітка каркаса складається з поздовжніх прольотів по 6 000 мм кожен і поперечних прольотів по 9 000 мм і 12 250 мм. Доступ до будівлі забезпечується п'ятьма входами і трьома воротами для транспортних засобів[2].

Конструктивно будівля виконана у вигляді сталевих каркаса, що складається з вертикальних колон, балок і кроквяних ферм. Колони виготовлені з гарячекатаних профілів, виготовлених зі сталі марки S355JR, що забезпечує достатню несучу здатність і жорсткість. Поздовжні балки, що з'єднують колони, — це прокатні профілі з тієї ж марки сталі, призначені для протистояння згинанню та горизонтальним навантаженням. Кроквяні ферми виготовлені з прямокутних порожнистих сталевих профілів розміром 120×60×5 мм для хорд і 80×40×4 мм для розпірних елементів, утворюючи жорстку просторову систему. Загальна висота будівлі становить 6,0 м, а робоча зона в головному залі має висоту 4,5 м. Всі сталеві елементи захищені цинковим покриттям, нанесеним методом гарячого цинкування, для запобігання корозії та продовження терміну служби каркаса конструкції.

Таблиця 4.1 Експлікація приміщень

Номер приміщення	Найменування	Площа , м	Кат. приміщення
1	Тамбур	5.5	
2	Коридор	8.5	
3	Роздягальня	7.1	
4	Роздягальня	12.4	
5	Санвузол	1.2	
6	Кабінет ветеринара	4.4	
7	Кабінет завідувача	4.3	
8	Тамбур	1.1	
9	Кабінет завідувача	2.6	
10	Душова	1.4	
11	Кладова	1.3	
12	Ветеринарна	92.3	
13	Кладова	3.2	
14	Електрощитова	6.5	
15	Кабінет	11.6	
16	Коровник	85.1	
17	Коровник	1890.6	
18	Склад	48.7	
19	Склад кормів	49.4	
20	Мийка	6.3	
21	Їдальня	9.4	
22	Актовий зал	9.4	

4.2 Архітектурно-конструктивне рішення

Фундамент

Фундамент будівлі спроектований як суцільний стрічковий фундамент з монолітного залізобетону, що забезпечує рівномірний розподіл навантаження по периметру та під внутрішніми несучими лініями сталевого каркаса. Фундамент має загальну ширину 1,4 м і глибину 1,2 м, що відповідає місцевій глибині

промерзання ґрунту. Армування виконано за допомогою ребристих сталевих стрижнів класу А500С, розташованих у два поздовжні шари з поперечними хомутами, що утворюють жорстку просторову арматурну клітку, призначену для протистояння як вертикальним, так і горизонтальним навантаженням[10].

У фундаменті встановлені вбудовані анкерні плити з попередньо встановленими болтами для кріплення основ сталевих колон. Ці вбудовані деталі виготовлені з конструкційної сталі марки S355JR із привареними анкерними болтами М24, що забезпечують надійне кріплення і точне вирівнювання надбудови під час монтажу. Бетон, що використовується для фундаменту, відповідає класу С25/30 з водоцементним співвідношенням 0,45, що забезпечує як достатню міцність на стиск, так і морозостійкість в умовах сільськогосподарської експлуатації.

Через високу біологічну активність, характерну для тваринницьких споруд, до бетонної суміші додається спеціальна добавка для підвищення довговічності матеріалу та його стійкості до мікробного та хімічного руйнування. Ця добавка складається з водного розчину, що містить 1,5–2,0% за масою пігменту жовтого оксиду заліза, 2–3% за масою рідкого скла, 0,2–0,3% за масою оцтової кислоти та 0,5–1,0% за масою сульфату міді. Сукупна хімічна дія цих компонентів підвищує біостабільність бетону, надаючи йому антисептичні властивості, зменшуючи ризик появи цвілі або грибків та обмежуючи руйнування поверхні, спричинене органічними речовинами[1].

Зовнішні вертикальні поверхні фундаменту покриті двошаровою бітумною гідроізоляційною мембраною, нанесеною на заґрунтовану бетонну поверхню для запобігання капілярному проникненню води та пошкодженню від заморожування-розморозування. Над гідроізоляційним шаром нанесено 50-міліметровий шар ізоляції з екструдованого пінополістиролу, що захищає фундамент від теплових втрат і підтримує стабільність температури ґрунту навколо нього.

Каркас будівлі

Конструкція каркаса будівлі виконана у вигляді просторової сталеві системи, що складається з вертикальних колон, поздовжніх і поперечних балок, а також кроквяних ферм.

Колони будівлі виготовлені з гарячекатаних сталевих профілів марки S355JR. Кожна колона має висоту 4.5 м, висоту профілю 300 мм, ширину фланця 300 мм, товщину стінки 11 мм і товщину фланця 19 мм. Колони кріпляться до залізобетонного фундаменту за допомогою опорних плит товщиною 20 мм з анкерними болтами M24, що забезпечує надійну передачу навантаження і стабільність каркаса[8].

Поздовжні балки виготовлені з тієї ж сталі S355JR, мають висоту 400 мм, ширину фланця 180 мм і товщину стінки 8,6 мм. Ці балки виконують функцію основних горизонтальних зв'язок, протистоячи згинанню та крученню, що створюються кроквяними фермами даху та бічними навантаженнями. Вони з'єднані з колонами за допомогою болтових фланцевих з'єднань з болтами класу 8.8 та жорсткими косинками для запобігання локальному вигину в місцях з'єднань.

Кроквяні ферми спроектовані як плоскі зварні конструкції з паралельними хордами, що утворюють прямі схили даху. Верхні та нижні хорди ферм виготовлені з прямокутних порожнистих профілів 160×80×6 мм, а діагональні та вертикальні елементи стінки сформовані з профілів 100×60×5 мм. З'єднання ферм зварені за допомогою швів з повним проплавленням, а всі перетини хорд посилені кутовими пластинами товщиною 8 мм для забезпечення високої жорсткості з'єднання. Ферми розташовані з інтервалом 6,0 м, що відповідає сітці колон, і спираються безпосередньо на верхні кінці поперечних балок.

Для забезпечення поперечної стійкості в площині даху встановлено горизонтальні розпірки з круглих порожнистих профілів 60×4 мм, а вертикальні розпірки встановлено між вибраними колонами вздовж поздовжніх фасадів.

Загальна вага сталевих каркаса становить 42 кг/м^2 площі даху, що відповідає легкій, але жорсткій конструктивній системі[9].

Всі сталеві елементи піддані дробеструйній обробці до Sa 2½ і захищені гарячим цинкуванням з мінімальною товщиною цинкового покриття 80 мкм. Ця захисна обробка забезпечує стійкість до вологи, парів аміаку та агресивних біологічних середовищ, типових для сільськогосподарських об'єктів.

Стіни та перегородки

Зовнішні стіни будівлі побудовані з сендвіч-панелей, що складаються з пінополістирольного сердечника і двох зовнішніх сталевих листів. Панелі мають загальну товщину 150 мм, а ізоляційний сердечник виготовлений з пінополістиролу щільністю $16\text{-}18 \text{ кг/м}^3$, що забезпечує ефективну теплоізоляцію і стабільність розмірів[7]. Зовнішнє та внутрішнє облицювання виконано з профільованих оцинкованих сталевих листів товщиною 0,6 мм, покритих корозієстійким поліестеровим шаром товщиною 25 мкм. Панелі монтуються вертикально на сталевий каркас і кріпляться до конструктивних елементів саморізними оцинкованими гвинтами, оснащеними неопреновими ущільнювальними шайбами, що забезпечує герметичність і водонепроникність стиків. Вертикальні і горизонтальні стики панелей закриваються сталевими ковпаками і заповнюються поліуретановим герметиком для запобігання теплових мостів і проникнення вологи[12].

Внутрішні перегородки збираються з аналогічних сендвіч-панелей загальною товщиною 100 мм, що складаються з того ж типу сталевих облицювань і полістирольної серцевини меншої товщини. Ці перегородки забезпечують достатнє тепло- і звукоізоляцію між функціональними зонами будівлі, зберігаючи при цьому низьку вагу конструкції і високу ефективність монтажу. Гладкі внутрішні поверхні панелей дозволяють легко проводити чистку і дезінфекцію, що є необхідним для підтримки гігієнічних умов в сільськогосподарських приміщеннях.

Покрівля ферми

Дах будівлі над основною частиною та двома додатковими сегментами спроектований як двосхила конструкція. Найвища точка даху знаходиться на висоті 6,0 м, а карниз – на висоті 4,5 м, що створює поступовий ухил з усіх боків і забезпечує ефективний самовідвід води. Дах підтримується сталевими фермами, що простягаються в поперечному і поздовжньому напрямках кожної секції, утворюючи прямі похилі хорди, з'єднані зварними косинками для повної жорсткості[14].

Покрівельний шар складається з оцинкованого профільованого сталевого листа товщиною 0,7 мм і цинковим покриттям 275 г/м². Листи кріпляться до прогонів за допомогою саморізних гвинтів з нержавіючої сталі з неопреновими шайбами, з поздовжнім перекриттям 150 мм і поперечним однохвильовим перекриттям. Під профільованим листом дах повністю утеплений плитами мінеральної вати товщиною 150 мм і щільністю 120 кг/м³, розташованими в два шари в шаховому порядку[17].

На внутрішній стороні ізоляції встановлена пароізоляційна мембрана з армованого поліетилену з коефіцієнтом дифузійного опору $S_d \geq 100$ м, з перекриттями і стиками, ущільненими для запобігання конденсації. Внутрішня поверхня даху оброблена гладкими оцинкованими сталевими панелями товщиною 0,5 мм, що створює придатну для вологого і біологічно активного середовища ферми.

Дах обладнаний системою відведення дощової води, що включає оцинковані жолоби вздовж усіх карнизів і водостічні труби, розташовані в кутах будівлі, які направляють стік у дренажні канали.

Зовнішнє та внутрішнє оздоблення

Зовнішнє оздоблення будівлі підкреслює як довговічність, так і стійкість до впливу навколишнього середовища та експлуатаційних факторів. Всі зовнішні сталеві поверхні сендвіч-панелей покриті шаром поліестеру товщиною 25 мкм, збагаченим УФ-стабілізаторами для запобігання вицвітання кольору та

деградації матеріалу під тривалим впливом сонячного випромінювання. З'єднання панелей ущільнені термопластичними еластомерними прокладками, які зберігають еластичність у широкому діапазоні температур (від -40 °C до +60 °C) та запобігають проникненню води. Кути, стики з дахом і отвори посилені спеціально виготовленими металевими ковпаками, механічно закріпленими і ущільненими високоякісним силіконовим герметиком для запобігання накопиченню вологи і корозії в уразливих місцях. Двері оснащені сталевими рамами з терморозривом, а ворота для транспортних засобів мають посилені порогові пластини для захисту від механічного зносу внаслідок постійного руху вантажівок[6].

Всередині стіни сталеві облицювання додатково покриті антимикробною епоксидною ґрунтовкою та поліефірним покриттям, що підвищує стійкість до росту грибків та бактерій в умовах високої вологості. Стики між перегородками покриті знімними накладками, що дозволяє проводити періодичний огляд та технічне обслуговування ізоляції або конструкційних вставок за панелями. Внутрішні кути та стики з підлогою захищені кутовими захисними накладками з нержавіючої сталі, що запобігає пошкодженню від механічних ударів під час експлуатації обладнання.

Система підлоги також включає спеціальну добавку до бетону та ущільнюється за допомогою затверджувача на основі силікату, утворюючи полірований шар зі зниженою пористістю. Така обробка підвищує стійкість до стирання, запобігає утворенню пилу та забезпечує хімічну стійкість до аміаку, добрив або дезінфікуючих засобів, які присутні в сільськогосподарських середовищах. У зонах з інтенсивним рухом поблизу воріт і робочих місць підлоги містять локально армовану сталеву сітку та армування волокном для запобігання утворенню тріщин і продовження терміну експлуатації. Розширювальні та контрольні шви оброблені еластичними заповнювачами швів для компенсації теплових рухів і запобігання проникненню води[5].

Стеля та внутрішні поверхні над головою мають оцинковані сталеві панелі товщиною 0,5 мм, але додатково стики між панелями ущільнені гнучкою силіконовою стрічкою, що забезпечує герметичність і дозволяє невеликий диференційний рух через теплове розширення металевих листів. Світловідбивні покриття на внутрішніх поверхнях стелі покращують природне та штучне освітлення, покращуючи умови праці та мінімізуючи споживання енергії.

Вікна та двері будівлі спроектовані таким чином, щоб забезпечити достатнє природне освітлення, вентиляцію та контрольований доступ, зберігаючи при цьому міцність і гігієнічність у сільськогосподарському середовищі[3]. Вікна виготовлені у вигляді двокамерних склопакетів загальною товщиною 32 мм, що складаються з двох шарів загартованого скла товщиною 6 мм кожен, розділених 20-міліметровою повітряною прошарком, заповненим інертним газом для поліпшення теплоізоляції. Віконні рами виготовлені з алюмінієвих профілів з порошковим покриттям, що забезпечує високу стійкість до корозії, простоту обслуговування та довгострокову стабільність розмірів при коливаннях температури. Всі вікна оснащені вбудованими ущільнювачами та запірними механізмами для забезпечення герметичності та запобігання проникненню протягів або вологи[15].

Внутрішні двері складаються з металевих панелей з 50-міліметровим ізоляційним сердечником, оброблених антикорозійним поліестеровим покриттям, тоді як зовнішні двері посилені сталевими рамами та герметичними ущільнювачами, а ворота для транспортних засобів виготовлені з оцинкованих сталевих панелей з додатковими структурними ребрами жорсткості для захисту від механічних ударів. Вся фурнітура для дверей, включаючи петлі, ручки та замки, виготовлена з нержавіючої сталі для запобігання корозії та забезпечення надійної роботи в умовах високої вологості та частого використання[13].

Сталевий каркас будівлі піддається комплексній антикорозійній обробці для забезпечення довготривалої міцності у вологому та біологічно активному середовищі ферми. Всі конструктивні елементи, включаючи колони, балки та

ферми покриваються гарячим цинкуванням мінімальною товщиною 80 мкм. Зварні з'єднання та обрізані краї додатково обробляються цинковою ґрунтовкою для запобігання локалізованій корозії.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. 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).
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. Вікна та двері: ДСТУ EN 14351-1:2020.
4. Довідково-інформаційний збірник ресурсів та одиничних розцінок на будівельно-монтажні роботи, Суми, СНАУ – 2011 р.
5. Кошторисні норми України. Ресурсні елементні кошторисні норми на будівельні роботи. Підлоги.
6. Кошторисні норми України. Ресурсні елементні кошторисні норми на будівельні роботи. Оздоблювальні роботи.
- 7 Кошторисні норми України «Настанова з визначення вартості будівництва»: [Чинний від 2021-11-09]. -К: Мінрегіонбуд України, 2021. – 44–46 с. (Національні стандарти України).
8. 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).
9. Нормування праці та кошториси в будівництві. Суми -«Мрія – 1», 2010, 452 с.
10. Основи і фундаменти будівель та споруд. Основні положення: ДБН В.2.1-10:2018.
11. Організація будівельного виробництва: ДБН А.3.1-5:2016 [Чинний від 2016-01-01]. -К: Мінрегіонбуд України, 2016. – 44–46 с. (Національні стандарти України).
12. 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).

13. 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).

14. Покриття будівель і споруд: ДБН В.2.6-220:2017.

15. Природне і штучне освітлення: ДБН В.2.5-28:2018 [Чинний від 2019-02-28]. -К: Мінрегіонбуд України, 2018. – 7 с. (Національні стандарти України).

16. 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).

17. Теплова ізоляція будівель: ДБН В.2.6-31:2016 [Чинний від 2016-10-01]. -К: Мінрегіонбуд України, 2017. – 15 с. (Національні стандарти України).