

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: «Дослідження та впровадження шлаколужних бетонів на щебериті на прикладі промислового підприємства в м. Харків»

Виконав (ла)

(підпис)

В. С. Беркута

(Прізвище, ініціали)

Група

Буд 2301-1м

(Науковий)

керівник

(підпис)

М. В. Нагорний

(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

Беркута Віктор Сергійович

Тема роботи: Дослідження та впровадження шлаколузких бетонів на щебериті на прикладі промислового підприємства в м. Харків

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

Вихідні дані до роботи:

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

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

Розділ 1. Загальна характеристика роботи, 1.1. Бетон на основі лужного шлакопортландцементу, 1.2. Дослідження шлаколузкого бетону на

щебериті, Розділ 2. Опис архітектурно-планувального рішення будівлі, 2.1. Ситуаційний план, 2.2. Об'ємно-планувальне рішення, 2.3. Архітектурно-конструктивне рішення, Список використаних джерел

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

19 слайдів мультимедійного матеріалу

Керівник :

(підпис)

М. В. Нагорний
(Прізвище, ініціали)

Консультант

(підпис)

М. В. Нагорний
(Прізвище, ініціали)

Завдання прийняв до виконання:

Здобувач

(підпис)

В. С. Беркута
(Прізвище, ініціали)

Анотація

Беркута Віктор Сергійович «Дослідження та впровадження шлаколуужних бетонів на щебериті на прикладі промислового підприємства в м. Харків» – 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.

Дослідження присвячене вивченню властивостей та впровадженню шлаколуужних бетонів на щеберити як екологічно стійкого матеріалу з високими технічними характеристиками. Розглянуто можливості утилізації промислових відходів і зниження вуглецевого сліду, що робить такі бетони важливими для сучасної будівельної галузі. На прикладі промислового підприємства в Харкові оцінено ефективність цих матеріалів у виробничих умовах.

У межах дослідження проведено аналіз технологій виготовлення, розроблено експериментальні зразки бетонів, визначено їхні фізико-хімічні властивості, зокрема міцність, довговічність і стійкість до агресивних середовищ. Особливу увагу приділено економічним та екологічним аспектам використання шлаколуужних бетонів, включаючи зниження витрат на матеріали, енергоспоживання і зменшення негативного впливу на довкілля.

Результати показали, що оптимізація складу бетону забезпечує високу морозостійкість і корозійну стійкість, а також дозволяє зменшити використання традиційних цементів. На основі отриманих даних розроблено рекомендації для будівельних підприємств щодо впровадження цих

інноваційних матеріалів, які сприяють підвищенню ефективності будівництва та сталого розвитку галузі.

Ключові слова: промислові відходи, бетон, шлак.

Список публікацій та/або виступів на конференціях студента:

1. Нагорний М.В., Беркута В.С., Деділова Т.В. ВПРОВАДЖЕННЯ ШЛАКОЛУЖНИХ БЕТОНІВ НА ЦЕБЕРИТІ З ПОЗИЦІЇ СТАЛОГО РОЗВИТКУ // Матеріали XVIII Міжнародної науково-практичної конференції , 29 листопада 2024 р., ХНАДУ, Харків, С.37

2. Беркута В.С. ВПРОВАДЖЕННЯ ШЛАКОЛУЖНИХ БЕТОНІВ НА ЦЕБЕРИТІ З ПОЗИЦІЇ СТАЛОГО РОЗВИТКУ / Матеріали 86 Міжнародної наукової конференції студентів, 8-12 квітня 2024 р., ХНАДУ, Харків, С.17

В додатках наведено тези конференції, альбом слайдів мультимедійної презентації.

Структура роботи.

Робота складається з основного тексту на 47 сторінках, у тому числі 10 таблиць, 5 рисунків. Текст роботи містить загальну характеристику роботи, 2 розділи, висновки і рекомендації за результатами роботи, список з 24 використаних джерел. Графічна частина складається з 19 слайдів мультимедійної презентації.

Abstracts

Berkuta Viktor Serhiyovych “Research and implementation of slag-alkali concrete on gravel using the example of an industrial enterprise in the city of Kharkiv” – Master's qualification work in the form of a manuscript.

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

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

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

The study is devoted to the study of the properties and implementation of slag-alkali concrete on gravel as an environmentally sustainable material with high technical characteristics. The possibilities of recycling industrial waste and reducing the carbon footprint are considered, which makes such concretes important for the modern construction industry. The effectiveness of these materials in production conditions was assessed using the example of an industrial enterprise in Kharkiv.

As part of the study, an analysis of manufacturing technologies was conducted, experimental samples of concrete were developed, and their physicochemical properties were determined, including strength, durability, and resistance to aggressive environments. Particular attention was paid to the economic and environmental aspects of using slag-alkali concrete, including reducing material costs, energy consumption, and reducing the negative impact on the environment.

The results showed that optimizing the composition of concrete provides high frost resistance and corrosion resistance, and also allows reducing the use of traditional cements. Based on the data obtained, recommendations were developed for construction companies regarding the introduction of these innovative materials that contribute to increasing the efficiency of construction and sustainable development of the industry.

Keywords: industrial waste, concrete, slag.

List of publications and/or speeches at student conferences:

1. Nagorny M.V., Berkuta V.S., Dedilova T.V. IMPLEMENTATION OF SLAG CONCRETES ON CHAMBERS FROM THE POSITION OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT // Materials of the XVIII International Scientific and Practical Conference, November 29, 2024, KhNADU, Kharkiv, P.37

2. Berkuta V.S. IMPLEMENTATION OF SLAG CONCRETES ON CHAMBERS FROM THE POSITION OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT / Materials of the 86th International Scientific Conference of Students, April 8-12, 2024, KhNADU, Kharkiv, P.41

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

Structure of the work.

The work consists of the main text on 47 pages, including 10 tables, 5 figures. The text of the work contains a general description of the work, 2 sections, conclusions and recommendations based on the results of the work, a list of 24 sources used. The graphic part consists of 19 slides of a multimedia presentation.

ЗМІСТ

Розділ 1. Загальна характеристика роботи.....	9
1.1. Бетони на основі лужного шлакопортландцементу.....	12
1.2. Дослідження шлаколужного бетону на щебериті.....	23
Розділ 2. Опис архітектурно-планувального рішення будівлі.....	36
2.1. Ситуаційний план.....	36
2.2. Об'ємно-планувальне рішення.....	36
2.3. Архітектурно-конструктивне рішення.....	37
Список використаних джерел.....	46

РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми: Тема дослідження та впровадження шлаколуужних бетонів на щеберити є актуальною, особливо в контексті сучасних тенденцій розвитку будівельних технологій та зменшення негативного впливу на навколишнє середовище. Використання таких бетонів на прикладі промислового підприємства в Харкові не лише погіршує підвищення ефективності будівельних процесів, але й відкриває нові можливості для утилізації промислових відходів.

Шлаколуужні бетони, що базуються на використанні шлаку та інших промислових відходів, є екологічними матеріалами, які дозволяють зменшити викид CO₂, пов'язаний з виробництвом традиційного цементу. Це особливо важливо в умовах глобальних змін клімату та необхідності зниження вуглецевого сліду промислових підприємств.

Впровадження таких інноваційних матеріалів у будівельну практику Харкова має на меті не тільки підвищення міцності та довговічності будівельних конструкцій, але й оптимізацію виробничих процесів, зниження енергоспоживання та витрат на матеріали. Крім того, дослідження в цій сфері сприяє розвитку науково-технічного потенціалу регіону та підвищує конкурентоспроможність місцевих виробників на міжнародному ринку.

Таким чином, тема статті про дослідження та впровадження шлаколуужних бетонів на щеберити є актуальною з точки зору екологічної стійкості, економічної ефективності та науково-технічного прогресу, що робить її важливою для широкого кола читачів, зокрема науковців, інженерів, архітекторів та представників будівельної галузі.

Мета і завдання дослідження: Методом дослідження є вивчення властивостей шлаколуужних бетонів на щеберити та розробка рекомендацій щодо їх ефективного впровадження на промислових підприємствах, зокрема на прикладі підприємства в місті Харків. Це включає не лише оптимізацію складу бетонних сумішей для досягнення високих технічних характеристик,

але й аналіз економічних та екологічних переваг використання таких матеріалів у будівельній галузі.

Для досягнення цієї мети в дослідженні передбачено кілька ключових завдань. Спершу планується провести аналіз існуючих технологій та матеріалів для виготовлення шлаколужних бетонів на щеберити, зокрема їх фізико-хімічних властивостей та особливостей застосування в умовах промислових підприємств. Наступним етапом буде розробка експериментальних зразків шлаколужних бетонів з ідеальним складом, щоб розрахувати оптимальний склад бетонної суміші для забезпечення високої міцності, довговічності та стійкості до агресивних середовищ.

Паралельно досліджувати технологічні особливості виробництва та використання шлаколужних бетонів на щеберити, включаючи аналіз методів змішування, викладання та твердіння бетонних сумішей. Значну увагу буде приділено оцінці економічної ефективності використання шлаколужних бетонів на підприємствах у місті Харків, а також порівнянню вартості виробництва та експлуатаційних характеристик з традиційними бетонними матеріалами.

Важливим аспектом дослідження є аналіз екологічного впливу застосування шлаколужних бетонів на навколишнє середовище, включаючи зниження викидів та утилізацію промислових відходів. На основі отриманих результатів будуть розроблені рекомендації для будівельних підприємств щодо впровадження шлаколужних бетонів на щеберити, з урахуванням специфіки регіону та галузі, а також можливих технічних та екологічних переваг.

Об'єкт дослідження: Впровадження шлаколужних бетонів на щебериті.

Предмет дослідження: Промислове підприємство в місті Харків.

Методи дослідження: У цьому дослідженні застосовано комплексний підхід, що включає експериментальні, аналітичні та теоретичні методи.

Першим етапом було проведено теоретичний аналіз наукової літератури, присвячений шлаколузним бетонам, їх компонентам, властивостям та можливостям застосування. Це допомогло розробити основні напрямки подальших досліджень і сформувані гіпотези.

На наступному етапі були проведені лабораторні експерименти, в яких створювалися і тестувалися різні склади шлаколузних бетонів на щеберити. Зразки бетону перевіряли на міцність, водонепроникність, морозостійкість і хімічну стійкість, використовуючи стандартні методи та обладнання.

Після цього був проведений порівняльний аналіз отриманих результатів з характеристиками традиційних бетонних сумішей, а також оцінено економічну ефективність та екологічний вплив використання шлаколузних бетонів. Це включало розрахунок витрат на матеріали та виробництво, а також аналіз виявленого зниження викидів CO₂ та утилізації промислових відходів.

На основі отриманих даних розроблено рекомендації щодо впровадження шлаколузних бетонів на щеберити на промислових підприємствах, враховуючи технологічні можливості та екологічні переваги.

Наукова та технічна новизна одержаних результатів: Наукова новизна роботи полягає в розробці шлаколузних бетонів з щеберитом як грубим заповнювачем, що містить до 4% глинистих частинок, що дозволяє використовувати його в бетонних сумішах з клінкерними цементами. Вперше встановлено, що взаємодія щебериту з лужним сполучним утворює стабільні нерозчинні сполуки, покращуючи характеристики бетону.

Розроблено бетони з марками міцності від В3 до В30 і насипною масою 2050–2250 кг/м³, з міцністю на стиск 195–365 кгс/см², в залежності від щільності лужного розчину (1,1–1,2 г/см³). Оптимальна питома витрата шлаку складає 350–450 кг/м³, що забезпечує високу морозостійкість (від F45 до F250).

Дослідження корозійної стійкості арматури показали втрату маси до 7% при щільності лужного розчину 1,2 г/см³. Рекомендується використовувати щільність 1,1 г/см³ та товщину захисного шару 15 мм.

Робота доводить високу ефективність шлаколужного бетону для будівництва в умовах високої вологості та агресивних середовищ.

Апробація та публікація результатів роботи: 1. Нагорний М.В., Беркута В.С., Деділова Т.В. ВПРОВАДЖЕННЯ ШЛАКОЛУЖНИХ БЕТОНІВ НА ЩЕБЕРИТІ З ПОЗИЦІЇ СТАЛОГО РОЗВИТКУ // Матеріали XVIII Міжнародної науково-практичної конференції , 29 листопада 2024 р., ХНАДУ, Харків, С.37

2. Беркута В.С. ВПРОВАДЖЕННЯ ШЛАКОЛУЖНИХ БЕТОНІВ НА ЩЕБЕРИТІ З ПОЗИЦІЇ СТАЛОГО РОЗВИТКУ / Матеріали 86 Міжнародної наукової конференції студентів, 8-12 квітня 2024 р., ХНАДУ, Харків, С.41

1.1. Бетони на основі лужного шлакопортландцементу

На сучасному етапі розвитку будівельної індустрії прогрес і конкурентоспроможність будівельних матеріалів обумовлюють кілька важливих питань. Серед них – скорочення споживання матеріалів та енергії, розробка інноваційних та більш ефективних рецептур цементу та широке використання промислових побічних продуктів. У контексті виробництва портландцементу залежність від природної мінеральної сировини та значних енергетичних ресурсів часто призводить до значних викидів вуглекислого газу. Тому однією зі стратегічних цілей було замінити частину клінкеру промисловими побічними продуктами для пом'якшення впливу на навколишнє середовище.

Введення шлаку в портландцемент, відомий як шлакопортландцемент, має кілька переваг. Такий підхід не тільки зменшує витрати енергії на виробництво цементу, але й вирішує проблему утилізації промислових відходів. Технічно шлакопортландцемент демонструє чудові властивості порівняно зі звичайним портландцементом, включаючи підвищену стійкість до м'яких і багатих сульфатами вод, покращену термостійкість, знижену

теплоту гідратації та мінімізовану усадку. Проте бетони з вищим вмістом шлаку демонструють повільніші темпи розвитку міцності, особливо на початкових стадіях затвердіння, і виявляють меншу стійкість до циклів заморожування-розморожування, особливо в присутності солей проти обмерзання.

Щоб подолати ці недоліки, у суміш шлакопортландцементу вводять сполуки лужних металів, що покращує її властивості. Цей метод, вперше розроблений в 1958 році, заснований на виявленні в'язучих властивостей у сполук I і II груп циклічної системи елементів, що поклало початок новому класу цементів — лужноактивованих.

Потенціал лужно-активованого шлакопортландцементу для застосування в бетоні полягає насамперед у природі його гідратованих фаз, які включають низькоосновні гідросилікати кальцію та лужні гідроалюмосилікати. Ці сполуки сприяють високій міцності та щільності одержуваного штучного каменю та дозволяють значно знизити вміст клінкеру на 55–85% без шкоди для реакційної здатності цементу. Крім того, характеристики гідратації та твердіння шлакопортландцементів, активованих лугом, створюють більш витончену мікроструктуру в цементній матриці порівняно з традиційним шлакопортландцементом.

Для максимального підвищення експлуатаційних характеристик бетонів на основі лужноактивованого шлакопортландцементу в монолітному будівництві важливе значення має контроль реологічних властивостей бетонних сумішей, а також експлуатаційних характеристик і довговічності затверділого бетону. Одним із основних фізичних факторів, що впливають на експлуатаційні характеристики та довговічність бетону, є його пористість. Навіть незначні зміни пористості можуть істотно змінити властивості матеріалу. Хоча загальна пористість впливає на міцність бетону, на такі властивості, як морозостійкість, проникність і, отже, довговічність, переважно впливає капілярна пористість. Капілярна пористість, у свою чергу,

значною мірою визначається водоцементним відношенням, ступенем гідратації в'язучого і використанням добавок поверхнево-активних речовин.

Пориста структура лужноактивованих цементів суттєво відрізняється від традиційних цементів на клінкерній основі, які використовуються в загальному будівництві, насамперед за рахунок відмінних механізмів структуроутворення та особливостей продуктів гідратації. Незважаючи на подібну загальну пористість, розподіл розмірів пор у лужно-активованому цементі помітно відрізняється від портландцементу. Зокрема, капілярна пористість у цементі, активованому лугом нижча, тоді як мікропористість, яку часто називають пористістю гелю, вища. Ця невідповідність пояснюється унікальною природою продуктів гідратації, що утворюються в системах, активованих лугом, які сприяють розвитку іншої структури пор порівняно зі звичайними цементами.

У міру гідратації цементів, активованих лугом, спостерігається помітне збільшення об'єму мікропор, що відповідає зменшенню об'єму макропор. Ця трансформація має вирішальне значення для формування щільнішої та міцнішої мікроструктури цементної матриці. Зменшення макропор, які більші та з'єднані між собою, призводить до зниження проникності цементного каменю, тим самим підвищуючи його довговічність і міцність. У той же час збільшення мікропористості, що характеризується меншими та більш рівномірно розподіленими порами, сприяє загальній стабільності та механічним характеристикам затверділого цементу.

Дослідження показали, що бетон на основі цементів, активованих лугом, демонструє більш вишукану та ефективну мікроструктуру в різних масштабах порівняно з бетоном, виготовленим із традиційного портландцементу. Ця чудова мікроструктурна організація лежить в основі покращених характеристик бетону, активованого лугом, включаючи його підвищену стійкість до циклів заморожування та відтавання. Однак зв'язок між структурою пор і морозостійкістю в лужно-активованих бетонах залишається складною і не повністю вивченою областю. Ця складність

виникає внаслідок широкого діапазону варіацій складу, можливих для цементів, активованих лугом, включаючи відмінності в хімічній природі використовуваних добавок, які можуть суттєво впливати на процес гідратації та результуючу структуру пор.

У цьому дослідженні використовувався лужно-активований шлакопортландцемент (позначений як LCEM IV) із вмістом гранульованого доменного шлаку від 55% до 85%, що відповідає встановленим стандартам для таких цементів. Гранульований доменний шлак, використаний у рецептурі, характеризувався модулем основності 1,1, що вказує на його хімічний склад і потенційну реакційну здатність. Крім того, він мав вміст склофази 57% за масою, що відображає частку некристалічного, аморфного матеріалу в шлаку. Ця склоподібна фаза має вирішальне значення, оскільки вона суттєво впливає на гідравлічні властивості та реакційну здатність шлаку, коли він використовується як цементуючий компонент.

Цементну матрицю було створено шляхом поєднання гранульованого доменного шлаку з портландцементним клінкером. Клінкер служить основним гідравлічним в'язучим, сприяючи загальному розвитку міцності та довговічності цементного матеріалу. Шляхом коригування пропорцій гранульованого доменного шлаку та клінкеру дослідження було спрямоване на оптимізацію властивостей лужно-активованого шлакопортландцементу, зосереджуючись на таких параметрах, як час схоплювання, розвиток міцності та стійкість до погіршення навколишнього середовища. Різний вміст шлаку дозволив провести комплексну оцінку того, як різні рівні впливають на експлуатаційні характеристики цементу, зокрема з точки зору еволюції мікроструктури, пористості та механічних властивостей.

Таблиця 1.1. Хімічний склад складових цементу

Складові	Вміст оксидів, мас. %								
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	SO ₃	в.п.п.
Клінкер	21,3	5,7	4,62	–	1,2	64,9	0,3	0,86	0,12
Шлак	39,0	5,9	0,3	0,5	5,82	47,3	–	1,54	–

При розробці композицій шлакопортландцементу, активованого лугом, кальцинована сода і пентагідрат метасилікату натрію були використані як основні активатори лугу. Ці лужні компоненти відіграють вирішальну роль в активації гідралічних властивостей шлаку, тим самим підвищуючи загальну реакційну здатність і міцність цементу.

Під час виробництва активованого лугом шлакопортландцементу методом все в одному, де сухий лужний компонент інтегрується безпосередньо в цементну суміш, важливо включити лігносульфонат натрію. Ця добавка має життєво важливе значення для забезпечення належної працездатності та відповідного часу схоплювання, запобігання передчасному твердінню та посилення процесу активації цементних матеріалів.

Крім того, для покращення процесу подрібнення та підтримки стабільності цементного порошку використовували етилгідросилоксанову полімерну добавку. Ця добавка діє як допоміжний засіб для подрібнення та захист від вологи, зводячи до мінімуму гігроскопічність цементу та, таким чином, зберігаючи його якість та реакційну здатність з часом.

Оптимізацію складів шлакопортландцементу, активованого лугом, проводили з використанням двофакторного експериментального підходу, який дозволив систематично оцінювати змінні, що впливають на характеристики цементу. Питома поверхня цементу має показник $4500 \text{ см}^2/\text{г}$, виміряна за допомогою приладу Блейна, що вказує на дрібний розподіл частинок за розміром, який сприяє підвищенню реакційної здатності та розвитку міцності.

Для подальшої модифікації та покращення властивостей цементу були включені комплексні добавки. Вони базувалися на лігносульфонаті натрію у поєднанні з поверхнево-активними речовинами, які використовувалися в дозі 1,4% від маси цементу. Добавки були розділені на три типи, щоб оцінити їх вплив на реологічні та механічні властивості цементу:

Тип РА: складний поліестер, відомий своєю здатністю покращувати оброблюваність і зменшувати потребу у воді в бетонній суміші.

Поліетиленгліколь: простий поліестер, який діє як пластифікатор, підвищуючи текучість цементного тіста та покращуючи загальну консистенцію суміші.

Глюконат натрію: сіль карбонової кислоти та лугу, яка функціонує як сповільнювач схоплювання та зменшення води, допомагаючи контролювати час схоплювання та мінімізуючи ранню усадку.

Таблиця 1.2. Склади лужного шлакопортландцементу

№ складу цементу	Співвідношення компонентів в цементі
1	50 % шлак, 50 % клінкер, 2 % Na_2CO_3 , 1 % ЛСТ
2	50 % шлак, 50 % клінкер, 3 % $\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, 1 % ЛСТ
3	69 % шлак, 31 % клінкер, 2,5 % Na_2CO_3 , 1 % ЛСТ
4	69 % шлак, 31 % клінкер, 3,5 % $\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, 1 % ЛСТ
5	88 % шлак, 12 % клінкер, 3 % Na_2CO_3 , 1 % ЛСТ

Для цілей цього дослідження була прийнята стандартизована конструкція бетонної суміші для методичного оцінювання впливу різних факторів, таких як склад цементу та тип модифікуючих добавок, на розвиток капілярної пористості та морозостійкості бетону. матеріал. Цей підхід мав на меті забезпечити контрольовану основу для оцінки того, як ці змінні впливають на ключові характеристики продуктивності, і дослідити потенційні шляхи оптимізації довговічності матеріалу.

Склад бетонної суміші встановлювався відповідно до специфікацій, викладених у посиланні. Суміш складалася з 340 кг/м^3 цементу, 750 кг/м^3 кварцового піску, 320 кг/м^3 гранітного щебеню з розміром частинок від 4 до 12 мм, 770 кг/м^3 гранітного щебеню з частинками. діапазон розмірів від 12 до 25 мм. Ця конкретна комбінація матеріалів була обрана для забезпечення

узгоджених результатів і забезпечення надійної бази для вивчення ефектів експериментальних змінних.

Оцінку водопоглинання та пористості зразків бетону проводили згідно з протоколом. Відповідно до цього стандарту кубічні зразки розміром 100 мм витримували протягом 28 днів перед подальшим тестуванням. Потім зразки висушували до постійної маси в електричній печі при температурі $100 \pm 5^\circ\text{C}$ для забезпечення повного видалення вологи. Після процесу сушіння зразки насичували водою, занурюючи їх у посудину, наповнену водою, температуру якої підтримували $22 \pm 2.5^\circ\text{C}$, до досягнення постійної маси. Потім розраховували характеристики пористості зразків на основі вимірювань їх середньої щільності та водопоглинання.

Для оцінки морозостійкості зразків бетону застосовували прискорений метод випробувань згідно з методикою. Цей метод передбачав занурення кубічних зразків у 4% розчин хлориду натрію при температурі $20 \pm 2.5^\circ\text{C}$, що дозволило їм повністю насититися. Після насичення зразки заморожували в тому ж розчині NaCl при температурі -55°C . Процес розморожування також проводився в 4% розчині NaCl для імітації суворих сольових умов. Цикли заморожування-відтавання повторювали до тих пір, поки не спостерігалися видимі ознаки лущення поверхні, втрати маси або зниження міцності на стиск понад 5%, після чого вважалося, що зразки не пройшли випробування на морозостійкість.

Цей комплексний підхід до підготовки та тестування зразків був розроблений для ретельної оцінки впливу різних цементних композицій і добавок на мікроструктурні властивості бетону, зокрема на його пористість і стійкість до циклів заморожування-відтавання. Результати дали цінну інформацію про оптимізацію бетонних сумішей для підвищення довговічності в холодних і соляних середовищах.

Дослідження показали, що варіації вмісту клінкеру та шлаку, типу та дозування лужного компонента, природи модифікуючих добавок суттєво

впливають на водопоглинання та капілярну пористість бетону, модифікованого лужноактивованим шлакопортландцементом.

Додавання добавок на основі складного поліефіру до бетонної суміші, що містить 55% шлаку і 2.5% кальцинованої соди, призвело до підвищення водопоглинання та відкритої капілярної пористості. Зокрема, водопоглинання зросло до 3,5%, а об'єм відкритих капілярних пор — до 8,7% порівняно з контрольною сумішшю з водопоглинанням 3,3% і відкритими капілярними порами — 8%. Однак при підвищенні вмісту шлаку в цементі до 89 % ефективність знижувалася. Ця зміна призвела до подальшого збільшення водопоглинання до 4,8% і об'єму відкритих капілярних пор до 12%, що свідчить про погіршення фізичних властивостей матеріалу.

Крім того, заміна аніонного компонента лужного активатора з карбонату натрію на силікат натрію призвела до збільшення водопоглинання та пористості як у контрольному, так і в модифікованому бетонних композиціях. Ця заміна призводить до розширення структури пор.

Незважаючи на ці спостереження, була відмічена стійка тенденція, коли об'єм відкритих капілярних пор у контрольному бетоні зменшувався зі збільшенням вмісту шлаку та, як наслідок, вмісту лужного компонента. Це зменшення відкритих капілярних пор пояснюється модифікацією структури пор у бік утворення мікро- та умовно закритих пор. Такі структурні зміни сприяють більш щільній і менш проникній матриці штучного каменю, тим самим покращуючи фізичні та експлуатаційні властивості матеріалу.

Дані морозостійкості модифікованого бетону підтверджують зв'язок між структурою пор і експлуатаційними характеристиками. Зокрема, збільшення об'єму відкритих капілярних пор корелює зі зниженням морозостійкості. Це підтверджує, що оптимізація структури пор має вирішальне значення для підвищення довговічності бетону в умовах замерзання-відтавання.

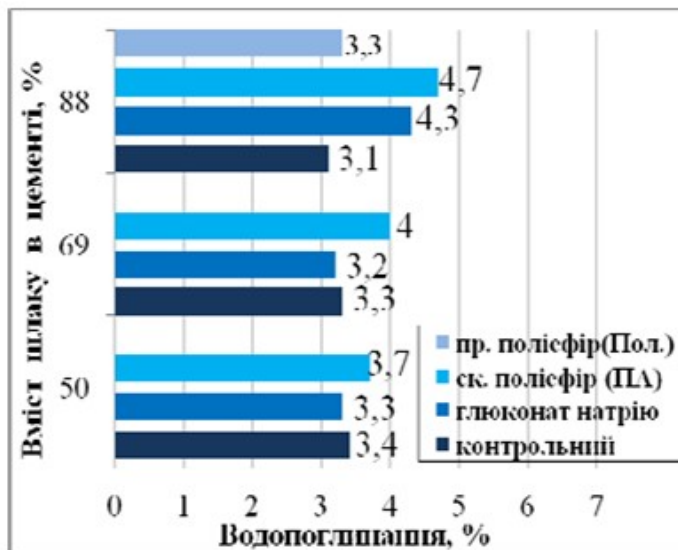


Рис. 1.1. Водопоглинання бетону залежно від ПАР в складі КД та вмісту шлаку в цементі

На відміну від складного поліефіру, який загалом демонструє обмежену ефективність у модифікуванні бетону на основі лужно-активованого шлакопортландцементу, використання модифікуючих добавок на основі простого поліефіру демонструє пропорційне підвищення ефективності, оскільки частка шлаку в цементній матриці збільшується. Зокрема, коли цементна матриця містить більш високий вміст шлаку, вплив простих поліефірних на властивості бетону стає більш вираженим порівняно зі складними поліефірними.

Додавання глюконату натрію до складу значно покращує фізичні властивості модифікованого бетону. Наприклад, у бетонних сумішах із вмістом шлаку 55% додавання глюконату натрію знижує водопоглинання до 3,2% порівняно з 3,5% у контрольній суміші. Оскільки вміст шлаку зростає до 67%, водопоглинання залишається на рівні 3,5%, що свідчить про постійне підвищення продуктивності. Однак, коли вміст шлаку досягає максимального рівня 89%, присутність глюконату натрію призводить до збільшення водопоглинання до 4,2%, підкреслюючи погіршення фізичних властивостей відносно контрольної композиції, яка мала водопоглинання 3,2%.

Подібна закономірність виникає при дослідженні змін у пористості. При нижчому вмісті шлаку (55%) об'єм відкритих капілярних пор у бетоні

становить 8% без добавки та трохи зменшується до 7,8% з глюконатом натрію, що відображає незначне зменшення пористості. Зі збільшенням вмісту шлаку об'єм відкритих капілярних пор ще більше зменшується до 7,6% з добавкою. Тим не менш, при найвищому вмісті шлаку (87%), введення глюконату натрію призводить до збільшення пористості на 12%, що вказує на погіршення властивостей матеріалу.

Дані морозостійкості підтверджують спостережувані тенденції пористості та водопоглинання. Для бетонних сумішей, що містять 55% і 65% шлаку, при введенні глюконату натрію досягається показник морозостійкості F 200. Однак при максимальному вмісті шлаку (86%) морозостійкість знижується до показника F 150 із втратою міцності понад 6% після п'яти циклів заморожування-відтавання. Збільшення об'єму відкритих капілярних пор, особливо з добавками на основі складного поліефіру, корелює зі зниженою морозостійкістю, як показано на графічному зображенні.

Заміна кальцинованої соди на пентагідрат метасилікат натрію в цементній матриці істотно не впливає на морозостійкість. Результати показують, що тип поверхнево-активної речовини, який використовується в бетонній суміші, відіграє вирішальну роль у зміні структури та функціональних властивостей модифікованого бетону.

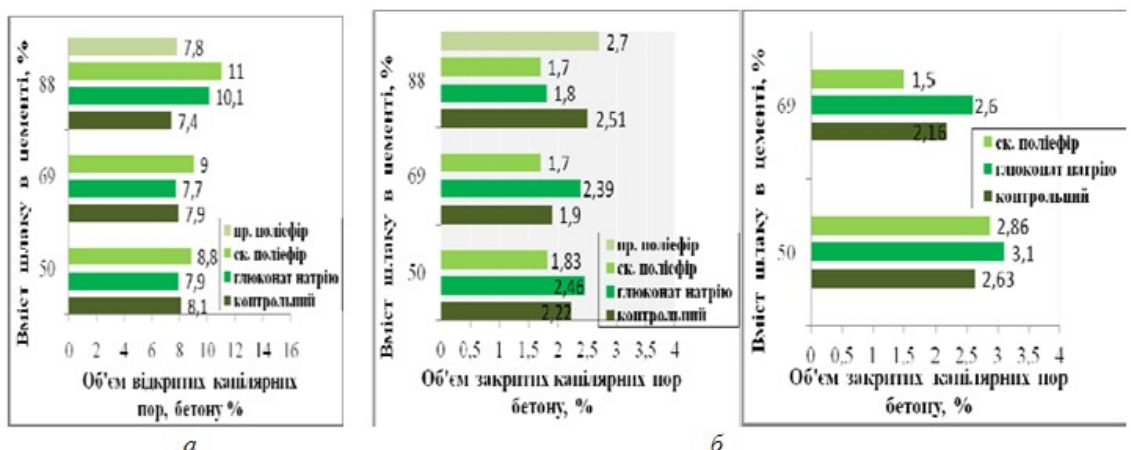


Рис. 1.2. Об'єм відкритих та закритих капілярних пор бетону залежно від ПАР в складі КД та вмісту шлаку в цементі, %

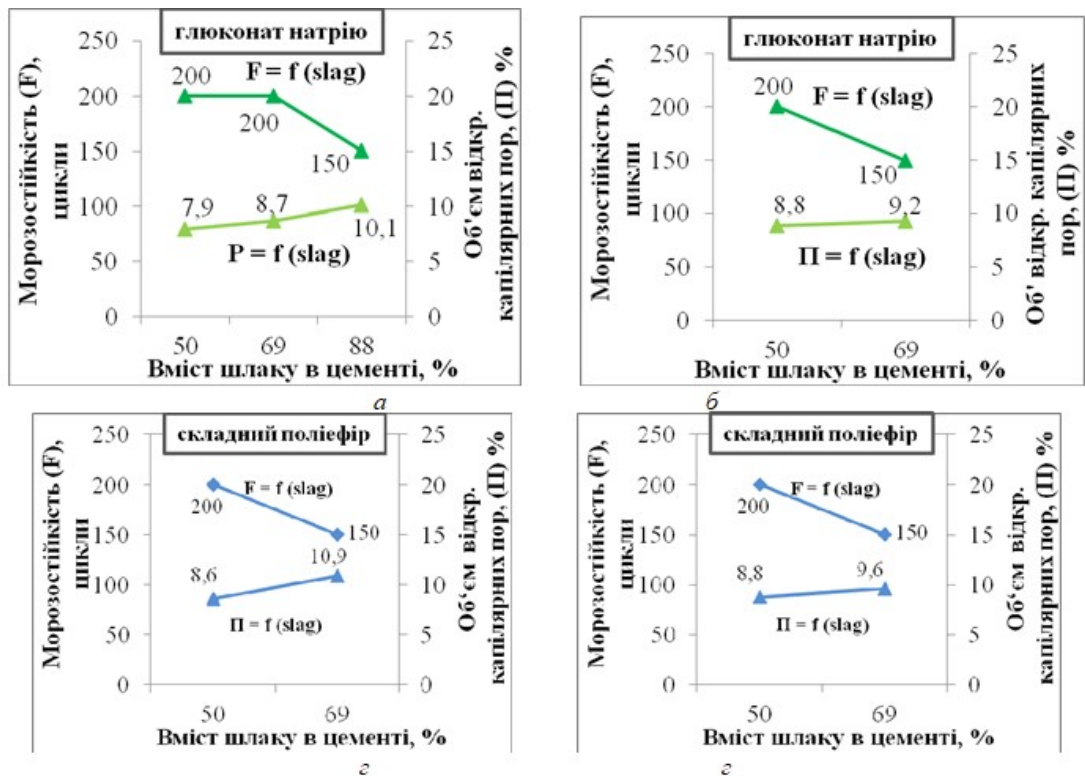


Рис. 1.3. Взаємозв'язок показників пористості та морозостійкості бетонів в залежності від ПАР в складі КДта вмісту шлаку в цементі

Таблиця 1.3. Морозостійкість бетонів

Позначення цементу	Тип добавки	Втрата міцності, %, після циклів заморозування і відтавання			Марка по морозостійкості
		3	4	5	
№1	ск. поліефір (ПА)	-1,4	-4,4	-4,9	F200
	глюконат натрію	-0,6	-2,4	-4,2	F200
№2	ск. поліефір (ПА)	-0,9	-3,1	-5	F200
	глюконат натрію	-1,0	-2,6	-4,4	F200
№3	ск. поліефір (ПА)	-1,6	-4,9	-8,1	F150
	глюконат натрію	-1,1	-3,2	-4,7	F200
№4	ск. поліефір (ПА)	-1,9	-5,0	9,9	F150
	глюконат натрію	-0,8	-2,9	-5,0	F150
№5	пр. поліефір	-1,0	-2,8	-4,9	F200
	глюконат натрію	-1,5	-4,9	-7,9	F150

Дослідження капілярної пористості та морозостійкості в бетоні, модифікованому лужно-активованим шлакопортландцементом, було проведено для оцінки зміни співвідношення клінкеру до шлаку, типу та дозування лужних активаторів, а також характеру модифікації. добавки впливають на ці властивості. Дослідження показали, що збільшення вмісту шлаку разом із супутнім підвищенням лужної складової підвищує ефективність модифікації бетону при використанні простих добавок на основі поліефіру. Це поліпшення відображається в покращенні фізичних і

експлуатаційних властивостей матеріалу. І навпаки, ефективність модифікування комплексними добавками на основі поліефіру за цих умов знижується.

Аналіз встановив чітку кореляцію між морозостійкістю модифікованого бетону та його пористістю. Зокрема, збільшення об'єму відкритих капілярних пор призводить до більшого об'єму утворення льоду в бетоні при мінусовій температурі.

1.2. Дослідження шлаколужного бетону на щебериті

Дослідження властивостей шлаколужного бетону, виготовленого на основі щебериту, включає комплексну оцінку його міцності, морозостійкості, корозійної стійкості, стійкості до циклічного змочування і висихання, а також схильності до деформацій усадки і розбухання. У цьому дослідженні також проведено аналіз характеристик і нормування використовуваних в'язучих, а також узагальнено технологічні процеси приготування бетонної суміші.

В умовах промислової кризи актуальним завданням є оптимізація використання техногенних відходів різних галузей промисловості з метою заміни 25-35% природної сировини промисловими та побутовими побічними продуктами у виробництві будівельних матеріалів. Цей підхід стосується як ефективної утилізації відходів, так і зменшення залежності від природних ресурсів.

Серед найпоширеніших джерел сировини для виробництва бетону — побічні продукти металургійної, енергетичної, гірничодобувної, хімічної та інших галузей промисловості. Використання цих побічних продуктів у виробництві бетону не тільки допомагає в управлінні та зменшенні промислових відходів, але також має потенціал для значного зниження вартості будівельних матеріалів.

Зокрема, доведено ефективність використання рідкого натрієвого скла як лужного активатора в неавтоклавному способі виробництва. Крім того, було досліджено включення лужних компонентів, отриманих із відходів,

таких як від Черкаського ПО «Азот». Ці матеріали та компоненти все ширше застосовуються в практичній реалізації шлаколузних бетонів, демонструючи їх життєздатність та ефективність у зниженні витрат виробництва та поводженні з промисловими відходами.

Дослідження показує, що утилізація промислових побічних продуктів, таких як шлак, пропонує часткове вирішення екологічних проблем, пов'язаних з управлінням відходами. Цей підхід не тільки вирішує екологічні проблеми, але й значно знижує витрати, пов'язані з цементом, природними заповнювачами та енергетичними ресурсами. Багато розвинених країн почали використовувати велику кількість штучної сировини, перетворюючи її на високоякісні будівельні матеріали, що підкреслює ефективність цієї стратегії.

У цьому контексті шлаколузний бетон виступає як висококонкурентоспроможний і ефективний різновид бетону, що відрізняється високою міцністю, гідравлічними властивостями та стійкістю до різних факторів навколишнього середовища, включаючи корозію та екстремальні температури. Особливо помітно значення металургійних шлаків як сировини для виробництва шлакопортландцементу і шлаколузних в'язучих. Ці шлаки можна переробляти в дрібно подрібнені гідравлічні добавки, які зменшують потребу в традиційному цементі, а також використовувати як дрібні, так і крупні заповнювачі.

Шлаколузні бетони виготовлені з використанням активованих сполук лузних металів, включаючи гідроксид натрію NaOH, гідроксид калію (KOH), карбонат натрію Na_2CO_3 , карбонат калію K_2CO_3 і силікат натрію $\text{Na}_2\text{O} \cdot m\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$. Ці бетони класифікують за кількома ознаками: структурою (щільні, крупнозернисті, пористі), гранулометричним складом заповнювача (дрібні та крупнозернисті), щільністю (важкі та легкі), складом цементу та умовами твердіння.

Важкі шлаколузні бетони класифікуються за міцністю на стиск на класи від B12 до B100. Морозостійкість їх становить від F250 до F1000, а

водостійкість – від W5 до W25. За призначенням легкі шлаколужні бетони поділяються на конструкційні, конструкційно-теплоізоляційні та теплоізоляційні.

Застосування шлаколужних бетонів виходить за рамки загальнобудівельних і спеціалізованих видів (високоміцні, швидкотвердіючі, гідравлічні, жаростійкі, кислотостійкі бетони). Вони особливо ефективні в екстремальних кліматичних умовах, будь то мінусова температура або жаркий клімат. Дрібнозернисті шлаколужні бетони, виготовлені з використанням дрібнозернистих пісків, суглинків, золошлакових сумішей і відсіву від дроблення гірських порід, виявляють підвищену взаємодію зі сполуками лужних металів, що сприяє ущільненню структури бетону.

Для дрібнозернистих бетонів мінімальний вміст шлаку становить 450 кг/м³, а для важких бетонів – 350 кг/м³. Ці бетони демонструють міцність на стиск від 50 до 100 МПа, показники морозостійкості від F450 до F750, водостійкість від W5 до W10 і початкові модулі пружності від 3 до $4,5 \times 10^4$ МПа. Їх усадкова деформація коливається від 35 до 40×10^{-5} мм/м, що відображає їх стабільність і довговічність у різних умовах.

Використання побічних продуктів видобутку та каменеобробки як сировини для бетонних заповнювачів є перспективною стратегією для розширення доступної заповнювальної бази. Зокрема, щебінь, отриманий із сухих відходів магнітної сепарації, демонструє порівняльні, а іноді й кращі фізичні та механічні властивості порівняно з традиційними гранітними заповнювачами. Наприклад, щебінь цього типу має ступінь роздавлюваності від 7 до 10, показники морозостійкості від F55 до F150, мінімальне водопоглинання і насипну щільність від 1500 до 1700 кг/м³ для щебеню. камінь і від 1450 до 1650 кг/м³ для піску.

Цей щебінь придатний для різноманітних застосувань, у тому числі як наповнювач бетону для монолітних армованих конструкцій, при будівництві баластних шарів залізниць, автомобільних доріг, штучних фундаментів, а також при засипці. Зокрема, фракції щебеню розміром від 10 до 15 мм і від

15 до 25 мм використовуються для виробництва бетону марок від 100 до 300, який використовується як для армованих, так і для неармованих конструкцій. Пісок служить дрібним заповнювачем для важкого бетону всіх марок, особливо для монолітного та збірного залізобетону, який використовується в міських, промислових і сільських умовах.

Включення відходів від процесів розпилювання та дроблення каменю у виробництво гідравлічного бетону є також вигідним. Наприклад, бетон, виготовлений з карбонатного піску, демонструє міцність на вигин у 2 рази більшу, ніж у бетону з використанням кварцового піску, разом із підвищеною стійкістю до сульфатів.

Крім того, подрібнена цегла, отримана шляхом дроблення звичайної керамічної цегли, ефективно функціонує як легкий заповнювач у виробництві бетону. Бетон, виготовлений з подрібненої цегли, досягає міцності на стиск від 15 до 20 МПа і середньої щільності від 1850 до 2050 кг/м³. Цей матеріал особливо корисний для виготовлення крупнопористих бетонних блоків середньої щільності.

У відповідь на ці спостереження був розроблений лабораторний метод створення шлаколужного бетону з використанням подрібненої цегли як заповнювача. До складу бетону входили шлак доменний тонкого помелу 400 кг, цегла подрібнена 1630 кг, рідке натрієве скло з модулем пружності 1,7, дозуванням 240 л. Щільність розчину рідкого скла коливалась від 1,1 до 1,2 г/см³. Дослідженнями встановлено, що оптимальний вміст тонкоподрібненого шлаку в бетонних сумішах з подрібненою цеглою має становити від 350 до 450 кг/м³.

Крім того, було помічено, що міцність бетону з часом покращується, морозостійкість підвищується зі збільшенням щільності розчину лужного компонента. Оцінки характеристик сільськогосподарських будівель показали, що міцність шлаколужного бетону в агресивних середовищах також з часом зростає.

Використання залізистих кварцитів як заповнювачів у виробництві монолітних залізобетонних конструкцій продемонструвало багатообіцяючі результати, демонструючи їх придатність як вискоєфективних наповнювачів. Подібним чином, відходи, отримані від розпилювання та дроблення каменів, ефективно використовуються у виробництві гідравлічного бетону, що сприяє покращенню властивостей бетону. Крім того, цегельний брухт виявився чудовим матеріалом для виробництва великопористих бетонних блоків, пропонуючи екологічний підхід до переробки будівельних відходів.

Однак традиційні способи виробництва шлаколужних бетонів характеризуються значною трудомісткістю та значними енерговитратами, особливо при нагріванні печей газом. Для вирішення цих проблем ми пропонуємо альтернативний підхід, що передбачає перехід на електрометоди нагріву печей. Очікується, що ця зміна зменшить витрати на енергію та підвищить загальну ефективність. Попередні дослідження цього підходу були проведені на Сумському силікатному заводі, що виявило його потенційні переваги.

У наших дослідженнях ми досліджували відходи Глухівського щебеневого кар'єру. Цей кар'єр видобуває щеберит, суміш піску та щебеню, що характеризується включенням кварцового піску та кутастих зерен подрібненого кварциту. Старі відвали кар'єру містять значні запаси, які оцінюються приблизно в 12 мільйонів кубічних метрів. До складу матеріалу входять дрібнодисперсні частинки в середньому 10% від загального вмісту, глинисті частки складають до 4%.

Таблиця 1.4. Гранулометричний склад щеберита

Залишки %	Розміри отворів сита, мм							
	10	5	3	1,2	1,63	0,315	0,15	дно
Частини	1	7	7	3	2	3,2	64	12,5
Повні	1	8	15	18	20	23,2	87,5	100

Мінералогічний аналіз щеберита показує, що кварц переважає в заповнювачі, що сприяє його загальним фізико-механічним властивостям.

Тимчасова міцність на стиск коливається від 1000 до 2200 кгс/см². Він демонструє стійкість до ударів від 55 до 145 ударів і демонструє знос барабана від 5,5% до 9,2%. Зафіксована абсолютна щільність щебеню 2,6 г/см³.

Піщаний компонент заповнювача в основному складається з кварцу з додатковими незначними компонентами, включаючи граніт, ільменіт, термалін і ставроліт.

Дрібнодисперсна фракція щебериту, побічного продукту кар'єру, складається з таких мінералів, як гідрослюда кварцу, каолініт, кальцит і гідроксиди заліза. Цей дрібнодисперсний матеріал значно перевищує допустимі норми для важкого бетону, що призвело до його накопичення в породних відвалах. Отже, щеберит вважається непридатним як компонент для важких бетонних сумішей з використанням клінкерних цементів через високий вміст цих небажаних дрібних матеріалів.

Таблиця 1.5. Хімічний склад компонентів щеберита

Назва	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	SO ₃	Сума
Щебінь	98,79	0,14	0,16	0,10	0,12			99,31
Пісок	95,7	0,61	0,80		0,56	0,4	-	98,07
Глина	79,54	8,72	3,21	-	0,76	0,45	-	99,44

В'язучий матеріал, який використовується в дослідженні, являє собою шлако-лужну двокомпонентну систему, що складається з тонко подрібненого гранульованого шлаку і лужного компонента. Для досліджень використовувався тонко подрібнений базовий гранульований доменний шлак з метою оцінки його властивостей. Дослідження також вивчало потенційне використання кислого гранульованого вагранки заводу Центроліт, як альтернативного компонента шлаку. Це дослідження призвело до розробки шлако-лужних бетонів класифікованих у межах міцності від В 5 до В 25.

Основним використаним лужним компонентом було рідке натрієве скло з силікатним модулем 1,7. Це натрієве скло було отримано з силікатного шматка, спеціально звареного на замовлення в кількості 170 тонн,

використовуючи неавтоклавний процес. Змінюючи силікатний модуль і щільність розчину натрієвого скла, можна було регулювати як час схоплювання, так і сорт сполучного в широкому діапазоні.

Дослідження також включало дослідження альтернативних лужних компонентів, таких як розплави кальцинованої соди та содово-сульфатної суміші марки А. Ці лужні компоненти оцінювали на їх ефективність у зв'язуванні дрібнодисперсних частинок.

Дослідження показали, що щеберит, побічний продукт з високим вмістом дрібнодисперсних частинок, у тому числі гідролітично-каолінітової глини (до 4%), не підходить для використання в бетонних сумішах з клінкерними цементами або асфальтобетонами через високий вміст дрібних частинок. Проте детальні хімічні, термографічні та рентгенографічні аналізи пилово-глинистої складової щебериту показали, що ці частинки активно взаємодіють із лужним сполучним, утворюючи нерозчинні у воді сполуки. Отже, щеберит можна використовувати як наповнювач шлаколужних бетонів, що містять до 25% дрібнодисперсних частинок, у тому числі до 15% глини.

На основі цього розроблені та випробувані в дослідно-промисловому виробництві шлаколужні бетони з додаванням щебеню марок міцності від В 3 до В 30 і насипної маси від 2050 до 2250 кг/м³. Основний склад бетонної суміші був наступним: гранульований основний доменний шлак тонкого помелу 405 кг/м³, щебінь 1630 кг/м³, рідке натрієве скло 240 л, щільністю 1,1, 1,15 або 1,2 г/см³. Початкові випробування показали, що міцність бетону на стиск змінюється залежно від щільності рідкого скла, причому міцність 195, 275 і 365 кгс/см² відповідає різним щільностям.

Розроблено методику визначення номінального лабораторного складу шлаколужного бетону на щебені. Цей метод включає поправку на оброблюваність, витрату щебеню, необхідну міцність і фактичну вологість наповнювача.

Встановлено, що оптимальна питома витрата шлаку тонкого помелу в бетонній суміші становить від 350 до 450 кг/м³. Згодом міцність бетону покращилася. Крім того, підвищена морозостійкість із збільшенням щільності лужного розчину за рахунок ущільнення бетонної структури, збільшення вмісту гелеподібних речовин і зменшення шкідливого об'єму пор. Таким чином, морозостійкість покращилася від F 45 при щільності розчину 1,1 г/см³ до марок F 250 і вище при щільності 1,2 г/см³. Висока морозостійкість шлаколужного бетону пояснюється також наявністю у складі в'язучого морозостійких гідросилікатів і відсутністю неморозостійкого трикальцієвого гідроалюмінату.

Для шлаколужних бетонів з необхідною маркою морозостійкості F 45 рекомендується використовувати співвідношення розчину до шлаку 0,5 і щільність розчину 1,15 г/см³. Лужні розчини з щільністю менше 1 г/см³ не рекомендуються через їх значний негативний вплив на морозостійкість, особливо для бетонів з стандартними вимогами до морозостійкості.

Дослідження було зосереджено на оцінці експлуатаційних характеристик шлаколужного бетону в специфічних умовах навколишнього середовища, характерних для сільськогосподарських будівель, які характеризуються високою вологістю та підвищеним вмістом вуглекислого газу. Ці фактори сприяють появі агресивного середовища, що негативно впливає на звичайний бетон. За шлаколужними бетонними конструкціями, які перебували в таких умовах, проводились тривалі спостереження для оцінки їх довговічності та міцності в часі.

Дослідження показує, що шлаколужний бетон демонструє помітне збільшення міцності під час дії агресивних середовищ у тваринницьких приміщеннях. Зокрема, протягом першого року міцність бетону на стиск зросла на 15% до 30%, а міцність на розтягнення при вигині — на 17% до 35%. Найзначніший приріст сили спостерігався протягом перших шести місяців із уповільненням темпів зростання після цього. До кінця двох років

покращення міцності було помірним, коливаючись від 3% до 8% порівняно з однорічним показником.

Стійкість шлаколужного бетону до сульфатних середовищ виявилася порівнянною з стійкістю важкого бетону, виготовленого з сульфатостійкого цементу. Це вказує на те, що шлаколушний бетон може ефективно протистояти агресивним сульфатним умовам, подібно до звичайних сульфатостійких бетонів.

Звичайний бетон, який піддається повторним циклам змочування та сушіння, зазнає значних фізико-механічних перетворень, що призводить до погіршення міцності та інших експлуатаційних характеристик. Цей процес призводить до розвитку мікротріщин, незворотного об'ємного розширення та збільшення напруги розтягування та зсуву, які разом зменшують стійкість бетону до агресії навколишнього середовища.

Навпаки, досліджуваний шлаколушний бетон із застосуванням щебіриту (комплексного наповнювача з високим вмістом дрібнодисперсних домішок, у тому числі частинок глини) продемонстрував дещо покращену міцність на стиск (до 5%) із збільшенням кількості циклів змочування та висихання до 100. Це спостережуване збільшення міцності на стиск, ймовірно, пояснюється тривалим старінням бетону, що покращує його структурні властивості з часом.

Міцність на розтягування при вигині зменшилася на 25%-35%, оскільки кількість циклів змочування та сушіння збільшилася до 100. Це зниження пов'язано з розповсюдженням мікротріщин у цементній матриці, що погіршує здатність матеріалу витримувати напруги вигину.

Що стосується змін маси, то протягом перших 20 циклів змочування та висихання бетону спостерігалось зменшення маси до 1%, що пояснюється усадкою та дегідратацією цементної матриці. Після цього періоду спостерігалось незначне збільшення маси, ймовірно, за рахунок триваючих процесів гідратації та утворення нових продуктів гідратації.

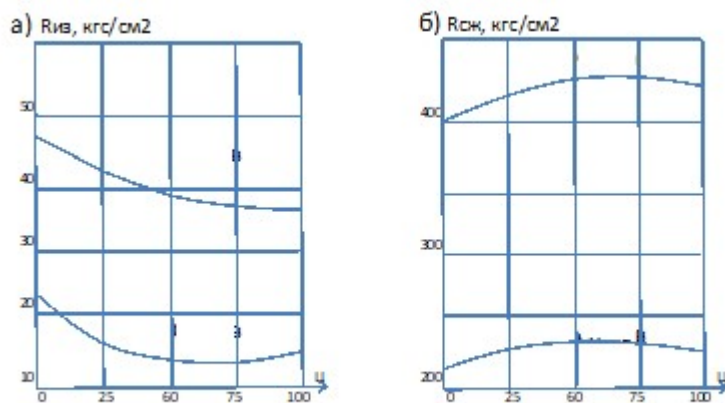


Рис. 1.4. Зміна міцності бетону при зміні вологи

Спостережуване зменшення маси бетону на початкових етапах циклів змочування та висихання можна віднести до явищ усадки, пов'язаних із дегідратацією цементного тіста. Зокрема, ця усадка пов'язана з втратою води з продуктів гідратації цементної матриці, що призводить до зменшення маси.

Зі збільшенням кількості циклів змочування та сушіння відбувається подальше збільшення маси. Це явище пояснюється поточними процесами гідратації, які призводять до утворення додаткових продуктів гідратації всередині цементної матриці. Ці новоутворення сприяють спостережуваному збільшенню маси, протидіючи початковій втраті.

Протягом усього періоду випробувань зовнішній вигляд зразків бетону залишався незмінним, що вказує на те, що структурна цілісність і естетичні характеристики бетону зберігаються, незважаючи на циклічний вплив навколишнього середовища. Ця стабільність свідчить про те, що шлаколушний бетон виявляє стійкість до фізичних впливів чергування змочування та висихання, особливо в конструкціях, що піддаються стискаючим навантаженням.

Деформації усадки і розбухання шлаколушного бетону, виготовленого з щебенем, виявилися приблизно вдвічі більшими, ніж у звичайного важкого бетону, виготовленого з гранітного щебеню. Цю підвищену реакцію можна пояснити властивостями сполучної системи шлак-луг і специфічними характеристиками використовуваного шлаку. Більш високий вміст дрібнодисперсних частинок і чіткий характер шлако-лушної реакції,

ймовірно, сприяють підвищеній деформаційній поведінці, що спостерігається в цих бетонах.

Таблиця 1.6. Деформація усадки бетону

Заповнювач	Деформація бетону з часом							
	1 місяць		2 місяць		3 місяць		1 рік	
	Σ,мм/м	% рік	Σ,мм/м	% рік	Σ,мм/м	% рік	Σ,мм/м	% рік
Щеберита з відвалу	0,68	68	0,84	84	0,91	91	1,00	100
Щеберита відмитий	0,60	71	0,73	85	0,78	92	0,85	100
Пісок щеберита відмитий	0,72	68	0,88	84	0,95	90	1,05	100

До проведення подальших досліджень його використання в попередньо напружених бетонних конструкціях не рекомендується.

Таблиця 1.7. Деформація усадки шлакобетону

Заповнювач	Деформація бетону з часом							
	1 місяць		2 місяць		3 місяць		1 рік	
	Σ,мм/м	% рік	Σ,мм/м	% рік	Σ,мм/м	% рік	Σ,мм/м	% рік
Щеберит з відвалу	0,23	64	0,26	72	0,27	75	0,36	100
Щеберит відмитий	0,21	64	0,22	67	0,23	70	0,33	100
Пісок щебериту відмитий	0,38	73	0,40	77	0,42	81	0,52	100

Дослідження корозійної стійкості сталеві арматури, закладеної в шлаколужний бетон, з використанням щебериту як грубого заповнювача, відкриває важливе уявлення про характеристики матеріалу у вологих умовах. Дослідження включало підготовку зразків бетону, змішаних з лужними розчинами різної щільності, і їхню витримку протягом року в середовищі з контрольованою високою вологістю.

Після завершення цього періоду старіння зразки були розібрані, щоб витягти вбудовані арматурні стержні, які потім були ретельно досліджені під мікроскопом. Цей огляд мав на меті виявити будь-які ознаки корозії або руйнування матеріалу. Крім того, була виміряна вага арматурних стрижнів,

щоб оцінити втрату маси, спричинену корозією. Рівні бетонних шарів, які безпосередньо контактують з арматурою, також були зареєстровані, що дало змогу зрозуміти хімічне середовище, що оточує стрижні, та його вплив на процеси корозії.

Результати цього дослідження продемонстрували помітну корозію на арматурних стержнях, причому ступінь корозії змінювався залежно від щільності лужних розчинів, які використовуються в бетонній суміші. Вимірювання ваги арматурних стрижнів виявили значну втрату матеріалу, що корелює з корозією, що спостерігається. Вимірювання вказує на різні кислотні або лужні умови, що додатково впливає на швидкість корозії.

Таблиця 1.8. Кількість оцінки корозії арматури в суміші з щеберитом

Склад бетону по масі	Щільність суміші Пл, г/см ³	рН	рН бетону та втрата ваги арматури E _v , з часом					
			90 днів		180 днів		365 днів	
			рН	E _v	рН	E _v	рН	E _v
1:7	1,10	10,8	10,6	0,081	10,2	0,102	10,1	0,110
	1,15	11,0	10,8	0,042	10,3	0,064	10,2	0,083
	1,20	11,3	10,9	0,032	10,3	0,061	10,2	0,075

Виходячи з результатів досліджень, рекомендується використовувати мінімальну щільність розчину для змішування 1,1 г/см³ і забезпечити товщину захисного шару не менше 15 мм. Дослідження підкреслює ефективність цього підходу, підкреслюючи його подвійні переваги: суттєве зниження витрат на будівництво та підвищення екологічної безпеки завдяки зменшенню відходів виробництва.

Відмінною рисою запропонованого методу є його здатність одночасно вирішувати дві критичні проблеми. По-перше, це забезпечує значну економію витрат на будівництво за рахунок оптимізації використання матеріалів і процесів. По-друге, він спрямований на мінімізацію відходів виробництва, сприяючи тим самим покращенню екологічної безпеки.

Однак помітною проблемою, пов'язаною з цим методом, є висока вартість газу, який використовується для нагрівання печей, що створює значний економічний тягар для промислових операцій. Таким чином,

ключовою метою майбутнього розвитку є скорочення витрат енергії шляхом вивчення альтернативних джерел опалення або технологій, які можуть досягти необхідних температур печі більш економно.

Виробництво шлаколужних бетонних виробів продемонструвало підвищену легкоукладальність і підвищену довговічність за рахунок введення комплексних добавок. Результатом цих досягнень є бетон з чудовими характеристиками міцності та здатності до деформації. Дослідження були зосереджені на виробництві шлаколужного бетону з різними ступенями міцності на стиск.

Підвищення життєздатності шлако-лужних бетонних сумішей можна пояснити використанням цих комплексних добавок, які покращують властивості одержуваного бетону. Продукти гідратації в'язучих на основі шлаку мають унікальні структурні особливості та добре розвинену питому поверхню, що сприяє загальній міцності та довговічності бетону.

Висновок

Запропонована методика оптимізації шлаколужного бетону передбачає системний підхід до визначення ідеального складу цементних сумішей на основі різних параметрів, у тому числі типу шлаку, цементно-піщаного співвідношення та введення отверджувачів.

Метод полегшує розробку рішень, адаптованих до конкретних вимог, шляхом вивчення впливу різних композицій добавок, типів цементу, специфічних площ поверхні та умов твердіння на характеристики бетону.

Цей процес включає як контрольну, так і дослідно-промислову фази випробувань, які сприяли створенню нормативної бази для виробництва шлаколужних бетонних виробів. У результуючому нормативному документі викладено стандарти для підвищення працездатності та довговічності, гарантуючи, що бетонні суміші відповідають необхідним критеріям ефективності для промислового застосування.

РОЗДІЛ 2. ОПИС АРХІТЕКТУРНО-ПЛАНУВАЛЬНОГО РІШЕННЯ БУДІВЛІ

2.1. Ситуаційний план



Рис. 2.1. Ситуаційний план

Промислова будівля розташована на західній околиці Харкова, по вулиці Молодіжній.

2.2. Об'ємно-планувальне рішення

Промислова будівля має одноповерхове об'ємне планувальне рішення, розроблене з акцентом на максимізацію просторової ефективності та міцності конструкції. Загальна висота будівлі досягає 22,35 метра, що дозволяє створити значний вертикальний просвіт, придатний для різноманітної промислової діяльності, включаючи встановлення великомасштабних машин або обладнання.

Збудована за допомогою каркасного методу конструктивна система будівлі складається з ряду залізобетонних колон. Ці колони розташовані з регулярними інтервалами з відстанню 12 метрів між кожною колоною, яка проходить поздовжньо вздовж 1-10 осей будівлі. Загальна довжина цієї сітки

становить 108 метрів, створюючи міцний каркас, який підтримує всю конструкцію.

Колони підтримують металеві ферми, які простягаються по всій ширині будівлі вздовж осей А-В. Кожна ферма має 36 метрів у довжину, що дозволяє створити великий відкритий внутрішній простір без проміжних опор. Така конфігурація не тільки забезпечує гнучке внутрішнє планування, що сприяє різноманітним промисловим процесам, але й покращує структурну цілісність будівлі шляхом ефективного розподілу навантажень.

Відсутність підвалу спрощує проектування та будівництво будівлі, зменшуючи витрати на земляні роботи та усуваючи можливі проблеми, пов'язані з ґрунтовими водами чи станом ґрунту. Однорівневий дизайн також спрощує переміщення в приміщенні, підвищуючи ефективність робочого процесу та доступність.

Загалом, поєднання високих структурних колон, великих прольотів ферм і чіткого, безперешкодного внутрішнього простору характеризує об'ємно-планувальне рішення цієї промислової будівлі, оптимізуючи його для важких промислових застосувань і майбутньої адаптації.

2.3. Архітектурно-конструктивне рішення

Фундаменти та основи

Фундамент промислової будівлі побудований за системою стрічкового фундаменту, яка призначена для надійної підтримки значних навантажень конструкції. Стрічковий фундамент простягається на глибину 1,4 метра нижче рівня землі, забезпечуючи відповідну стійкість каркасу будівлі. При ширині 1 метр фундамент має достатню ширину, щоб розподілити навантаження будівлі по ґрунту, мінімізуючи осідання та забезпечуючи довговічність.

Стрічковий фундамент особливо добре підходить для геологічних умов ділянки, оскільки місцевість характеризується чорноземом — родючим, суглинистим ґрунтом із чудовими структурними властивостями, які сприяють будівельній діяльності. Глибина фундаменту ретельно підібрана

так, щоб він розташовувався значно нижче межі промерзання, що допомагає запобігти морозному пученню та забезпечує стабільність під час сезонних коливань температури.

Крім того, рівень ґрунтових вод на цій території знаходиться на глибині приблизно 7,5 метрів, що значно глибше рівня фундаменту. Така значна глибина забезпечує сприятливі умови для стрічкового фундаменту, оскільки мінімізує ризик проблем, пов'язаних з водою, таких як гідростатичний тиск або проникнення води, які потенційно можуть поставити під загрозу цілісність менш глибоких фундаментів.

Зовнішні, внутрішні стіни та перегородки

Зовнішні та внутрішні стіни промислової будівлі побудовані із використанням сендвіч-панелей, які забезпечують як структурну цілісність, так і теплоізоляцію. Сендвіч-панелі складаються із зовнішнього шару з оцинкованої сталі, яка забезпечує надійний захист від факторів навколишнього середовища, таких як вологість, корозія та удари. Поверхні з оцинкованої сталі також підвищують довговічність будівлі та не потребують обслуговування, що є особливо вигідним для промислових установок.

Серцевина цих сендвіч-панелей складається з пінополістиролу, легкого та високоефективного ізоляційного матеріалу. Це ядро значно покращує теплові характеристики будівлі, зменшуючи теплообмін і тим самим сприяючи енергоефективності. Використання пінополістиролу також забезпечує хорошу звукоізоляцію, що є вигідним у промисловому середовищі, де шумозаглушення часто є пріоритетом.

Товщина зовнішніх панелей становить 150 мм, що забезпечує міцний ізоляційний бар'єр від елементів, зберігаючи елегантний і сучасний зовнішній вигляд. Внутрішні панелі товщиною 100 мм також виготовлені за типом сендвіча, але трохи тонші, щоб оптимізувати внутрішній простір, забезпечуючи достатню ізоляцію та розділення.

Крім сендвіч-панелей, в деяких приміщеннях в якості перегородок використовуються каркаси з гіпсокартону. Ці перегородки використовуються

в приміщеннях, де потрібне більш гнучке, модульне рішення для стін. Гіпсокартонні перегородки дозволяють легко змінювати конфігурацію та швидко встановлювати, що робить їх ідеальними для створення офісних приміщень, складських приміщень та інших функціональних підрозділів у будівлі.

Покрівля

Покрівля промислової будівлі розроблена таким чином, щоб забезпечити надійний захист від стихії, одночасно забезпечуючи тривалу довговічність та енергоефективність. Покрівельна система складається з кількох шарів, кожен з яких виконує певну функцію для підвищення загальної ефективності конструкції.

В основі покрівельної системи металевий профнастил товщиною 1 мм монтується безпосередньо на металеві ферми, що проходять по ширині будівлі. Цей гофрований металевий лист вибрано через його високе співвідношення міцності та ваги, що дозволяє йому витримувати значні навантаження, будучи відносно легким. Гофрований профіль підвищує жорсткість металу, дозволяючи йому перекривати більші відстані без провисання та забезпечувати стабільну основу для наступних шарів покрівлі.

Поверх профнастилу встановлюються шари тепло- і пароізоляції. Тепловий бар'єр, який часто складається з таких матеріалів, як мінеральна вата чи скловолокно, призначений для мінімізації передачі тепла через дах, сприяючи теплоізоляції будівлі. Цей шар допомагає підтримувати стабільну температуру всередині приміщення, зменшуючи витрати на енергію, пов'язані з обігрівом і охолодженням.

Пароізоляція, яка виготовляється з поліетиленової або бітумної мембрани, запобігає проникненню вологи в покрівельну систему. Це має вирішальне значення в промислових середовищах, де рівень вологості може суттєво коливатися, оскільки запобігає утворенню конденсату в конструкції даху, що в іншому випадку може призвести до корозії металевого настилу або погіршення якості ізоляційних матеріалів.

Зовнішній шар покрівельної системи складається з гумового покриття, яке часто називають етиленпропілендієновий мономер або подібного синтетичного каучукового матеріалу. Ця гума покрівельна мембрана є високоміцною та гнучкою, здатною протистояти екстремальним температурам, ультрафіолетовому випромінюванню та різноманітним погодним умовам, не розтріскуючись і не руйнуючись. Гумове покриття забезпечує безшовне, водонепроникне ущільнення по всій поверхні даху, захищаючи підкладні матеріали від дощу, снігу та льоду.

Вікна та двері

Вікна та двері промислової будівлі розроблені таким чином, щоб доповнювати загальну функціональність та естетичність конструкції, забезпечуючи достатнє природне освітлення, вентиляцію та безпечний доступ, зберігаючи при цьому енергоефективність та довговічність будівлі.

Вікна в будівлі стратегічно розташовані для оптимізації проникнення природного світла у внутрішні простори, покращуючи видимість і зменшуючи залежність від штучного освітлення протягом денного світла. Віконні рами виготовлені з високоміцного алюмінію, який забезпечує чудову стійкість до корозії та вимагає мінімального обслуговування, що робить їх ідеальними для промислових середовищ. Алюмінієві рами також легкі, але міцні, здатні підтримувати великі скляні панелі, витримуючи навантаження від частого використання та впливу стихії.

Склопакети, які використовуються у вікнах подвійні або потрійні, залежно від конкретних вимог до теплоізоляції та звукоізоляції. Ці багатокамерні вікна складаються з двох або трьох шарів скла, розділених інертним газом, таким як аргон або криптон, що значно зменшує тепловіддачу та підвищує енергоефективність будівлі. Скло, що використовується, часто загартоване або ламіноване для додаткової безпеки та довговічності, що зменшує ризик поломки та гарантує, що вікна можуть витримувати удари та вплив навколишнього середовища.

У деяких випадках вікна оснащені покриттям з низьким рівнем випромінювання, тонким металевим шаром, нанесеним на поверхню скла, щоб ще більше зменшити приплив тепла влітку та втрати тепла взимку. Це покриття покращує теплові характеристики вікон без шкоди для видимості, зберігаючи чіткий огляд, одночасно сприяючи загальній енергоефективності будівлі.

Двері промислової будівлі розроблені з урахуванням особливих експлуатаційних потреб промислового об'єкта, забезпечуючи безпечний доступ для персоналу, обладнання та транспортних засобів. Зовнішні двері виготовляються з армованої сталі або алюмінію, матеріалів, вибраних через їх міцність, довговічність і стійкість до зношування. Ці двері часто ізолювані, щоб запобігти втратам тепла та створити бар'єр від зовнішнього шуму, сприяючи тепловим та акустичним характеристикам будівлі.

Для місць, де потрібен великий доступ, таких як вантажні доки або під'їзди для важкої техніки, будівлю обладнують рулонними та секційними підвісними дверима промислового класу. Ці двері виготовляються з міцних сталевих або алюмінієвих панелей і розроблені таким чином, щоб витримувати часте використання та забезпечувати безпечний і легкий доступ для великих транспортних засобів. Двері можуть керуватися вручну або оснащуватися моторизованими механізмами для автоматичного відкривання та закривання, що підвищує ефективність і безпеку в місцях з інтенсивним рухом.

Міжкімнатні двері всередині будівлі включають в себе поєднання масивної деревини, металу або протипожежні двері, залежно від конкретних вимог кожного приміщення. Дерев'яні або металеві двері з твердої серцевини забезпечують додаткову безпеку та звукоізоляцію, тоді як протипожежні двері встановлюються в місцях, де правила пожежної безпеки вимагають посиленого захисту, наприклад, у коридорах або кімнатах, де містяться легкозаймисті матеріали.

Таблиця 2.1. Експлікація віконних отворів

Мар, поз	Найменування	Кількість на поверхі				Маса од., кг.	Приміт-ка
		1	2	3	Всього		
1	ВК1800x1200	19	19	19	57		
2	ВК2100x1200	2	4	4	10		

Таблиця 2.2. Експлікація дверних отворів

Мар, поз	Найменування	Кількість на поверхі				Маса од., кг.	Приміт-ка
		1	2	3	Всього		
Д-1	Д-1	3	3	3	9		
Д-2	Д-2	14	14	14	46		
Д-3	Д-3	10	10	10	30		
Д-4	Д-4				1		
Д-5	Д-5	2			2		
Д-6	Д-6	2			2		

Покриття підлог

Підлогове покриття промислової будівлі розроблено таким чином, щоб забезпечити міцну, пружну та невибагливу в обслуговуванні поверхню, придатну для важкого промислового використання. Основа підлоги цеху виконана зі стяжки із шлакобетону, до складу якого в якості основного заповнювача входить шеберит.

Шлакобетон — вид бетону, до складу якого входить мелений гранульований доменний шлак як часткова заміна звичайного портландцементу. Ця заміна не тільки покращує міцність і довговічність бетону, але також підвищує його стійкість до хімічних впливів, що робить його особливо придатним для промислових середовищ, де вплив агресивних речовин є поширеним явищем. Включення шебериту, типу мінерального заповнювача, відомого своєю високою міцністю на стиск і зносостійкістю,

додатково зміцнює стяжку, забезпечуючи міцну основу, яка може витримувати важкі машини, часті рухи та значні навантаження.

Поверх цієї міцної стяжки наноситься шар наливної епоксидної підлоги, створюючи гладку, безшовну поверхню, яка є одночасно естетично привабливою та дуже функціональною. Епоксидні підлоги відомі своєю довговічністю та стійкістю до широкого спектру промислових факторів, включаючи механічне стирання, хімічні розливи та термічний удар. Епоксидне покриття міцно зчіплюється зі шлакобетонною основою, утворюючи захисний шар, який перешкоджає проникненню вологи та хімічних речовин, зберігаючи тим самим цілісність стяжки, що лежить під ним.

Наливна епоксидна підлога також сприяє безпеці в майстерні, забезпечуючи нековзку поверхню, яку можна налаштувати за допомогою різних текстур або покриттів для покращення зчеплення в різних умовах. Його безшовна природа усуває стики або шви, де можуть накопичуватися бруд і сміття, що спрощує очищення та обслуговування. Крім того, епоксидні підлоги можуть бути розроблені з глянцевою покриттям, щоб відбивати світло, покращуючи видимість і зменшуючи потребу в штучному освітленні, що підвищує енергоефективність.

Зовнішнє і внутрішнє опорядження

Дизайн екстер'єру та інтер'єру промислової будівлі відображає його функціональне призначення, в той же час містить елементи, що забезпечують довговічність, ефективність та безпечне робоче середовище.

Зовнішній вигляд промислової будівлі характеризується сучасним, утилітарним дизайном, який акцентує увагу на функціональності та мінімальному обслуговуванні. Фасад будівлі переважно складається з оцинкованих сталевих сендвіч-панелей, обраних через їх міцність, довговічність і стійкість до корозії. Ці панелі не тільки стійкі до атмосферних впливів, захищаючи будівлю від несприятливих умов навколишнього середовища, але також сприяють загальній теплоефективності конструкції

завдяки своїм серцевинам із пінополістиролу, які забезпечують чудову ізоляцію.

Оцинковані сталеві панелі мають чисте металеве покриття, що надає будівлі елегантної індустріальної естетики, яка є одночасно сучасною та практичною. Панелі розташовуються вертикально або горизонтально, створюючи обтічний вигляд, який підкреслює сучасний дизайн будівлі. Використання високоякісних матеріалів гарантує, що зовнішній вигляд залишається міцним і невибагливим у обслуговуванні, вимагаючи мінімального обслуговування навіть у складних промислових умовах.

Дах, покритий міцним гумовим покриттям, доповнює стійкість фасаду, забезпечуючи водонепроникність і захист від УФ-випромінювання та екстремальних погодних умов. Гумове покриття має темний колір, що може допомогти поглинати й утримувати тепло в холодні місяці, сприяючи енергоефективності будівлі.

Великі, стратегічно розташовані вікна підкреслюють сталевий фасад, дозволяючи природному світлу заливати внутрішні простори, зберігаючи енергоефективність. Ці вікна з міцним алюмінієвим каркасом мають подвійне або потрійне склопакет, що покращує теплоізоляцію будівлі та мінімізує втрати енергії. Вони призначені для забезпечення належної вентиляції, одночасно гарантуючи, що промислові процеси всередині захищені від зовнішнього шуму та погоди.

Інтер'єр промислової будівлі розроблено з акцентом на гнучкість, функціональність і безпеку, задовольняючи різноманітні потреби промислового середовища. Велике, відкрите планування полегшується структурною системою будівлі, яка використовує сітку колон і металевих ферм. Така установка забезпечує величезний безперервний простір, який може вмістити різні типи промислового обладнання та процесів.

Стіни всередині будівлі в основному виготовлені з тих самих сендвіч-панелей, що й зовнішні, але тонші на 100 мм, щоб оптимізувати внутрішній простір, забезпечуючи звуко- та теплоізоляцію. У деяких приміщеннях

гіпсокартонні перегородки використовують для створення офісів, складських приміщень або спеціалізованих робочих зон. Ці розділи пропонують гнучкість, дозволяючи легко змінювати конфігурацію для адаптації до мінливих операційних потреб.

Підлога у всьому інтер'єрі розроблена таким чином, щоб витримувати суворі умови промислового використання. Шлакобетонна стяжка, зміцнена шеберитом, забезпечує міцну міцну основу, здатну витримати важку техніку та високу пішохідну навантаженість. Він покритий наливною епоксидною підлогою, яка створює безшовну нековзку поверхню, яку легко мити та стійку до хімічних речовин, стирання та ударів. Глянцеве покриття епоксидної підлоги покращує яскравість інтер'єру, відбиваючи світло, ще більше зменшуючи потребу в штучному освітленні та підвищуючи загальну енергоефективність.

Що стосується інженерних комунікацій, то внутрішня частина обладнана передовими системами HVAC для забезпечення належної вентиляції та підтримки комфортного робочого середовища навіть у приміщеннях, де використовується обладнання, що виробляє тепло. Система освітлення розроблена для забезпечення достатнього освітлення при мінімізації споживання енергії, часто включає світлодіодні світильники, які стратегічно розміщені для максимального розподілу світла та зменшення відблисків.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

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

13. Вікна та двері: ДСТУ EN 14351-1:2020.
14. Кошторисні норми України. Ресурсні елементні кошторисні норми на будівельні роботи. Оздоблювальні роботи
15. Каналізація. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування: ДБН В.2.5-75:2013.
16. Охорона праці і промислова безпека в будівництві ДБН А.3.2-2-2009: [Чинний від 2012-04-01]. -К: Мінрегіонбуд України, 2012. – 53-54 с. (Національні стандарти України).
17. Організація будівельного виробництва: ДБН А.3.1-5:2016 [Чинний від 2016-01-01]. -К: Мінрегіонбуд України, 2016. – 44-46 с. (Національні стандарти України).
18. Кошторисні норми України «Настанова з визначення вартості будівництва»: [Чинний від 2021-11-09]. -К: Мінрегіонбуд України, 2021. – 44-46 с. (Національні стандарти України).
19. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення: ДБН В.2.6- 98:2009 [Чинний від 2011-01-01]. -К: Мінрегіонбуд України, 2011. – 45 с. (Національні стандарти України).
20. Методичні вказівки до виконання курсового проекту “Монтаж будівельних конструкцій”, Суми, СНАУ, 2008.
21. Довідково-інформаційний збірник ресурсів та одиничних розцінок на будівельно-монтажні роботи, Суми, СНАУ – 2011 р.
22. Нормування праці та кошториси в будівництві. Суми -«Мрія – 1», 2010, 452 с.
23. Методичні вказівки до виконання курсового проекту “Монтаж будівельних конструкцій” Суми, СНАУ, 2008.
24. Організація будівельного виробництва (посібник для розробки курсових та дипломних проектів). Суми, СНАУ, 2011, 125 с.