

Міністерство освіти і науки України
Національний університет «Полтавська політехніка
імені Юрія Кондратюка»
Навчально-науковий інститут архітектури, будівництва та землеустрою
Кафедра будівництва та цивільної інженерії

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної магістерської роботи

на тему: **«Легкі бетони для виготовлення стінових
виробів з використанням золошлаків»**

Виконала: А.Я. Бурлай

студентка групи 601-мБТ
спеціальності 192 – будівництво
та цивільна інженерія,
ОП «Технології будівельних
конструкцій, виробів і матеріалів»

Керівник О.В. Демченко

Завідувач кафедри О.В. Семко

Полтава 2026

ЗМІСТ

ВСТУП	5
РОЗДІЛ 1 ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД	8
1.1 Історія використання зол та шлаків	8
1.2 Класифікація золошлакових відходів	12
1.3 Золи та шлаки як компонент будівельних розчинів та бетонів	24
1.4 Основні напрямки використання зол і шлаків для отримання гідравлічних в'язучих речовин і бетонів	30
1.5 Легкі бетони на основі використання золошлаку	39
РОЗДІЛ 2_МЕТА РОБОТИ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕНЬ.	41
РОЗДІЛ 3_МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ	43
3.1 Визначення технічних характеристик вихідних матеріалів:	43
3.2 Математичне планування експерименту	43
3.3 Підбір складу суміші	46
3.4 Методика виготовлення зразків	48
3.6 Випробування	49
РОЗДІЛ 4_ХАРАКТЕРИСТИКА ВИХІДНИХ МАТЕРІАЛІВ	50
4.1 Тонкість помелу цементу	50
4.2 Нормальна густина цементу	50
4.3 Марка за міцністю на стиск	50
4.4 Насипна густина золошлаку	51
4.5 Істина густина золошлаку	51
4.6 Модуль крупності золошлаку	52
4.7 Вода	52
РОЗДІЛ 5_АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ	54
5.1 Підготовка до випробування	54
5.2 Міцність зразків при стиску	55
5.3 Визначення густини зразків	67
5.4 Визначення водопоглинання зразків	67
РОЗДІЛ 6_ОХОРОНА ПРАЦІ	69
6.1 Аналіз шкідливих і небезпечних факторів, які діють на працюючих	69

6.2 Надання першої медичної допомоги при дії різних шкідливих і виробничих факторів	77
6.3 Протипожежні заходи	80
6.4 Розрахувати штучне освітлення цеху методом коефіцієнта використання світлового потоку	82
6.5 Розрахувати штучне заземлення в електроустановках напругою до 1000 В методом коефіцієнта використання електродів	84
РОЗДІЛ 7_ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ДОСЛІДЖЕНЬ.	87
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	89

ВСТУП

В Україні значна частка потужності з виробництва електроенергії зосереджені на теплоелектростанціях (ТЕС), а золошлакові відходи (ЗШВ), що утворюються при цьому, є цінним вторинним ресурсом для будівельної галузі, що допомагає зменшити навантаження на екологію та зберегти природні ресурси. Зола — це негорючий мінеральний залишок, що утворюється в результаті повного згоряння палива. Вона складається здебільшого з мікроскопічних склоподібних частинок гладкої кулястої форми, часто порожнистих усередині, діаметром менше 0,075 мм. В бурому вугіллі України вміст золи – 15-23 %, в кам'яному – 18–30 %. Це - ефективна добавка для будівельних розчинів і бетонів, поштучних виробів, у виробництві монолітного та збірного бетону.

Виробництво бетонних блоків з використанням штучних заповнювачів (золи та шлаку) приблизно на 25% дешевше, ніж з використанням природних заповнювачів. Зола може також використовуватися як компонент шихти для виготовлення портландцементу. Золошлакова цегла на 1/3 легша і міцніша від глиняної, а затрати на її виробництво на 25-30% менші.

Одним із найзолосмішших напрямків у виробництві будівельних матеріалів є виготовлення керамічної цегли, каменів і блоків. Зола й шлаки використовуються як сировинний компонент і як добавка (5 – 20%) на багатьох цегельних заводах. На цегельних заводах за рахунок використання золи заощаджується до 20% палива. Шлак представлений нелеткими неорганічними сполуками з розміром часток більше 1 мм.

Аналіз придатності пустих порід для вторинної переробки показує, що найбільшу частку (70%) можна застосувати в дорожньому будівництві. Менші обсяги підходять для цементного виробництва (24%), виготовлення щебеню (30%), кераміки (16%) та силікатної цегли (10%). Актуальною проблемою залишається вкрай низький рівень їх фактичного використання — менше 5%. [1].

Незважаючи на широку відомість методів утилізації золи, наразі лише близько 10% цього матеріалу використовується у виробництві будівельних матеріалів. Між тим, золошлакові відходи є цінною сировиною для виготовлення різноманітної продукції: від панелей з покращеною звукоізоляцією та керамічної плитки до спеціалізованих в'язучих матеріалів, стінових блоків та цементів різних марок (золошлакогіпсобетон, керамзитозолобетон, пінозолобетон, золосилікатна цегла тощо).

Ситуація в Україні до війни критична: щорічно теплоелектростанції генерували 15–16 млн тонн золошлаків, а сукупний обсяг накопичених відходів становить понад 220 млн тонн. Питома вага переробки золи в країні коливається в межах 10–14%, що значно відстає від європейських та світових лідерів. Для порівняння, у США цей показник близько 20%, у Великій Британії становить 60%, а у Франції доходить до 72%, а у Фінляндії досягає 84%. У структурі твердих промислових відходів металургійного комплексу шлаки займають домінуючу позицію — 80%. Щорічно доменне та сталеплавильне виробництва України продукують близько 30 млн тонн цих відходів (що співставно з обсягами виплавки чавуну та сталі у 2021 році — 26,4 млн т та 33,5 млн т відповідно). Характерно, що ступінь використання металургійних шлаків є дуже високим — 90–93%.

Ситуація з відходами теплоенергетики потребує негайного вирішення. Загострення економічних та екологічних проблем спонукає до пошуку інноваційних, низькоенергоємних технологій переробки зол і шлаків ТЕС. Мета цих розробок — досягти максимального рівня утилізації та отримати будівельні матеріали, що відповідають санітарним нормам. На сьогоднішній день, хоча відходи ТЕС і застосовують для виробництва в'язучих речовин та бетонів, загальний відсоток їхньої переробки залишається незадовільним. Типова частка золи в кінцевих продуктах не перевищує 25–35% маси. Це пов'язано з тим, що існуючі технології часто ігнорують специфічні особливості складу та структури

сировини, покладаються на традиційні методи переробки та не дозволяють ефективно використати всі властивості матеріалу.

Аналіз практичного використання золи-виносу свідчить про її багатоцільову роль у структурі бетонних розчинів. Високий вміст золи в суміші забезпечується не лише технологічною активацією, а й здатністю цього компонента заміщувати різні складники бетону. Проте надмірна концентрація золи може призвести до розпушення структури та сповільнення гідратації, що знижує здатність матеріалу протистояти агресивним середовищам та циклам заморожування. Для корекції цих властивостей доцільно застосовувати багатокомпонентні модифікатори. Вони дають змогу оптимізувати розподіл пор та прискорити твердіння, що зрештою гарантує високу експлуатаційну надійність виробів.

Відповідно до актуальних світових тенденцій, композиційні цементи набувають все більшого значення і розглядаються як заміна портландцементу. В центрі уваги — розробка в'язучих систем, що містять обмежену кількість портландцементного клінкеру (до 20 мас.%). Алюмосилікатна природа золи робить її ідеальним основним компонентом для будівельних матеріалів, зокрема для виробництва легких бетонів. Таким чином, відходи енергетики слід розглядати не виключно як негативний екологічний фактор, а як потенційне джерело сировини для отримання широкої номенклатури будівельних матеріалів. [2].

Враховуючи зазначене, актуальною є розробка концепції максимального використання потенційних можливостей зол та шлаків як сировини для отримання таких будівельних виробів і матеріалів, що за своїми характеристиками не поступаються за якістю та властивостями традиційним аналогам і мають переваги з екологічної та економічної точок зору.

РОЗДІЛ 1

ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД

1.1 Історія використання зол та шлаків

Завдяки дослідженням низки вітчизняних та іноземних науковців, зокрема Глуховського В.Д., Кривенка П.В., Пушкарьової К.К., Гоца В.І., Чиркової В.В., Волженського А.В., Сергєєва А.М., Сіверцева Г.Н., Рябової А.Г., Плохія В.П., Паломо А., Фернандо-Хіменеса А., Райнера М. та інших, було визначено ключові фактори, що мають вплив на формування структури та властивостей штучного каменю із застосуванням зол. В літературному огляді розглянуто: історія використання зол та шлаків, класифікація золошлакових відходів, про золи та шлаки як компонент будівельних розчинів та бетонів, основні напрямки використання золи і золошлаків для отримання неорганічних в'язучих речовин і бетонів.

Золи та шлаки є результатом високотемпературних процесів взаємодії вихідних компонентів, таких як паливо, руда, плавники та газове середовище. Попри наявність численних цінних якостей, ця сировина тривалий час повільно впроваджувалася у широке застосування в будівельній індустрії. Сьогодні ж із шлаку зводять багатоповерхівки, промислові об'єкти, мости й дамби, а також прокладають автостради в багатьох регіонах. Таким чином, цей матеріал перетворився з обтяжливого відходу на визнану будівельну сировину.

Історія використання доменного шлаку почалася ще у 1589 році в Німеччині, де з нього виготовляли гарматні ядра. У будівельній сфері його почали застосовувати значно пізніше — лише у XVIII столітті. Тоді з розплавів відливали плити для сходів та бруківку. У Швеції литі шлакові блоки навіть замінювали цеглу при будівництві верхніх частин доменних печей. Переважно відвальний шлак використовували як замітник щебеню в дорожньому будівництві. Нині ж унікальні властивості шлаків продовжують привертати підвищену увагу вчених та фахівців з усього світу до розширення сфери їх застосування в будівництві.

У багатьох країнах світу для координації використання шлаків у будівництві створено спеціалізовані установи, часто на базі металургійних підприємств. Прикладами є Національна шлакова асоціація (США та Канада), Технічна асоціація з вивчення та використання доменних шлаків (Франція) та Британська асоціація шлаку (Англія). Підходи до організації переробки шлаків різняться залежно від специфічних умов кожної країни. Особливо ефективною визнано діяльність Національної шлакової асоціації США, яка фактично створила індустрію переробки цього матеріалу та домоглася визнання шлаків мінеральною сировиною.

У США, Англії, Німеччині та Франції металургійні шлаки з повітряним охолодженням переважно переробляють на щебінь. Його використовують як баласт для залізниць, а також як заповнювач при будівництві аеродромних покриттів та автомобільних доріг. Асфальтобетонні покриття з додаванням шлакового заповнювача демонструють високу міцність, стійкість до стирання, відмінне зчеплення та відсутність деформацій зсуву. Вся продукція, отримана шляхом переробки шлаків, є економічно вигідною.

Серед промислових відходів золи та шлаки від спалювання твердого палива (вугілля, сланці, торф) на теплових електростанціях займають одне з провідних місць за обсягами. Величезні маси цих відходів накопичуються у відвалах, займаючи цінні земельні ресурси. Водночас численні наукові дослідження та практичний світовий досвід підтверджують можливість ефективного використання зол та шлаків ТЕС для виробництва різноманітних будівельних матеріалів.

- Технології використання золошлакових відходів є найбільш перспективними у таких виробничих процесах:
- у виготовленні портландцементу (як активні кремнеземисті компоненти) в використовують 10-15 відсотків, у виробництві пуцоланових портландцементів марок 300-400 – до 30-40 % (золошлаку);

- при виготовленні будівельних розчинів – як активна добавка у кількості 10-30 % від маси цементу, при використанні в будівельних розчинах портландцементу високих марок (400-500) застосування пилоподібної золи може скоротити його витрати до 30 %;
- в якості активного мікронаповнювача у важких бетонах, що дозволяє знизити витрату цементу від 6-10 %у бетонах нормального тверднення до 12-25 %у пропарюють;
- у виробництві силікатної цегли;
- в жаростійких бетонах – в якості наповнювача замість шамотного порошку, що істотно знижує собівартість таких бетонів;
- при виготовленні зольного і аглопоритового гравію;
- у виробництві дрібнозернистого золобетона і виробів на його основі, в якості дрібної фракції легких бетонів на пористих заповнювачах щільною і поризованої структури;
- в якості сировинних матеріалів для дорожньої промисловості;
- використання золошлакових відходів з підвищеним вмістом часток незгорілого палива у виробництві глиняної цегли, що не тільки покращує його якість, а й знижує витрату технологічного палива на випал.
- для виробництва легких бетонів.

Одні з головних утилізаторів паливних зол і шлаків – будівельники доріг. Спостереження за дослідними ділянками доріг, побудованими в різний час у нашій країні і за кордоном, підтверджують можливість використання золи у всіх шарах підстав дорожніх покриттів для будь-якої транспортної навантаження. Дорожнє покриття з використанням зол і шлаків отримують достатньо міцним, морозостійким та довговічним. Стабілізовані з використанням портландцементу і золи матеріали продовжують добирати свою міцність з збільшенням часового проміжку.

Зарубіжний і вітчизняний досвід показує перспективність використання золошлакових сумішей для вертикального планування міських територій,

освоюваних для нового будівництва. За санітарно-гігієнічних характеристик і фізико-хімічними показниками в ряді випадків золошлакові відходи можуть служити повноцінною заміною традиційному матеріалу відсіпки – річковому піску.

Економічний ефект від використання в плануванні золошлакових відходів буде полягати в економії піску, заміщенні частково цементу, відмову від будівництва нових золошлаків, в економії капітальних вкладень.

Розглядаючи ключові властивості шлакопортландцементу, можна помітити, що завдяки його зниженому тепловиділенню під час тужавлення та малій усадці, цей матеріал ефективно підходить для гідротехнічних бетонних споруд.

Однак через нижчу морозостійкість шлакопортландцемент не рекомендується використовувати в бетонних та залізобетонних конструкціях, які регулярно піддаються циклам поперемінного замерзання/відтавання або зволоження/висихання. Шлаки дуже економічні, у порівнянні з деякими природними матеріалами, розглянемо, шлаковий щебінь який 1,5-2 рази дешевше природньої сировини і потребує в 4,5 рази менше капітальних вкладень. Використання шлакової пемзи, економічніше та дешевше в 3 рази керамзиту і потребує в 1,5 рази менше питомих капітальних вкладень. І таких прикладів дуже багато.

Відомо, що в даний час основна маса золи, що застосовують в будівельній галузі, в основному, у виготовленні цементу, цегли, матеріалів з пористого і легкого бетону, шлакоблоків, керамзиту, легких заповнювачів в будівництві дамб золошлаковідвалів, будівництві та ремонті доріг. Застосування зол і шлаків ТЕС в якості будівельних матеріалів є найбільш масштабним напрямком і може вирішити проблему дефіциту будматеріалів у різних регіонах. За рахунок застосування золошлаку зменшується до 30% витрата цементу і більше половини природних сировинних заповнювачів, що призводить до зниження теплопровідності бетонів та зменшення матеріалосмності споруд [3].

Безліч технологічних підходів застосування шлаків зараз в процесі розвитку та досліджень, тому для інженерів технологів будівельної галузі існує велике поле для діяльності.

1.2 Класифікація золошлакових відходів

На сьогоднішній день не існує єдиної універсальної класифікації золошлакових відходів. Перша спроба систематизувати золу була зроблена в 1953 році під час розробки стандарту ASTM (С 350-54Т). Пізніше, у 1960 році, виникла пропозиція розглядати золу як пуцоланову добавку. Врешті-решт, у 1968 році природні пуцолани та золи були об'єднані в один стандарт ASTM С 618 під узагальненою назвою «мінеральні добавки» [4].

За даними [5], відходи енергетичної промисловості можуть бути класифіковані за такими ознаками:

- За джерелом утворення (тонкодисперсна зола-винесення, кускові шлаки і мінеральна порода, яка залишається при збагаченні вугілля);
- За видом твердого палива: відходи, отримані при збагаченні і спалюванні бурого і кам'яного вугілля, антрациту, горючих сланців і торфу;
- За вмістом незгорівших вуглецевих частинок(НВЧ): з малим (до 5 мас.%), середнім (5...20 мас.%) і високим вмістом (більше 20 мас.%)
- За гранулометричним складом: на кускові (розмір шматків 80...300 мм), грубозернисті (6...13 мм); середньозернисті (3...6 мм), дрібнозернисті (1 ... 3 мм) і тонкодисперсні (1...120 мкм);
- За хімічним складом: на відходи з високим вмістом кислотних оксидів і лугів, з великим вмістом оксидів алюмінію і кремнію, з великим вмістом оксидів кальцію, магнію і сірки;
- За ступенем плавкості: на тугоплавкі - температура плавлення більше 1450°С; середньоплавкі - температура плавлення 1250...1450° С; легкоплавкі - температура плавлення менше 1250 ° С.

Ця класифікація є досить узагальненою і вимагає додаткової уточнюючої інформації при виборі золи як компонента в'язучих систем і бетонів. В основу класифікації золошлакових відходів, покладено принцип генезису. Відповідно до цієї класифікації золи відносять до третьої групи матеріалів, отриманих шляхом твердофазових реакцій що отримані при взаємодії твердих фаз з розплавами [6].

По виду використовуваного вугілля що спалюється золи поділяють:

- Антрацитові, що утворилися при згоранні антрациту, напівантрацити і пісного кам'яного вугілля (А);
- Кам'яновугільні, що утворюються при згоранні кам'яного, але не пісного вугілля (КУ);
- Буровугільні, утворилися при згоранні бурого вугілля (Б).

Золи класифікуються на висококальцієві ($\text{CaO} > 20\%$ за масою) і низькокальцієві ($\text{CaO} < 20\%$ за масою). Для висококальцієвих основниміє кристалічні фази, а для низькокальцієвих - скло і аморфізованих глиниста речовина. Висококальцієві золи ділять на низькосульфатні ($\text{SO}_3 < 5\%$ за масою), Отримані при випалюванні вугілля і торфу, і сульфатні ($\text{SO}_3 > 5\%$ за масою), що одержані при випалюванні сланців.

Зола Донецького і ряду інших басейнів містить в основному не більше 8 ... 10% CaO . Висококальцієва зола з вмістом CaO 15 ... 40% утворюється при спалюванні кам'яного і бурого вугілля басейнів Середньої Азії, торфу та горючих сланців. У золі, отриманої при спалюванні сланців, зміст CaO може становити 60% [7].

Вміст золи в продуктах спалювання антрацитового кам'яного і бурого вугілля знаходиться в межах 15 ... 50%, сланців – 5...80%, торфу – 2...30%, дерева - 1%, рослинного палива інших видів – 3...5%, мазуту - до 0...2%.

Згідно з даними [6, 7], золошлакові відходи можуть бути класифіковані за модулем основності на основні ($M_o > 0,9$), кислі ($M_o = 0,6...0,9$) і надкислі ($M_o < 0,6$).

Гранулометричний склад золи коливається в широких межах: розміри зерен 1...200 мкм. У золі-винесення вміст фракції більше 85 мкм зазвичай не перевищує 20%. Приблизно 50% часток золи мають розміри 30...40 мкм. Більш великі фракції золи утворюються при підвищеному вмісті мінеральної складової палива оксидів - плавнів, наприклад Fe_2O_3 . Дисперсність золи обумовлюється від тонкості помелу пилеподібного палива. Важливим фактором є тип колектора для збору золи. Найбільш дисперсна зола вловлюється електрофільтрами.

За величиною дисперсності, яка може бути оцінена за величиною питомої поверхні, золи ділять на тонкодисперсні ($S_{шт} = 200...400 м^2/кг$) і грубодисперсні ($S_{шт} < 200 м^2/кг$), а в залежності від їхньої насипної щільності - на легкі ($\rho < 800 кг/м^3$); середньої щільності ($\rho = 800 ... 1000 кг/м^3$) і важкі ($\rho > 1000 кг/м^3$).

Згідно ДСТУ Б В.2.7-205:2009 «Зола-винесення теплових електростанцій для бетону», обумовлене їхнім хімічним складом розрізняють:

- Кислі золи (К) – ще в основному антрацитові, кам'яновугільні і буровугільні, що містять СаО до 10 мас.%;
- Основні золи (О) - буровугільні, які містять СаО більше 10 мас.%.

Основними показниками, за якими визначають придатність золи для використання при виготовленні будівельних матеріалів різного призначення, є: зміст СаО, MgO (до 5 мас.%), Сульфатних сполук у перерахунку на SO₃ (3 ... 5 мас.%); вміст лужних оксидів (до 3 мас.%), втрати при прожарюванні (10 ... 25 мас.%), питома поверхня золи (250 ... 300 м² / кг) і залишок на ситі № 008 (15 ... 30 мас.%).

До того ж чинним стандартом не враховується мінералогічний склад золи і вміст склоподібної фази, Показники, що, в основному, і визначають пуцоланові і гідралічні властивості золи.

Відомі у світі класифікації золи засновані на американському стандарті ASTM C 618. Країни Європи працюють за загальним стандартом EN 450.

Південна Африка та Азія також мають стандарти, подібні ASTM C 618. Американський стандарт ASTM C 618, як і канадський Can 3-A 23.5-M 86,

базується на класифікації золи за джерелом її отримання і за хімічним складом. За цими критеріями золи діляться на категорію F (отримують при випалюванні антрациту і бітумізованого вугілля) і категорію C (отримують при випалюванні малобітумізованого вугілля). За хімічним складом до категорії F відносять золи з вмістом оксидів ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$) > 70 мас.%, А для золи категорії C сума даних оксидів повинна бути більше 50 % за масою.

Відповідно до сучасних наукових уявлень, класифікація золи повинна враховувати не лише джерела її походження та наявність певних оксидів у складі, але й загальний вміст оксиду кальцію [8]. Згідно з даними джерела [9], золи рекомендовано поділяти на три категорії залежно від вмісту CaO: низьку, середню та високу (табл. 1.1).

Таблиця 1.1 Класифікація золи по вмісту оксиду кальцію

Тип золи	Вміст оксиду кальцію, мас.%
F	<8
C1	8 ... 20
CН	> 20

За вищевказаною стандарту не введено також додаткові вимоги до фізичного і хімічного складу золи-винесення, за винятком втрат при прожарюванні: для золи типу Р не більше 8 мас.%, C1 <6 мас.%, CН <12 мас.% і CН <6 мас.% для типу С.

Ідея класифікації продуктів спалювання вугілля на основі вмісту оксиду кальцію не є новою, адже присутність CaO суттєво впливає як на хімічний, так і на мінералогічний склад золи. Це, зокрема, позначається на прояві її гідралічних і пуцоланових властивостей при додаванні до бетонної суміші. Маккартні Ж.І. з колегами [10] запропонували розподілити золи на три групи, виходячи з вмісту CaO в діапазоні від 10 до 20 мас.%, оскільки ця концентрація впливає на характер алюмосилікатної та кристалічної фаз золи.

Геологія паливних зол і шлаків визначає їх хімічну активність, зумовлену структурою як кристалічної, так і склоподібної фаз. Низькокальцієві золи містять переважно алюмосилікатне скло з різним за складом та вмістом заліза та інертні кристалічні фази (кварц, муліт, магнетит, шпінель) [8, 10].

Висококальцієві золи містять, поряд з аморфізованою фазою алюмосилікатного складу, також кальцієвмісні кристалічні продукти, такі як C_2S , C_3A , $C_3A \times CaSO_4$, $CaSO_4$, CaO [8].

Вміст різної кількості CaO впливає на модифікацію складу як аморфної (склоподібної) фази, так і кристалічних сполук, що утворюються, а також на інтенсивність прояву гідравлічних і пуцоланових властивостей матеріалу.

Низькокальцієві золи класифікуються як речовини з вираженими пуцолановими властивостями, гідравлічні властивості яких мінімальні.

Висококальцієві золи демонструють як пуцоланові, так і гідравлічні властивості, що пояснюється наявністю у їхньому складі відповідних силікатних, алюмосилікатних та сульфатних сполук кальцію. [8,10,11].

Основним показником золи, як активної мінеральної добавки, є її пуцолановий і гідравлічна активності. Пуцоланова активність пов'язана з хімічною взаємодією оксидів кремнію та алюмінію з гідроксидом кальцію, який виділяється при гідролізі клінкерних мінералів з утворенням та вмістом гідросилікатів і гідроалюмінатів кальцію. В основному склоподібна фаза сприяє гідратації золи, а кристалічна є практично інертною. Гідравлічна активність золи пов'язана з наявністю в її складі таких сполук, як вільна вапно або ангідрит, здатних реагувати з водою з утворенням водостійкого штучного каменю без введення додаткових активізаторів.

Класифікація золошлакових відходів різного походження, які можуть застосовуватися як основна сировина або добавка у виробництві будівельних матеріалів, має ґрунтуватися не на джерелі їх утворення (виді палива), а на їхньому фактичному хімічному та мінералогічному складі (у тому числі наявність вільного CaO) і пов'язаний з цим характер структури з урахуванням

ступеня кристалізації новоутворень і ступеня полімеризації кремнеземистого складової.

Згідно з даними [12], для золи, яка не містить вільний вуглець, проаналізовано співвідношення між оксидами в золі і відзначено зменшення суми оксидів ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$) при збільшенні кількості CaO . Також можливе зменшення суми названих оксидів при збільшенні кількості Fe_2O_3 .

Можливі зміни співвідношення між різними оксидами для різних видів золи наведено в табл. 1.2, причому золи з високим вмістом вільного вуглецю характеризуються низьким вмістом $\text{CaO} < 4$ мас.% І навпаки, для висококальцієвих зол ($\text{CaO} > 10$ мас.%). Відмічено майже повна відсутність вільного вуглецю (табл. 1.2).

Таблиця 1.2 Вміст оксидів в різних видах золи

Типи золи	Вміст оксидів, мас.%		
	CaO	Fe ₂ O	SiO ₂ + Al ₂ O ₃
Низькокальцієві	<4	6...35	10...90
Середньокальцієві	4...20	6...25	40...70
Висококальцієві	>20	6	40...65

Для оцінки реакційної здатності золи, отриманої за різними технологіями спалювання палива, запропоновано декілька критеріїв класифікації:

- по пуцолановій активності, що відбиває взаємодію золи з гідроксидом кальцію $\text{Ca}(\text{OH})_2$ в присутності води, а також реакцію з деякими натрій-кальцієвими компонентами [12];
- по вапняному індексом, який визначається як відношення вмісту оксидів кальцію до суми інших оксидів [10].

Для флюїдальної золи або золи «киплячого шару» прояв гідралічних властивостей є більш ймовірним, ніж пуцоланових, завдяки наявності вільного оксиду кальцію.

У той же час наявність аморфізованих алюмосилікатів, кількість яких перевищує 50 мас.% У складі золи, також обумовлює деяке прояв пуцоланової активності. Досить активним компонентом є ангідрид CaSO_4 , екзотермічно реагує з водою.

За даними [13], існуючі методи випробування золи на пуцоланову активність (по ASTM 618) є недостатньо коректними, оскільки отримані результати не завжди відповідають її поведінці в бетоні (особливо при тривалому твердінні).

Пуцоланова активність визначається ступенем хімічної взаємодії золи з цементом і може змінюватися в залежності від джерела отримання золи або від виду використовуваного палива, а також від технології його спалювання.

Таким чином, класифікація золовмісних відходів, що утворюються при використанні різних технологій спалювання палива тільки по пуцоланової активності не відображає повною мірою прояву всіх властивостей золи і вимагає залучення вапняного індексу, який дозволяє оцінити гідравлічні властивості золи.

Разом з тим, за даними [9], для золи з вмістом $\text{CaO} < 4$ мас.%. Цей індекс не є чутливим, оскільки при його визначенні не враховується природні речовини.

Вапняний індекс може бути представлений як відношення кількості оксидів кальцію до суми оксидів, що входять до складу аморфної (склоподібної) фази. Цей показник є досить ефективним при оцінці якості золи (з точки зору прояву її гідравлічної активності в бетоні під час його твердіння). Зміни хімічної активності золи за рахунок різного змісту CaO призводять до відповідної зміни величини вапняного індексу, і в такій формі даний показник може бути використаний для оцінки реакційної здатності золи при її введенні в бетонну суміш.

Авторами [14] запропонована методика оцінки гідравлічної активності золи, заснована на результатах мікроколориметричних досліджень високо-дисперсної золи. Активність золи визначається за величиною змочування в

полярних і неполярних рідинах, питомої поверхні та іншим характеристикам, що дозволяє оцінити рівень вільної енергії золи.

При класифікації золи (крім обліку наявності кількості CaO) також слід акцентувати увагу на змісті НВЧ (незгорілі вуглецеві частки), Fe₂O₃, і величиною співвідношення оксидів SiO₂ / Al₂O₃.

Запропонована авторами [12] класифікація золи по вищевказаним критеріям (Показниками хімічного і мінералогічного складів) наведена в табл.1.3

Таблиця 1.3 Класифікація золи за даними

Тип золи	SiO ₂ / Al ₂ O ₃	CaO, мас.%	C, мас.%	Fe ₂ O ₃ мас.%	Вид використаного палива
алюмосилікатне	>2	<4	0...16	4...35	бітумізоване вугілля
Силіко-алюмосилікатне	1...2	4...20	<4	5...25	Малобітумізоване і бітумізоване вугілля
Кальцієве	<2	>20	<1	6...10	Малобітумізоване вугілля

Залежно від змісту НВЧ, золи ТЕС ділять на шість категорій, %: 1) до 5; 2) 6 ... 10; 3) 11 ... 15; 4) 16 ... 20; 5) 21 ... 25; 6) більше 25 .

Крім головних оксидів, що визначають склад і структуру золи, також потрібно враховувати наявність і другорядних оксидів, які мають визначальний вплив на можливі області застосування відходів при виготовленні різних будівельних матеріалів.

Наприклад, при використанні золи як компонента портландцементний в'язучих систем потрібно враховувати вміст у її складі лужних оксидів (R₂O <1,5 мас.%), Оскільки при наявності реакційно здатного заповнювач можливе виникнення внутрішньої лужної корозії бетону, яка супроводжується розширенням і руйнуванням бетону [13].

Також відома залежність між ставленням K₂O/ Al₂O₃ і процентним вмістом аморфних алюмосилікатів. Оскільки останні беруть участь у пуцоланових

реакціях, то автори запропонували це відношення, помножене на 10, використовувати як пуцолановий потенційний індекс (ППІ) [9].

Згідно з результатами випробувань [10,15,16], застосування висококальцієвих зол сприяє збільшенню міцності бетону, але може негативно відбитися на його сульфатостійкості і призвести до розвитку лужної корозії.

При дослідженні сульфатостійкості бетонів з виконистанням золи [17] запропоновано фактор сульфатостійкості R , рахується по 1.1:

$$R = \frac{CaO^{*-5}}{Fe_2O_3} \quad (1.1)$$

**Для розрахунку кількість оксидів беруть в мас.%.*

Якщо $R < 1,5$, то золу можна використовувати для приготування бетонної суміші, отриманий бетон буде сульфатостійкий.

Metha P.K. [18,19] при дослідженні сульфатостійкості золосодержащих цементів зазначав, що агентами, визиваючими розширення і подальше руйнування бетону, є гідрат-аніони алюмінію, які разом з сульфат-аніонами і $Ca(OH)_2$ призводять до втрати міцності бетону.

За даними [17], в цементно-зольних композиціях відношення активного Al_2O_3 до сульфатів визначає показник їх сульфатостійкості. Якщо це відношення є високим, то в складі продуктів тверднення переважно має місце утворення моносульфат і гідроалюмосилікат кальцію, які при наступному зануренні в сульфатні розчини будуть перетворюватися в етрінгіт, приводячи до розширення бетону.

При надлишку сульфат-аніонів в в'язкої системі етрінгіт буде утворюватися як стабільна гідратна фаза, і при зануренні таких композицій у сульфатний розчин подальше розширення бетону не буде таким небезпечним.

За даними [11], зниження ефекту розширення бетонів на основі висококальцієвої золи може бути досягнуто завдяки лужно-кремнеземистим

реакціям, тобто при використанні бетонів на основі реакційноздатного заповнювача.

ASTM 3 1012 при оцінці сульфатостійкості бетонів з різним вмістом золи (20...40 мас.%) обмежує рівень її використання для цементів з високим вмістом C_3A (> 5 мас.%).

Нізькокальцієві золи забезпечують, як правило, отримання матеріалів високої сульфатостійкості, а золи з середнім вмістом CaO - матеріалів з помірною сульфатостійкістю [11].

За вимогами «ACI 232» золи, що містять < 15 мас.% CaO , підвищують сульфо-гостійкість бетонів, а золи, вмістять > 15 мас.% CaO , перед їх використанням повинні бути попередньо досліджені згідно з існуючими методиками [19].

Ковальський В. П. [20] запропонована класифікація золошлакової сировини, заснована на встановленні зв'язку між речовим і фазовим складом, а також процесами твердіння золи у складі в'язучих речовин. Головним показником класифікації запропоновано використовувати коефіцієнт основності золи, визначається за формулою 1.2:

$$K_{осн} = \frac{(CaO + 0,93MgO + 0,6R_2O) - (0,55Al_2O_3 + 0,35Fe_2O_3 + 0,7SO_2 + 1,27CO_2)}{0,93SiO_2} \quad (1.2)$$

Класифікаційним ознакою В. П. Ковальський також вважає співвідношення оксидів Al_2O_3/SO_3 , яке визначає можливість утворення в процесі твердіння в'язучих, що містять золу, гідроалюмінатів і гідросульфоалюмінатів кальцію.

За величиною коефіцієнта основності виділено 4 групи золошлакового сировини: високо-, середньо-, нізькокальцієві і алюмосилікатні шлаки і золи. Крім того, кожна група розділена на дві підгрупи, які характеризуються різним ставленням оксидів Al_2O_3 / SO_3 , (високо- і низькосульфатні).

Відповідно до цієї класифікації виділені висококальцієві сульфатні золи ($K_{осн} = 1...2,4$; $Al_2O_3/SO_3 = 1,1 \dots 2,2$), що містять фази, здатні до гідратаційного

тверднення (CaSO_4 , C_2S , CaO , шлакове скло геленітового складу), і тому не потребують введення активаторів при використанні їх як в'язучих речовин.

Висококальцієві низькосульфатні золи ($\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SO}_3 = 2,5\dots 7,7$), як правило, вимагають застосування сульфатної активації.

Виділення в окрему групу середньокальцієвих зол ТЕЦ ($K = 0,4\dots 1$) пов'язане з необхідністю використання сульфатної або лужноземельних активації.

Лужноземельних активація особливо ефективна для золи з $K < 1$, використання якої доцільно в якості гідравлічної добавки до цементу за умови обов'язкового додаткового її подрібнення до питомої поверхні понад $300 \text{ м}^2/\text{кг}$.

Таким чином, цей показник, по суті, визначає необхідність лужноземельних активації золи і відображає спрямованість конструктивних процесів при гідратації і твердінні в'язучих систем. Порівняння відомих підходів до класифікації золошлакової сировини свідчить про відсутності єдиного критерію оцінки якості, який враховував би характеристики його складу, структури і властивостей, особливо при застосуванні золи в якості добавок або як компонента сумішей при виготовленні будівельних матеріалів, які тверднуть в результаті протікання процесів гідратації або твердофазового спікання.

Процес розмелювання золи з низьким вмістом кальцію потребує менше енергоресурсів, ніж аналогічна обробка портландцементу чи шлаку. Така особливість зумовлена специфічною будовою зольних частинок, що мають виражену внутрішню пористість. Зокрема, зерна можуть бути представлені порожнистими мікросферами (ценосферами) або складнішими утвореннями — плеросферами, всередині яких містяться дрібніші сферичні елементи (рис. 1.1 а). Загалом, частки низькокальцієвої золи-винесення мають сферичну форму з внутрішніми порожнинами (рис. 1.1 б).

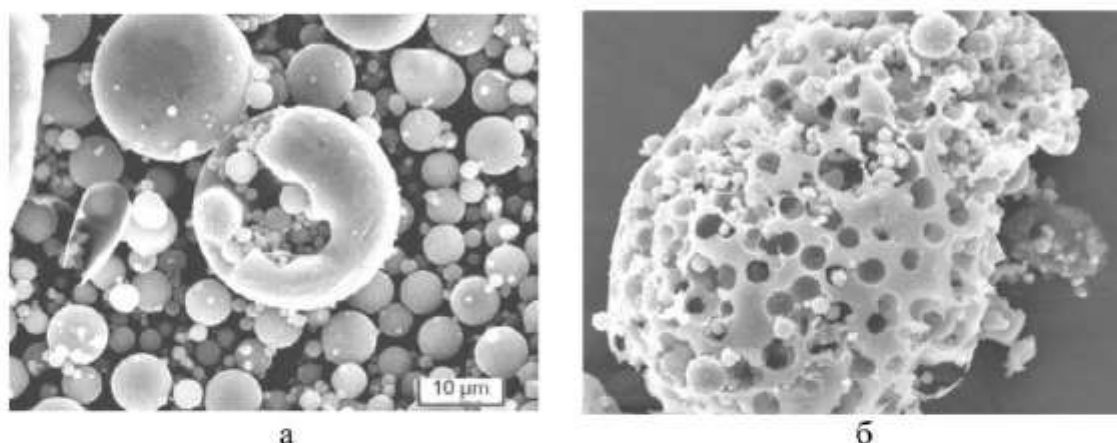


Рис. 1.1 Частинки золи-винесення

З фізико-хімічної точки зору, суть процесу активації полягає в деструкції початкової стабільної алюмосилікатної структури золи-винесення. Метою є отримання метастабільних мікроструктурних комплексів, здатних до подальшої контактної-конденсаційної взаємодії. Ініціатором цього процесу може виступати хімічна активація, яка завдяки високому значенню рН дисперсійного середовища спричиняє розрив ковалентних зв'язків (Si – O – Al) та (Si – O – Si) в алюмосилікатній речовині сфероїдів золи. Термічні та механічні чинники регулюють кінетику даної реакції [8].

Аналіз вищенаведеної інформації також дозволяє виділити основні питання, які потребують подальшого вирішення для розробки комплексної системи класифікації золи, зокрема:

- відпрацювання методики оцінки пуцоланової і гідралічної активності золи;
- оцінка реакційної здатності золи при розвитку внутрішньої корозії бетону;
- оцінка сульфатостійкості і довговічності матеріалів, які містять у своєму складі золу.

1.3 Золи та шлаки як компонент будівельних розчинів та бетонів

В Україні використовуються практичні рекомендації ДСТУ EN 450-1:2019 [21] з утилізації відходів енергетики (високодисперсної золи-винесення і золошлакових сумішей) в бетонах, що застосовуються в різних областях будівництва, за винятком споруди верхнього шару покриття автомобільних доріг і аеродромів, опор і прогонових будов мостів, оболонок градирень і стовбурів витяжних (димових) труб, гідротехнічних споруд у частинах, що піддаються поперемінному заморожування і відтавання.

Найбільш часто зола застосовується в якості добавки з метою заміни частини цементу в складі важкого бетону, в тому числі дрібнозернистого, а також бетону для підводних і внутрішніх зон масивних гідротехнічних споруд.

Застосування золи не робить негативного дії на модуль пружності і на деформації повзучості бетону, підвищує корозійну стійкість і сульфатостійкість бетону.

У складі бетонної суміші золошлакова суміш і шлак застосовуються як альтернативний компонент замість важких заповнювачів природного походження (піску, гравію та щебеню), пористих штучних (керамзит, аглопорит і ін.) природних (пемза, туф та ін.) заповнювачів.

Суміш золошлакова теплових електростанцій з відвалів спільного гідровидалення золи-винесення та шлаку для важкого і легкого бетону повинна відповідати вимогам ДСТУ Б В.2.7- 211: 2009 [22].

Золошлакова суміш з відвалів містить зерна великої та дрібної заповнювачів (шлаковий щебінь і шлаковий пісок), а також пиловидну золу-винесення, яка є активним компонентом бетонної суміші. Шлак щільний роздільного видалення, що утворюється в топках з рідким шлаковидаленням, застосовується для заміни дрібних природних пісків і як щебінь дрібної фракції для важких бетонів. Шлак пористий, який утворюється в топках з твердим шлаковидаленням застосовується як крупний заповнювач в легких бетонах. Застосування золи, золошлакової суміші та шлаку в якості заповнювачів дозволяє отримати бетони з

деформативними властивостями, близькими до властивостей бетонів на природних заповнювачах.

Із застосуванням золи, золошлакової суміші та шлаку на портландцементі можуть бути виготовлені бетони по міцності класів C8/10...C32/40, по водонепроникності W2...W12 і по морозостійкості F 50 ... F 300, наступних видів:

- а) важкий або легкий (з добавкою високодисперсною золи замість частини цементу, а також грубодисперсної золи та шлаку замість частини дрібного і крупного заповнювача); при повній заміні дрібного і великого заповнювачів у складі важких бетонів класів до C10/15 слід використовувати золошлакову суміш з насипною щільністю більше 1300 кг/м³, C10/15... C20/25 - з насипною щільністю більше 1400 кг/м³; У C25/30 ... C32/40 - з насипною щільністю більше 1600 кг/м³; для бетонів залізобетонних конструкцій вміст золи у складі золошлакової суміші має бути не більше 30 мас.% і не перевищувати маси цементу в бетоні, при цьому мінімальний витрата цементу встановлюється згідно ДСТУ 9208:2022 Бетони важкі. Технічні умови;
- б) дрібнозернистий, щільністю 1800...2200 кг/м³ (з добавкою золошлакової суміші замість дрібного кварцового піску);
- в) важкий з комбінованими наповнювачами з золошлакової суміші або щільного шлаку в поєднанні з природними заповнювачами;
- г) легкий з комбінованими наповнювачами з золи, золошлакової суміші або пористого шлаку в поєднанні з природними або штучними пористими заповнювачами; насипна щільність золошлакової суміші, яка використовується як дрібний заповнювач для легкого бетону, повинна бути не більше 1200 кг/м³;
- д) жаростійкий з комбінованими наповнювачами із золи і жаростійких заповнювачів;
- е) ніздрюватий (використання частини золи замість кварцового піску); при цьому необхідно використовувати дрібнозернисту золошлакову суміш з

питомою поверхнею не менше 250 кг/м^3 із залишком на ситі 008 максимум 20 мас.%; використання золошлакової суміші з питомою поверхнею менше 250 кг/м^3 допускається тільки після попереднього помелу.

Міцність, водонепроникність, морозостійкість та інші фізико-механічні характеристики бетонів з використанням золошлакових матеріалів повинні відповідати вимогам державних стандартів, технічних умов і робочих креслень на виготовлені конструкції і зводяться споруди, що встановлюється проведенням відповідних випробувань контрольних зразків бетону і готових залізобетонних виробів.

При повній або частковій заміні заповнювачів золошлаковою сумішшю з метою забезпечення корозійної стійкості ненапруженої арматури в залізобетонних конструкціях, використаних у неагресивних середовищах, зміст золи у складі золошлакової суміші і дрібнозернистої суміші в бетоні не повинно перевищувати витрата цементу, мінімальна величина якого повинна відповідати вимогам ДСТУ 9208:2022 [23]. Використання золошлакових сумішей в бетонних і залізобетонних конструкціях, призначених для роботи в агресивних середовищах, допустимо за умови виконання вимог ДСТУ-Н Б В.2.6-186:2013 які пред'являються до якості бетону в залежності від призначення конструкцій та умов їх роботи [24].

Бетони з використанням золи та золошлакових сумішей не застосовуються для конструкцій, армованих термічно зміцненою сталлю, схильною до корозійного розтріскування.

Зола, що додається до цементу, повинна витримувати рівномірність зміни обсягу в змішаному в'язучому при випробуванні зразків кип'ятінням у воді. Допускається зміст в золі вільного оксиду кальцію або оксиду магнію в кількостях, якщо забезпечується рівномірність зміни об'єму зразків при випробуванні їх в автоклаві при тиску 2,1 МПа, при цьому золу змішують з цементом в такій кількості, в якому передбачають використовувати в бетоні.

Для жаростійких бетонів зміст Al_2O_3 повинно бути не менше 20%, а НВЧ - не більше 8% по масі (СН 156-79). Питома поверхня золи для легких бетонів класу В 10 і нижче повинна становити, як правило, 1500...4000 cm^2/g , а для бетонів класу В 15 і вище - не менше 2500 cm^2/g .

Для відбору сухої золи та шлаку на електростанціях доцільно будувати промислові установки, обладнані пристроями для накопичення та вилучення відповідних видів паливних відходів. Вони повинні бути оснащені засобами навантаження і мати під'їзні шляхи для транспорту.

Для отримання шлаку на електростанціях доцільно здійснювати роздільне видалення шлаку і золи. Відбір шлаку при цьому можна проводити безпосередньо з відвалів.

Золошлакової суміш для важких бетонів в початковий період освоєння даної сировини допускається відбирати з ділянок відвалу, розташованих поблизу місць випуску пульпи з трубопроводу гідршлаковидалення, а для легких бетонів з ділянок відвалу, розташованих далеко від місць випуску пульпи.

Для відбору усього поточного виходу золошлакової суміші та організації централізованого постачання споживачам на електростанціях доцільно будувати спеціальні установки, що включають секційні басейни, золошлаконакопичувачі, шламовий насос, грейферний кран для вилучення з суміші з накопичувачів, майданчики для складування її суміші та під'їзні дороги. Установка забезпечить отримання золошлакової суміші оптимального зернового складу і запобіжить її забруднення у відвалі.

Застосування сухої золи теплових електростанцій взамін частини тільки цементу або цементу і частини кварцового піску в складі важких і легких бетонів рекомендується у випадках: застосування цементу більш високих марок, ніж це необхідно для отримання проектного класу бетону по міцності на стиск; необхідності підвищення щільності бетону і легкоукладності бетонної суміші; застосування гідротермальної обробки (пропарювання в камерах при атмосферному тиску і в автоклавах під тиском, електронагрів, інфрачервоний

прогрів) твердіючих бетонних виробів і конструкцій; необхідності зниження теплоти гідратації бетону, що твердіє в масивних спорудах (фундаменти, гідротехнічні споруди).

Суху золу застосовують також взамін тонкомолотої добавки для отримання жаростійкого бетону на портландцементі з температурою служби до 1000 °С.

Застосування золошлакової суміші з відвалів, утворених при спільному гідровидалення золи та шлаку рідкого видалення (розплаву), рекомендується в наступних випадках: при високій вартості або дефіциті великого заповнювача з природного каменю; при виготовленні тонкостінних конструкцій з дрібнозернистого (піщаного) бетону натомість дрібного природного піску; для заміни частини великої та дрібної заповнювачів в легких і важких бетонах. Твердіння бетону на основі золошлакових відходів проходить як при тепловологісній обробці, так і в природних умовах. Пропарювання виробів з бетону на портландцементі або шлакопортландцементі з добавкою золи проводять при температурі 90 ... 95 °С і тривалості ізотермічного прогріву не менше 8 ч. Допускається використовувати режими обробки їх, які встановлені для пропарювання залізобетонних конструкцій, виготовлених на традиційних заповнювачах (гранітному щебені і кварцовому піску).

У країнах Європи при використанні золи-винесення, шлаків і золошлакових сумішей теплових електростанцій в бетонах застосовується загальний стандарт EN 450, а також діють стандарти окремих країн. Зола-винесення повинна зберігатися і транспортуватися в сухому стані.

Втрати при прожарюванні повинні бути визначені відповідно до методу, описаного в EN 196-2 (час прокалювання становить 1 годину), і для різних категорій повинні знаходитися в межах, зазначених нижче:

- для категорії А - не більше 5,0 мас.%;
- для категорії В - 2,0 .. 7,0 мас.%;
- для категорії С - 4,0 .. 9,0 мас.%.

Мета цієї вимоги полягає в обмеженні залишків незгорілого вуглецю в золи-винесення. Зміст незгорілого вуглецю має бути визначено відповідно до ISO 10694.

Вміст хлоридів (у перерахунку на Cl^-), має бути визначено відповідно до EN 196-21 і не повинно бути більше, ніж 0,10 мас.%. Вміст сірчаного ангідриду SO_3 має бути визначено відповідно до EN 196-2 і не повинно перевищувати 3,0 мас.%. Вміст вільного оксиду кальцію повинно бути визначено за методом, описаним в EN 451-1 і не повинно перевищувати 2,5 мас.%. Зміст хімічно активного оксиду кальцію розраховується відповідно до EN 197-1 і не повинно перевищувати 10,0 мас.%.

Вміст хімічно активного діоксиду кремнію в золі пилоподібного спалювання відповідно до вимог EN 197-1 повинно бути не менше ніж 25,0 мас.%. Сума діоксиду кремнію (SiO_2), оксиду алюмінію (Al_2O_3) та оксиду заліза (Fe_2O_3) повинна визначатися відповідно до EN 196-2. Вміст лугу в золи-винесення пилоподібного спалювання визначається відповідно до EN 196-21 і розраховується в еквіваленті на Na_2O і не повинно перевищувати 5,0 мас.%. Вміст оксиду магнію (N_2O) в золи-винесення має визначатися відповідно до EN 196-2 і не повинно перевищувати 4,0 мас.%.

За тонкості помелу зола-винесення (відповідно до EN 451-2 визначається як мас.%. Від золи, просіяного на ситі 0,045 мм), може бути класифікована за такими категоріями:

- категорія N - тонкість помелу не повинна перевищувати 40%;
- категорія S - тонкість, не повинна перевищувати 12%.

Активність композицій на основі портландцементу з золою на 28-у і 90-у добу повинна бути не менше, ніж 75% і 85% відповідно.

Розширення зразків визначається для композицій складу: 30 мас.% Золи-винесення і 70 мас.% цементного тесту відповідно до EN 196-3 і не повинно бути більше, ніж 10 мм.

Час початку схоплювання композицій складу: 25 мас.% Золи-винесення і 75 мас.% цементного тесту визначається в відповідності з EN 196-3 і повинно бути не більше 120 хв.

Склад і ефективність золи-винесення повинні бути такими, щоб отримати бетон високої міцності при її використанні (EN 206-1). Для бетону, використовуюваного в суворих природних умовах, вибір категорії золи повинен здійснюватися відповідно до діючих стандартів, оскільки категорія золи впливає на міцність бетону, морозостійкість і корозійну стійкість.

Основні напрямки використання зол і шлаків при отриманні гідравлічних в'язучих речовин і бетонів.

1.4 Основні напрямки використання зол і шлаків для отримання гідравлічних в'язучих речовин і бетонів

Контроль за виробництвом та утилізацією продуктів згорання вугілля є великою економічною та екологічною проблемою. Щорічно утворюється досить значний обсяг цих продуктів, який поступається лише обсягом виготовлення нерудних будівельних матеріалів [25]. Так, згідно статистичному аналізу, наведеному в роботі [26], щороку світ отримує 370 млн. т золошлакових відходів проти обсягу гранульованого доменного шлаку - 35 млн. т, мікрокремнезему - 2 млн. т. Однак, як виявлено Manz O.E. [27], лиш третя частина зазначеного обсягу відходів енергетики використовується при виготовленні будівельних матеріалів.

Найбільша кількість золи утворюється в країнах пост радянських країнах, США, КНР, Індії, Великобританії [28, 29,]. Частка використання золошлакових відходів становить від 1 до 30% від їх загальної кількості.

Недостатньо широке використання золи в промисловості будівельних матеріалів обумовлено не тільки її низькою якістю, а й відсутністю технічних умов та відповідних методів випробувань.

Нормативні вимоги до тонкості помелу золошлакових матеріалів зазвичай визначаються показником питомої поверхні. Наприклад, для кислих зол цей показник має становити від 150 до 300 м²/кг, залежно від конкретних критеріїв якості матеріалу [30]. Згідно з іншими джерелами [6], золи, що утворюються на українських теплових електростанціях, характеризуються як дрібнодисперсні порошки з частинками переважно сферичної форми, розміри яких коливаються в діапазоні від 20 до 60 мкм і середньої питомою поверхнею 260 ... 380 м²/кг.

Зазвичай галузі використання золи визначаються її хіміко-мінералогічним складом і ступенем дисперсності.

Додавання золи в цемент добре вивчено. Встановлено, що зола, як правило, проявляє реакційну здатність в системі «цемент-зола» і покращує такі властивості бетонних сумішей, як:

- легкоукладність, за рахунок сферичної форми частинок, яка зумовлює зниження води замішування і мінімізацію її відділення з цементних сумішей;
- міцність при стисненні і інші механічні властивості за рахунок зменшення води замішування;
- зниження вартості бетону за рахунок заміни частини цементу більш дешевою золою;
- зниження емісії CO₂ в атмосферу за рахунок зменшення витрати цементу;
- підвищення довговічності бетону за рахунок пуцоланової реакції золи з Ca(OH)₂, що веде до додаткового утворення гідросилікатів кальцію, зниження їх основності і ущільненню бетону.

При виготовленні бетонів і розчинів зола-винесення використовується як заповнювач замість піску, для заміни частини цементу, а також як мікронаповнювач в асфальтобетон, застосовуваний у дорожньому будівництві. Дослідженнями встановлено, що використання золи ТЕС в якості добавок при виготовленні важких бетонів дозволяє економити близько 10% цементу [21].

При виробництві цементу золу-винесення використовують як складову частину сировинної суміші для виготовлення портландцементу, як гідралічну добавку при його помелі і як компонент сировинної суміші при виробництві вапняновмісних гідралічних в'язучих речовин [30].

Вельми цінними є золи з підвищеним вмістом CaO , оскільки вони зменшують частку карбонатного компонента в сировинній суміші і знижують витрату палива при випалюванні клінкеру. Найбільш доцільно використовувати золи ТЕС на цементних заводах, що працюють по сухому способу виробництва.

В якості добавки до цементу використовують суху золу-винесення і золу гідровидалення, а також золошлакової суміш з відвалів ТЕС.

Ефективність застосування золи значною мірою залежить від властивостей вихідних компонентів (самої золи та цементу), а також від обґрунтованого вибору способу її використання.

Існують три основні напрями застосування золи у виробництві бетонів:

Часткова заміна цементу (як мінеральна добавка).

Заміна частини дрібного заповнювача (піску).

Використання як мікронаповнювача — окремого компонента в'язучої системи.

На сьогоднішній день золу теплових електростанцій (ТЕС) широко застосовують у виробництві як збірних, так і монолітних бетонних та залізобетонних конструкцій.

Історично склалося так, що використання золи ТЕС у гідротехнічному будівництві розпочалося раніше, ніж в інших будівельних галузях. Це пояснюється тим, що марочна міцність бетону для великих гідротехнічних споруд визначається у віці 180 діб. До цього часу будь-який можливий початковий негативний вплив золи вже нівелюється, і міцність бетону із золою стає майже еквівалентною міцності бетону без використання цієї добавки. Введення маленької кількості золи сприяє зниженню розшаруванню бетонної суміші [31]. Пластифікуюча і водоутримуюча здатність золи обумовлює її

перспективність при використанні у складі легких бетонів. У той же час використання золи в бетоні не рекомендується при виконанні робіт в осінньо-зимовий період методом «термоса», тому що зола уповільнює процес твердіння бетону при низьких температурах.

Оптимальна кількість золи у складі важких, легких та пористих бетонів, згідно з вимогами діючих стандартів (таких як ДСТУ Б В.2.7-205:2009), визначається експериментально — шляхом підбору конкретного складу бетонної суміші для досягнення необхідних показників якості.

Для забезпечення належної корозійної стійкості ненапруженої арматури в залізобетонних конструкціях, що експлуатуються в агресивних умовах, вміст кислої золи в суміші не повинен перевищувати масу портландцементу.

Водночас нормативні обмеження забороняють використання бетонів із золою та золошлаковими сумішами для конструкцій, армованих термічно зміцненою сталлю, чутливою до корозійного розтріскування.

Можливість збільшення золи в складі як важкого, так і легкого бетонів, при виготовленні збірних і монолітних конструкцій встановлюють після проведення спеціальних випробувань арматури на корозійну стійкість і визначення деформаційних властивостей і довговічності бетонів.

Широкого застосування набула дрібнодисперсна зола-винесення завдяки її позитивному впливу на властивості бетону. Вона покращує пластичність суміші, запобігає її розшаруванню та забезпечує кращу якість поверхні.

Крім того, використання золи-винесення підвищує довговічність бетону, зокрема зростає сульфатостійкість та стійкість до агресивного впливу лугів і сольових розчинів, зменшуються деформації усадки, що підвищує тріщиностійкість конструкцій, знижується тепловиділення при твердінні, збільшується міцність бетону на пізніх етапах тужавлення. [33,34].

У Великобританії введений в дію стандарт BS 3892, який поширюється на золу-винесення при застосуванні в в'язучих матеріалах і бетонах; в США вимоги до золи-винесення регламентовані стандартами ASTM C 618 і ASTM C 183.

В Україні стандарт ДСТУ Б В.2.7-46:2010, наближений до європейського стандарту EN-197, згідно з яким зола-винесення відноситься до промислових пуцоланових і класифікується як окремий вид.

Згідно з чинними стандартами України (ДСТУ Б В.2.7-205:2009; ДСТУ Б В.2.7-46:2010; ДСТУ Б А.1.1.-26), виділяються наступні види золівмісних цементів: портландцемент з добавкою золи-винесення ПЦ П-3 (6...20 мас.% золи), композиційні портланд-цементи ПЦ П / А-К і ПЦ П / Б-К (вміст золи обмежується до 20 мас.%); пуцоланові цементи ПЦЦ IV / А і ПЦЦ IV / Б (вміст золи відповідно 21...35 і 24...55 мас.%) і композиційні цементы КЦ V / А і КЦ V / Б (вміст золи відповідно 10...20 і 20...40 мас.%). [36].

Діють обмеження кількості використання золи у складі бетонної суміші що зумовлені переважно з наявністю в її складі підвищеної кількості сульфатних сполук і лужних оксидів, які можуть спровокувати розвиток корозії арматури. Як показує практика, використання в складі бетонної суміші золи-винесення більше 30 мас.% Зазвичай призводить до зменшення активності цементів [37]. Для усунення цього недоліку замість вихідної золи доцільно використовувати механічно або хімічно активовану золу [38-42].

За результатами досліджень [43,44], на практиці зола використовується в невеликій кількості замість портландцементу (без погіршення властивостей бетону) для виготовлення матеріалів міцністю у 28 денному віці 25...35 МПа.

У бетонних сумішах зола виступає не тільки в якості активної мінеральної добавки, що збільшує загальну кількість в'язучої речовини, а також і мікронаповнювача, який сприяє покращенню гранулометрії піску і активно впливає на процеси утворення структури бетону [45].

Використання золи в складі композиційних цементів значно знижує тепловиділення, що є вагомим фактором при їх використанні під час бетонування масивних споруд. Експериментально також встановлено, що зола будь-якого типу помітно підвищує сульфатостійкість розчинів і бетонів, особливо при використанні портландцементного клінкера з високим вмістом C_3A [47].

Згідно з результатами досліджень [48,49], частка оптимального кількості золи зменшується при збільшенні витрати цементу. Максимальна міцність бетону досягається при заміні 25...30 мас.% дрібного заповнювача золою за рахунок зниження міжзернової пористості суміші. За даними [50], до складу важкого бетону слід додавати золу в кількості до 150 кг на 1 м^3 бетону, що твердіє в умовах ТВО, і до 100 кг на 1 м^3 бетонної суміші, що твердіє в нормальних умовах.

За результатами робіт [6,23], допустима кількість використовуваної золи повинне визначатися з умов забезпечення заданих властивостей бетону. В основу оптимізації складу бетону покладено критерій ефективності, він характеризується величиною міцності, яка забезпечується одиницею маси цементу [29]. Зола дозволяє покращити гранулометрію піску, так як можливо прибрати дрібні фракції. Особливо доцільно її вводити у важкоукладні бетонні суміші з малою кількістю цементу.

Для досягнення високої міцності золовмісні бетонів важливе значення має хіміко-мінералогічний склад клінкеру. На ранніх етапах твердіння росту міцності бетону сприяє наявність лугів у складі клінкеру, що прискорює хімічну взаємодію золи і цементу [38]. На пізніх етапах для прояву пуцоланової активності золи краще використовувати цементи з підвищеним вмістом аліта.

Для золовмісних бетонів характерний інтенсивний набір міцності на пізніх етапах твердіння. За даними [41], міцність при стисненні бетонів, що містять 30 мас.% Золи, через 10 років в 1,4...2 рази перевищує міцність бетону у віці 3 місяців. Також наголошується, що при тривалому твердінні таких бетонів має місце нарощування міцності при розтягуванні і згині.

Разом з тим, за даними [38], при використанні золи в кількості, що перевищує витрата портландцементу, можуть бути отримані цементи та бетони, які зазвичай відрізняються не тільки невисокою міцністю, але і низькою морозостійкістю. Ступінь зниження морозостійкості бетонів при введенні до їх складу золи залежить від багатьох факторів, у тому числі від її неоднорідності.

Значне підвищення морозостійкості та інших експлуатаційних характеристик золовмісних бетонів досягається при введенні спеціальних добавок, зокрема пластифікуючих, з використанням яких можуть бути отримані досить ефективні різновиди бетонів [53]:

- низькоенергоємні з низьким тепловиділенням (при використанні портланд-цементу до 150 кг на 1м³);
- високоміцні (з високим модулем пружності), межа міцності при стисненні яких на третю добу становить 6...15 МПа, а на 28-у добу - 40 МПа;
- довговічні і хімічно стійкі бетони до впливу зовнішнього середовища [54].

З іншого боку, питання збільшення частки золи у бетоні є багатогранним. Через недостатність даних щодо довгострокової взаємодії золи та сучасних органічних пластифікаторів існує ризик їхнього небажаного впливу на процеси набору міцності цементного каменю, особливо якщо бетон експлуатується в агресивних або складних умовах [44-46].

Золу можна використовувати як активну мінеральну добавку не тільки в традиційному портландцементі, але і в лужних в'язучих системах. За даними [37], можливість використання золи як активного компонента лужних систем залежить, насамперед, від її хіміко-мінералогічного та фазового складів, від дисперсності і вмісту НВЧ. Так, здатність до самостійного тверднення властива лише алюмосилікатній золомі, що містить у своєму складі підвищену кількість СаО і мають достатню дисперсність, причому підвищення останньої сприяє зростанню гідравлічної активності золи, яка не завжди гарантує високі показники міцності синтезованого штучного каменю [47-49].

Для отримання лужних золошлакових композицій, що характеризуються активністю до 90 МПа (після тепловологісної обробки) і до 40 МПа (в нормальних умовах тверднення), необхідна коригування їх складу високоосновними добавками (портландцементний клінкер, конверторний і ваграночних шлаки) [47].

При введенні таких добавок у складі продуктів гідратації лужних золовмісних композицій утворюються переважно гідросилікатні та гідроалюмосилікатні фази, які і забезпечують досить високу міцність і довговічність отриманого будівельного матеріалу [34].

Згідно з дослідженнями [55], збільшення кількості утилізованої золи (до 70 мас.%) у складі лужних в'язучих систем досягається за рахунок їх модифікації штучними цеолітами, які можуть бути синтезовані на основі вищевказаної золи.

Такий підхід дав можливість авторам запропонувати комплексну технологію переробки відходів теплоенергетики, що дає можливість виробляти бетони класу С32/40 з поліпшеними експлуатаційними характеристиками [56,51].

Також потрібно зауважити, що вищенаведена інформація по використанню відходів енергетики для отримання цементів і бетонів відноситься тільки до золи-винесення. Відсутність стандартів на інші види золошлакового сировини, в тому числі висококальцієві золи, ускладнює позитивне вирішення проблеми їх утилізації при отриманні якісних будівельних матеріалів [55].

Так, згідно з відомим стандарту ДСТУ Б В.2.7-205:2009, основні золи, що містять СаО більше 30 мас.%, При виготовленні будівельних розчинів і бетонів слід використовувати як компонент в'язкої системи. При цьому у складі золи обмежується тільки зміст сульфатних сполук (в перерахунку на SO₃), яке не повинно перевищувати 3 мас.%, виходячи з міркувань збереження арматури.

Також залишається відкритим питання щодо зниження довговічності отриманого бетону внаслідок неповної гідратації вільного СаО і зберігається загроза виникнення вторинного еtringіта на пізніх стадіях твердіння зольних цементів.

Основні або висококальцієві золи, що містять СаО > 10 мас.%, Доцільно використовувати в якості добавки при отриманні цементів, здатних до розширення, а також для виготовлення литих будівельних розчинів [57,58],

причому в останньому випадку використовуються переважно висококальцієві золи разом з портландцементом і пластифікуючими добавками.

Відповідно до джерел [54, 55], золу, що утворюється в результаті спалювання вугілля за технологією «киплячого шару», рекомендовано використовувати в дорожній галузі для виробництва різних типів дорожнього полотна. Висококальцієві золи, за даними [51], доцільно використовувати як пластифікуючі добавки для отримання високоміцних бетонів. При помелі портландцементного клінкеру стандартами дозволяється вводити до складу цементу 15...25 мас.% низькокальцієві і 25... 40 мас.% висококальцієві золи.

Дані, представлені в роботах [58, 30], також можливе введення до складу цементу (без погіршення його експлуатаційних властивостей) до 40 мас.% золи-шару і золи-винесення до 60 мас.%.

Згідно з даними [49,50], досліджено можливість утилізації золи різної дисперсності і різного складу при виготовленні дорожніх бетонів; вивчена пуцолановий активність золи, що містить СаО від 4 до 26 мас.% і показано, що на ранніх стадіях твердіння відсутня кореляційна залежність між міцністю бетону і активністю використаної золи; в той же час така залежність має місце на більш пізніх етапах твердіння (90 діб і більше).

За результатами досліджень [62, 54], у разі використання висококальцієвих зол, що містять 47...54 мас.% Сао, можливість отримання бетонів для дорожнього будівництва, міцність яких на 90-у добу може бути порівнянна з міцністю бетонів, отриманих на основі портландцементу.

Разом з тим використання висококальцієвих зол з високим вмістом ангідриту вимагає деякої обережності та виконання додаткових заходів, що забезпечують повну (100%) гідратацію вільного оксиду кальцію.

За даними [54-56], при змішуванні висококальцієвої золи з заповнювачами (в процесі приготування бетонної суміші) не досягається повна гідратація СаО, що призводить до підвищення тепловиділення, розігріву бетону, його розширенню, розтріскування і зниження довговічності. Також зберігається

загроза виникнення вторинного еtringіту на пізніх стадіях твердіння зольних цементів [57].

1.5 Легкі бетони на основі використання золошлаку

Застосування золошлакових матеріалів у виробництві легких бетонів (як конструкційних, так і конструкційно-теплоізоляційних) забезпечує суттєве підвищення їхньої економічної ефективності. Це досягається шляхом зниження собівартості кінцевого продукту через економію на дорогих заповнювачах та зменшення питомої витрати цементу. Заміщення дефіцитних штучних пористих заповнювачів (таких як керамзитовий гравій, аглопорит чи керамзитовий пісок) золошлаком також сприяє скороченню паливно-енергетичних та матеріальних витрат у процесі виробництва. Зокрема, зола та золошлакові суміші можуть замінювати дрібний заповнювач у легких бетонах як у чистому вигляді, так і в комбінації з іншими пористими матеріалами (наприклад, керамзитовим піском). Використання золи ТЕС дозволяє виробляти легкі бетони класів міцності від В 3.5 до В 15, заощаджуючи при цьому від 10% до 25% цементу. Значні перспективи відкриваються завдяки застосуванню золи-винесення як пористого заповнювача для легких бетонів, а також як складника, що заміщує кварцовий пісок у теплоізоляційно-конструкційних бетонах.

Застосування золи-винесення як пористого легкого заповнювача замість кварцового заповнювача дозволяє не тільки зменшити середню густину бетону, але і зменшити його теплопровідність, що забезпечує підвищення теплоізоляційних властивостей виробів і економію палива при експлуатації будівель [5].

Введення золи в суміші для виготовлення легкого бетону підвищує їх в'язкість в статичному стані, але не впливає на умови тиксотропного розрідження при вібрації. Суміші з золою відрізняються легкоукладністю, добре заповнюють форму і ущільнюються під дією вібрації. Відформовані вироби з легкого бетону, що містять золу, відрізняються підвищеною структурною міцністю, що дозволяє

швидко наносити і загладжувати верхній фактурний шар при формуванні огорожувальних конструкцій і полегшує умови проведення часткової або негайної розпалубки виробів [59].

РОЗДІЛ 2

МЕТА РОБОТИ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕНЬ.

ТЕОРЕТИЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ

Мета роботи: підбір складу та отримання легкого бетону з для виготовлення стінових виробів з використанням золошлаків.

Об'єкт дослідження: легкі бетони із застосуванням золошлаків.

Предмет дослідження: фізико-механічні властивості легкого бетону з використанням у якості заповнювача золошлаку.

Завданнями наукової роботи є:

1. Провести підбір оптимального складу легкого бетону з використанням золошлаку.
2. Виготовити експериментальні зразки для проведення лабораторних випробувань.
3. Експериментально встановити вплив водоцементного відношення на міцність, водопоглинання та густину отриманого матеріалу.
4. Оцінити можливість застосування розробленого складу для серійного виробництва стінових виробів.

2. 2 Теоретичне обґрунтування

Для того щоб виготовляти енергоефективні стінові вироби золошлак підходить дуже добре тому, що в ньому є аморфні часточки які знизять теплопровідність. А додавання золи в цемент добре вивчено. Встановлено, що зола, як правило, проявляє реакційну здатність в системі «цемент-зола» і покращує такі властивості бетонних сумішей, як:

- легкоукладність, за рахунок сферичної форми частинок, яка зумовлює зниження води замішування і мінімізацію її відділення з цементних сумішей;
- міцність при стисненні і інші механічні властивості за рахунок зменшення води замішування;

- зниження вартості бетону за рахунок заміни частини цементу більш дешевою золою;
- зниження емісії CO₂ в атмосферу за рахунок зменшення витрати цементу;
- підвищення довговічності бетону за рахунок пуцоланової реакції золи з Ca(OH)₂, що веде до додаткового утворення гідросилікатів кальцію, зниження їх основності і ущільненню бетону.

Основною перевагою застосування золошлаку для легкого бетону є його незначна вартість та величезні запаси в Україні. Заповнювачі з відходів ТЕС є універсальними тому, що можуть використовуватися як без додаткової обробки, так і з подальшою активацією. Використання заповнювачів з відходів ТЕС у стінових блоках виконує роль утилізації відходів, що позитивно впливатиме на екологію.

РОЗДІЛ 3

МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Визначення технічних характеристик вихідних матеріалів:

Цемент

У цементу визначаються наступні характеристики:

- тонкість помелу за ДСТУ [64];
- нормальну густоту за ДСТУ [65];
- марку за ДСТУ [66].

Золошлак

Для виготовлення зразків у межах даної роботи використовувався золошлак ТЕС. Для нього визначалися наступні властивості:

- істинна густина ДСТУ [64];
- насипна густина ДСТУ [21];
- модуль крупності ДСТУ [21];
- водопотреба ДСТУ [22].

Вода

Вода для виготовлення бетону повинна відповідати ДСТУ ISO 3696:2003 Вода для застосування в лабораторіях. Вимоги та методи перевіряння (ISO 3696:1987, IDT).

Пластифікатор

Для дослідів використовувалася також добавка-суперпластифікатор BASF GLENIUM 51.

3.2 Математичне планування експерименту

Рекомендовано застосовувати математико-статистичні методи для планування експериментів та оптимізації рецептури легкого бетону. Це особливо актуально у випадках, коли досліджуються різні співвідношення цементу та води, розробляються залежності для оперативного коригування суміші під час

виробництва за новою технологією, або ж інтегруються автоматизовані системи управління технологічним процесом. Процес планування експериментів та визначення оптимальної рецептури легкого бетону за допомогою математико-статистичних методів полягає у встановленні кількісної залежності між бажаними властивостями суміші та обсягами використаних матеріалів. Ця математична модель згодом застосовується для ідентифікації та призначення найбільш ефективних складів бетону.

Створення таких математичних моделей відбувається на базі спеціалізованих лабораторних випробувань, результати яких надалі уточнюються в умовах реального виробництва.

Перед початком лабораторних досліджень необхідно виконати наступні підготовчі кроки:

- Визначити ключові змінні (фактори), які впливають на параметри, що оптимізуються;
- Розрахувати попередній експериментальний склад легкого бетону;
- Встановити діапазони варіювання обраних факторів.

Залежно від специфіки поставленого завдання, в якості визначальних параметрів (факторів) можуть виступати водоцементне співвідношення (В/Ц), обсяг витрати цементу, кількість доданої добавки, витрата заповнювача тощо. Вихідне значення фактора в базовій (основній) рецептурі позначається як середній або нульовий рівень.

Під час експериментальних досліджень, відповідно до умов задачі, всі фактори можуть змінюватися (варіюватися) двома основними способами:

На трьох рівнях: середньому (базовому), а також нижньому та верхньому, які віддалені від середнього на фіксовану величину — інтервал варіювання.

На двох рівнях: лише верхньому та нижньому.

Для спрощення запису і наступних розрахунків верхній рівень факторів буде позначатися (+1), середній — (0), а нижній — (-1), що рівнозначно переводу факторів в новий кодовий (нормалізований) масштаб за формулою 3.1:

$$X_i = (X_i - X_{i_0}) / \Delta X_i \quad (3.1)$$

де X_i - значення i -го фактора в новому кодовому масштабі;

X_i - значення i -го фактора в натуральному масштабі;

X_{i_0} - основний рівень i -го фактора;

ΔX_i - інтервал зміни i -го фактора.

Експериментальні (дослідні) заміси в залежності від кількості факторів та вимог задачі проводилися по приведеним матрицям. Приклад двохфакторної матриці на основі плану Бокса-Бенкена. Оцінка вагомості лінійної регресії здійснювалася на основі критерію Фішера, де змінними факторами є витрата цементу і води. План експерименту наведений в табл. 3.1

Змінні фактори:

X_1 – витрата цементу Ц: 388.84; 348.84; 308.84 кг/м³;

X_2 – витрата води В: 370; 340; 310 Л.

Таблиця 3.1 План експерименту

№ дослідю	x_1	x_2
1	1	1
2	1	-1
3	-1	1
4	-1	-1
5	1	0
6	-1	0
7	0	1
8	0	-1
9	0	0
10	0	0
11	0	0

3.3 Підбір складу суміші

Розрахунок складу бетону виконувався за методичними рекомендаціями [47]. Бетон на заповнювачі із золошлаку по зерновому складу є дрібнозернистим, тому суміш повинна відповідати вимогам. Розрахунок складу бетону на заповнювачу із золошлакової суміші виконується в наступному порядку. За потрібною міцністю (марка) бетону R_b і активністю (марка) використовуваного цементу R_u визначають цементно-водне відношення Ц/В по формулі 3.2:

$$R = A_1 A_2 A_3 A_4 \left(0.63 - 0.4 \frac{R_u}{1000}\right) \frac{Ц}{B} R_u \quad (3.2)$$

звідки отримуємо формулу 3.3:

$$\frac{Ц}{B} = \frac{R_b}{R_u} \times \frac{1}{A_1 A_2 A_3 A_4 \left(0.63 - 0.4 \frac{R_u}{1000}\right)} \quad (3.3)$$

де A_1 – коефіцієнт, який враховує зерновий склад золошлакової суміші;

A_2 – коефіцієнт, який враховує вміст у золошлаковій суміші незгорівших вугільних залишків;

A_3 – коефіцієнт, який враховує спосіб приготування бетонної суміші;

A_4 – коефіцієнт, який враховує умови твердіння і вік бетону.

Кількість води (В), потрібної для приготування бетонної суміші визначається в залежності від потрібної легкоукладності і об'ємної насипної маси золошлакової суміші оптимального зернового складу.

Витрата цементу в кг на 1 м³ бетону розраховують за формулою 3.4:

$$Ц = Ц / B \times B \quad (3.4)$$

Витрата золошлакової суміші в кг на 1 м³ бетону розраховують за формулою 3.5:

$$\frac{Ц}{\rho_{ц}} = \frac{ЗШС}{\rho_{зшс}} \times B + BB = 1000 \quad (3.5)$$

звідки отримуємо формулу 3.6:

$$ЗШС = (1000 - BB - B - \frac{Ц}{\rho_{ц}}) \quad (3.6)$$

де $\rho_{ц}$ – густина використаного цементу, кг/л;

$\rho_{зшс}$ – густина золошлакової суміші, кг/л.

BB – об'єм залученого повітря в бетонну суміш, визначається з [1].

В результаті обрахунку отримано склади бетонів на 1 м³ (таблиця 3.2), з них потім готувалися робочі склади для експерименту (таблиця 3.3).

Таблиця 3.2 Склад контрольної суміші

№	Компонент	Одиниці виміру	Кількість на 1 м ³
1	Цемент	кг	348,84
2	Вода	л	340
3	Золошлак	кг	1216,06
4	Пластифікатор	л	5,23

Таблиця 3.3 Робочі склади сумішей на об'єм 1 м³

№	Цемент, кг	Вода, л	Золошлак, кг	Пластифікатор л
1	388,84	370	1115,24	5,83
2	388,84	310	1256,24	5,83
3	308,84	370	1175,88	4,63
4	308,84	310	1316,88	4,63

5	388,84	340	1185,74	5,83
6	308,84	340	1246,38	4,63
7	348,84	370	1145,56	5,23
8	348,84	310	1286,56	5,23
9	348,84	340	1216,06	5,23
10	348,84	340	1216,06	5,23
11	348,84	340	1216,06	5,23

3.4 Методика виготовлення зразків

Спочатку вихідні інгредієнти зважували на лабораторних вагах відповідно до розроблених рецептур. Далі готували бетонозмішувач примусової дії (цей метод перемішування було обрано для розрахунку бетонної суміші). Внутрішні поверхні змішувача протирали вологою тканиною, щоб запобігти поглинанню води замішування стінками обладнання.

Сухі компоненти (попередньо просушений золошлак) засипали в увімкнений змішувач. Їх перемішували протягом однакового для всіх дослідів часу без додавання води.

Воду та пластифікатор вносили одночасно. Після їх додавання суміш перемішували до моменту досягнення візуально визначеної необхідної консистенції.

Зі свіжовиготовленої бетонної суміші формували зразки у вигляді кубиків розміром 100×100×100 мм (форми попередньо обробляли мастилом). Потім зразки ущільнювали на лабораторній віброплощині. Для цього була використана спеціальна розроблена насадка для форм з привантаженням, яке має бути 40 г/см² для всіх випадків. Час ущільнення змінювали відповідно до плану експерименту. Якість ущільнення кожної серії зразків контролювали шляхом визначення відповідного коефіцієнта.

3.5 Підготовка до випробувань

Зразки набирали міцності згідно норм протягом 28 діб у природних умовах при нормальній температурі. Для дослідження бетону на теплопровідність зразки виготовлялися згідно пунктів [36], а на водопоглинання – згідно [35].

3.6 Випробування

У кожній серії зразків потрібно визначити наступні параметри: середня густина за ДСТУ [35]; межа міцності на стиск за ДСТУ [35]; водопоглинання за ДСТУ [23]. В рамках даної роботи було визначено теплопровідність з використанням приладу ІТС-1. Принцип дії ІТС - 1 це створення температурного градієнта. Досліджуваний матеріал влаштовується між двома пластинами, одна з яких залишається холодною, а інша набирає температуру. Таким чином тепло через зразок починає прямувати до холодної пластини. Сенсори, які розташовані на пластинах, в різних точках зразка вимірюють температуру та виводять на екран значення теплопровідності у Вт/мК

РОЗДІЛ 4

ХАРАКТЕРИСТИКА ВИХІДНИХ МАТЕРІАЛІВ

4.1 Тонкість помелу цементу

Для проведення експерименту використовувався цемент ПЦ І-500-Н. Виробник ТОВ «СЕМАРК» Кам'янець-Подільський. Тонкість помелу цементу перевіряється згідно вимог нормативних документів [64], використовувався метод визначення кількості залишку на ситі. Результати придставлені у таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 Результати визначення тонкості помелу цементу

№ дослідю	Маса наважки, г	Залишок на ситі, г	Тонкість помелу, %
1	50	2,61	5,22

4.2 Нормальна густина цементу

Нормальна густина характеризувалася згідно з [65]. Результати представлені у таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 Результати визначення нормальної густоти цементного тіста

№ дослідю	Кількість води замішування, мл	Показання приладу Віка, мм	Нормальна густина, %
1	110	6	27,5

4.3 Марка за міцністю на стиск

Марка за міцністю на стиск перевіряється на зразках-балочках з розмірами 40x40x160 мм., згідно з вимогами [66]. Результати наведені у таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 Результати отримання марки цементу за міцністю на стиск

№	Вік зразка, діб	Руйнуюче зусилля, Н	Границя міцності, МПа	Середнє значення
1	28	125300	50,1	50,1
2	28	124250	49,7	
3	28	126320	50,5	
4	28	125420	50,2	
5	28	123790	49,5	
6	28	126810	50,7	

4.4 Насипна густина золошлаку

Для дослідів використовувався золошлак ТЕС. Насипна щільність визначалася відповідно вимогам стандарту, що представлений наведені у [22]. Результати випробування наведені у таблиці 4.6.

Таблиця 4.6 Результати визначення насипної густини золошлаку

№ дослідю	Об'єм циліндра, см ³	Маса циліндра, г	Маса циліндра з золошлаком, г	Маса Золошлаку, г	Густина, г/см ³
1	995	274	1359	1085	1,09
2	995	274	1349	1075	1,08
				Сер.	1,085

4.5 Істина густина золошлаку

Істина густина перевірялася прискореним методом, згідно з вимогами [22]. Результати випробувань представлені у таблиці 4.7

Таблиця 4.7 Результати визначення істинної густини золошлаку

Маса об'ємоміра з водою, г	Маса об'ємоміра з золошлаком, г	Маса наважки золошлаку, г	Об'єм, см ³	Істина густина, г/см ³
370	415	45	20	2,35

4.6 Модуль крупності золошлаку

Модуль крупності визначався згідно [22]. Результати випробувань представлені у таблиці 4.8.

Таблиця 4.8 Результати визначення модуля крупності золошлаку

№ сита	Золошлак		
	Маса залишку, г	a _i %	A _i %
5	152	15,34	15,34
2,5	73	7,37	22,70
1,25	221	22,30	45,01
0,63	90	9,08	54,09
0,315	37	3,73	57,82
0,16	50	5,05	62,87
0,08	81	8,17	71,04
0,05	204	20,59	91,62
Піддон	83	8,38	100
Σ		991	
M _{кр}		2,58	

4.7 Вода

Вода для приготування замісів-зразків використовувалась лабораторна, яка за нормами відповідає вимогам ДСТУ ISO 3696:2003

Для отримання якісних замісів ми використовувалася пластифікатор BASF GLENIUM 51.

Всі характеристики матеріалів для приготування легкого бетону даної кваліфікаційної роботи та рекомендовані нормативними документами наведені у таблиці 4.9.

Таблиця 4.9 Порівняльна характеристика матеріалів

Назва показника	Одиниці виміру	Отримане значення	Нормативне значення
1	2	3	4
Цемент ПЦІ 500-Н			
Тонкість помелу	%	5,22	<15
Нормальна густина	%	27,5	
Марка	МПа	50,1	50>
Золошлак			
Насипна густина	кг/м ³	1085	
Істина густина	г/см ³	2,35	
Модуль крупності	-	2,58	

РОЗДІЛ 5

АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

5.1 Підготовка до випробування

Після розрахунку складу бетону, відповідно до матриці математичного планування двохфакторного експерименту, були виготовлені зразки-кубики розміром 10×10×10 см., які випробовувались на міцність при стиску. та блок розміром 20×30×40 см (з двома пустотами розмірами – 10×10×20 см).

Планування експерименту та обробка результатів проводились в програмах Statistica та Excel .

Для визначення міцності було виготовлено 55 зразків та випробувано їх згідно з методикою наведеною у розділі 3. Проведено розрахунки складів суміші відповідно до математичного планування експерименту наведені в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 Витрата матеріалів

№	План експерименту (Xi)		Цемент, кг	вода, л	Золошлак, кг	Пласти- фікатор, л
1	1	1	388,84	370,00	1115,24	5,83
2	1	-1	388,84	310,00	1256,24	5,83
3	-1	1	308,84	370,00	1175,88	4,63
4	-1	-1	308,84	310,00	1316,88	4,63
5	1	0	388,84	340,00	1185,74	5,83
6	-1	0	308,84	340,00	1246,38	4,63
7	0	1	348,84	370,00	1145,56	5,23
8	0	-1	348,84	310,00	1286,56	5,23
9	0	0	348,84	340,00	1216,06	5,23

Продовження таблиці 5.1

10	0	0	348,84	340,00	1216,06	5,23
11	0	0	348,84	340,00	1216,06	5,23

5.2 Міцність зразків при стиску

У віці 7 діб зразки висушували до сталої маси, вимірювали їх та важили. Кубики руйнували на гідравлічному лабораторному пресі ПГС-250. Потім рахували густину, всі данні заносили до таблиці 5.2. Вплив змінних факторів експерименту на міцність зображено на рис. 5.1, 5.2, 5.3, 5.4.

Таблиця 5.2 Характеристика зразків у віці 7 діб

№	7 діб						
	навантаження	розміри, см			маса	ρ	міцність
	кгс	а	в	с	кг	кг/м ³	МПа
1	16553	10,3	9,8	10,3	1,639	1576	16,40
2	12707	9,8	10,3	9,9	1,645	1646	12,59
3	16360	10,2	10,3	10,4	1,539	1409	15,57
4	11938	9,9	9,9	10,2	1,475	1475	12,18
5	10592	9,5	10,2	10	1,648	1701	10,93
6	11746	10	9,7	10,1	1,488	1519	12,11
7	13668	10,2	10	10,1	1,503	1459	13,40
8	8669	9,7	10,4	10,1	1,445	1418	8,59
9	16360	10,2	9,7	10,4	1,548	1504	16,54
10	17129	10,2	10	10,1	1,511	1467	16,79
11	16120	10,10	10,3	10	1540	1480	15,50

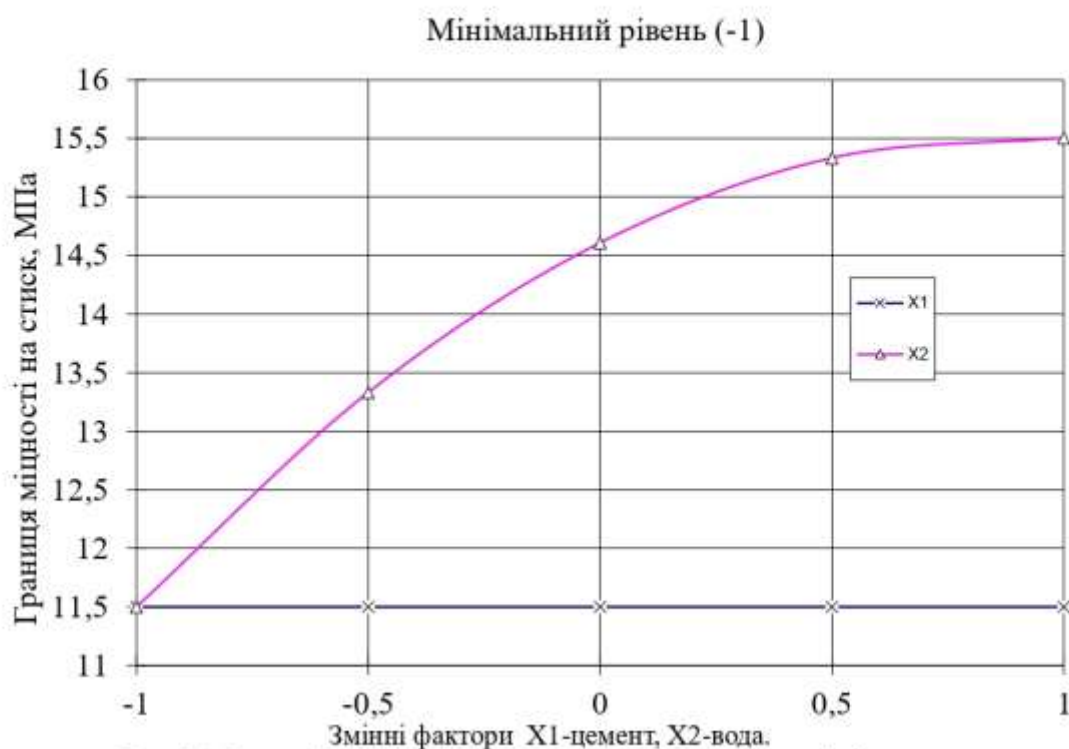


Рис. 5.1 Залежність міцності на стиск зразків в залежності від витрати цементу і води

При знаходженні факторів на мінімальному рівні, найбільша міцність легкого бетону отримана при витраті води 370 л. Мінімум спостерігається в точці -1, а максимум в точці 1, витрата цементу не має особливого впливу на границю міцності при стиску.

При знаходженні факторів на середньому рівні, найбільша міцність легкого бетону отримана при витраті води в кількості 370 л. Мінімум спостерігається в точці -1, а максимум в точці 1, витрата цементу не має особливого впливу на міцність. Крива витрати води перетинається з кривою витрати цементу в точці 0.

При знаходженні факторів на максимальному рівні, найбільша міцність легкого бетону отримана при витраті води в кількості 370 л. Мінімум спостерігається в точці -1, а максимум в точці 1, витрата цементу збігається з витратою води в точці 1.

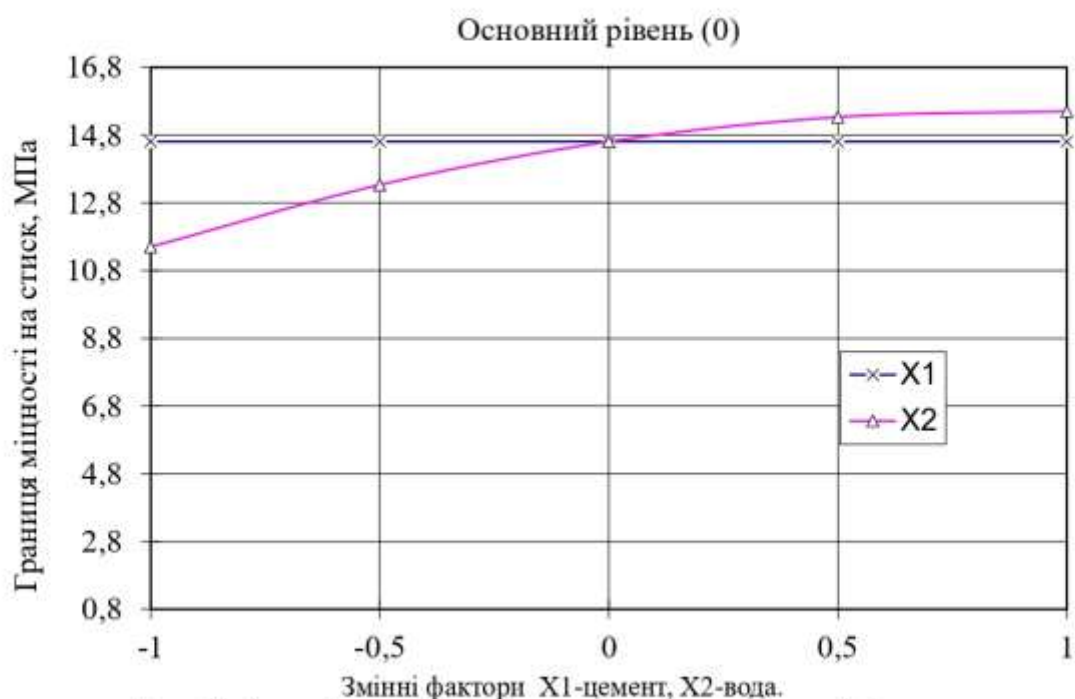


Рис. 5.2 Залежність міцності на стиск зразків в залежності від витрати цементу і води

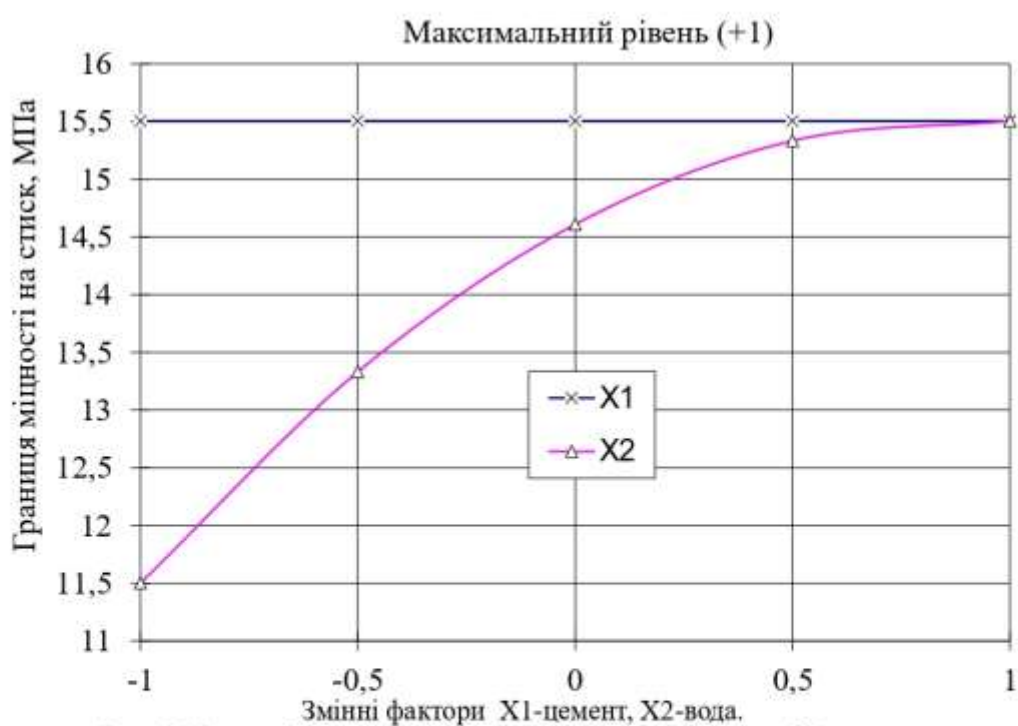


Рис. 5.3 Залежність міцності на стиск зразків в залежності від витрати цементу і води

На даному рисунку зображена апроксимуюча поверхня зміни міцності зразків легкого бетону в залежності від змінних факторів експерименту. З даної апроксимуючої поверхні можна сказати, що зразки набрали найбільшу міцність при використанні максимальної витрати води, а вплив витрати цементу не є значним. Максимальна міцність зразка становила 16,79 МПа, а мінімальна міцність зразків – 8,59 МПа. Результати обраховані та зображені на рисунку 5.4.

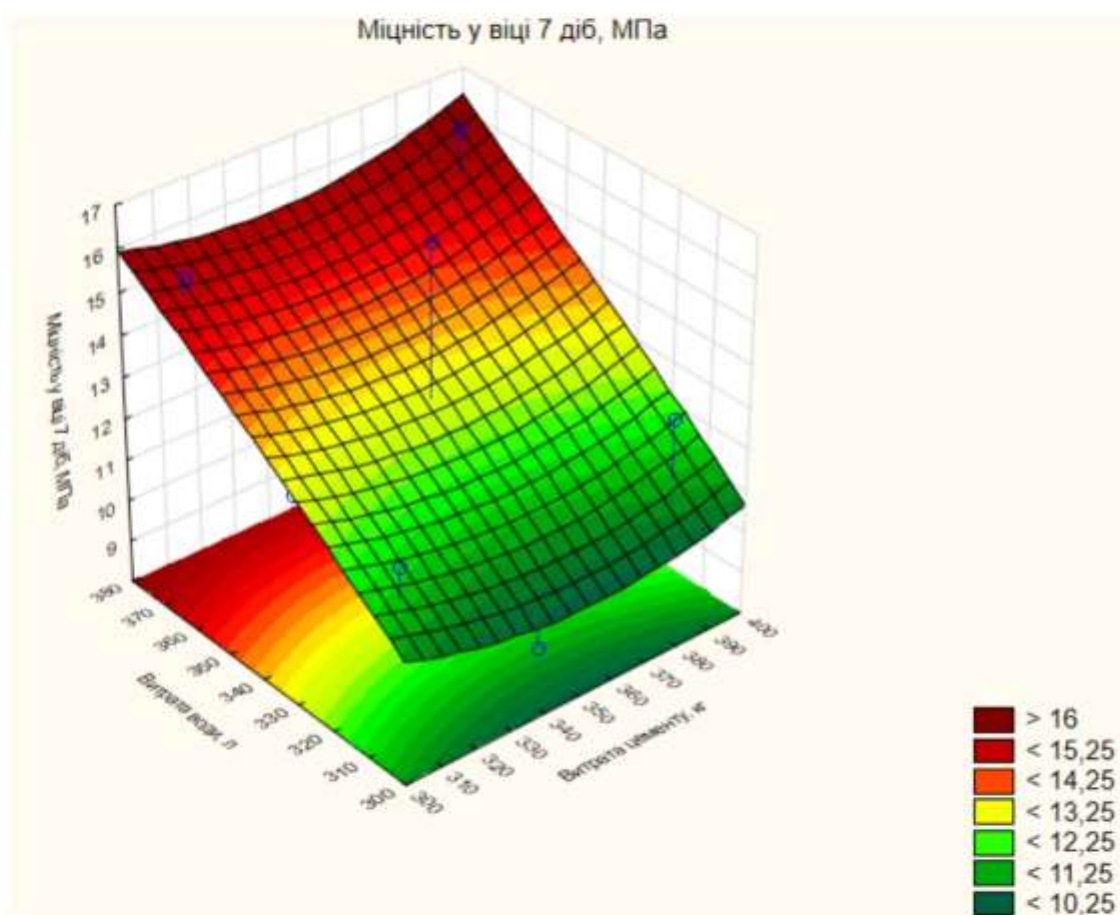


Рис. 5.4 Апроксимуюча поверхня зміни міцності зразків залежно від змінних факторів експерименту у віці 7 діб

У віці 14 діб зразки висушували до сталої маси, вимірювали їх та важили. Кубики руйнували на гідравлічному пресі ПГС-250. Потім рахували густину, всі данні заносили до таблиці 5.3. Вплив змінних факторів експерименту на міцність зображено на рис. 5.5, 5.6, 5.7, 5.8.

Таблиця 5.3 Характеристика зразків бетону у віці 14 діб

№	14 діб						
	навантаження	розміри, см			маса	ρ	міцність
	кгс	а	в	с	кг	кг/м ³	МПа
1	19245	10,2	10	10,4	1,486	1401	18,87
2	13861	9,9	10,1	10,3	1,514	1470	13,86
3	15976	9,9	10,2	10,3	1,469	1412	15,82
4	15207	10	10,2	10,2	1,505	1447	14,91
5	18860	10,3	9,9	10,4	1,565	1476	18,50
6	14630	10,3	9,7	10,2	1,535	1506	14,64
7	15014	9,6	10,3	10,2	1,463	1451	15,18
8	11169	10	9,9	10,3	1,494	1465	11,28
9	17514	9,8	10,4	10,3	1,456	1387	17,18
10	17455	10,1	10,1	9,8	1,460	1460	17,11
11	17300	10,3	10,3	10	1,465	1381	16,31

При знаходженні факторів на мінімальному рівні, найбільша міцність легкого бетону отримана при витраті води 340 л. Мінімум спостерігається в точці -1, а максимум в точці – 0. Та при застосуванні цементу 389 кг. Мінімум спостерігається в точці 0, а максимум в точці – 1. Криві витрати води та цементу зходяться в точці -1.

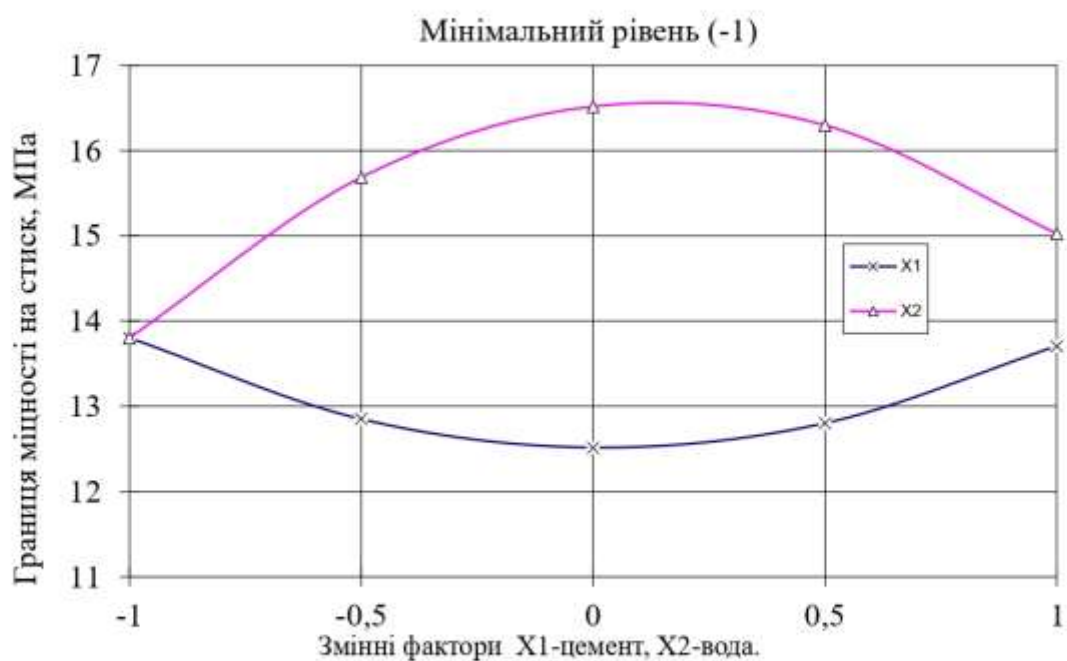


Рис. 5.5 Залежність міцності на стиск зразків в залежності від витрати цементу і води

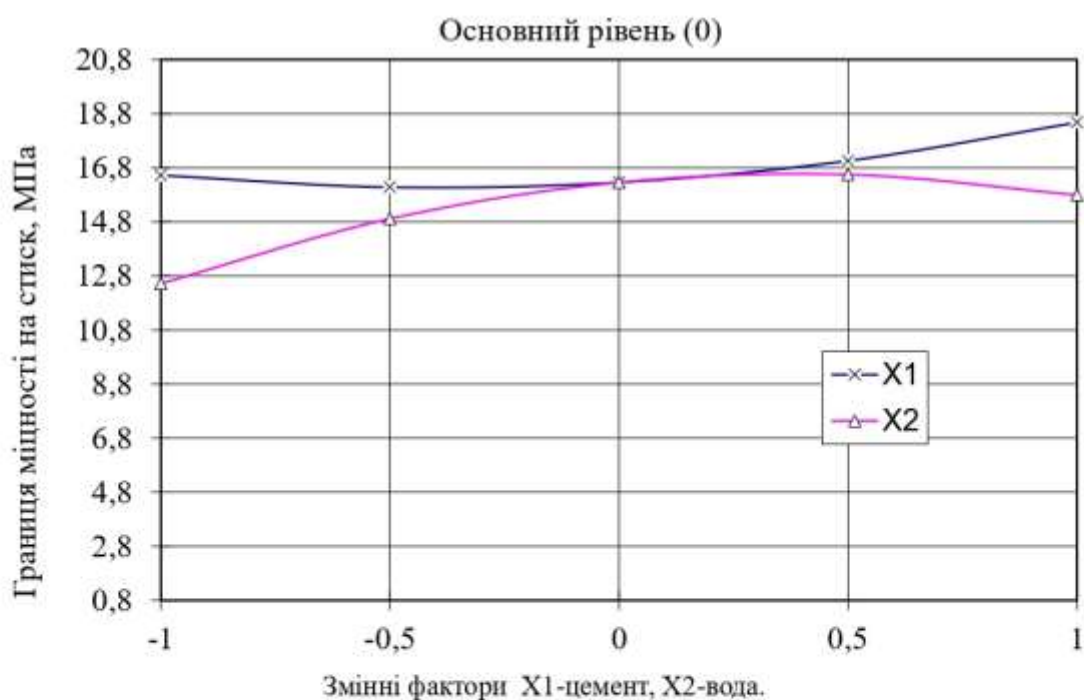


Рис. 5.6 Залежність міцності на стиск зразків в залежності від витрати цементу і води

При знаходженні факторів на середньому рівні, найбільша міцність легкого бетону отримана при витраті води 355 л. Мінімум спостерігається в точці -1, а максимум в точці 0,5. Та при застосуванні цементу 389 кг. Мінімум спостерігається в точці -0,5, а максимум в точці - 1. Криві використання (витрати) води та цементу зходяться в 0 точці.

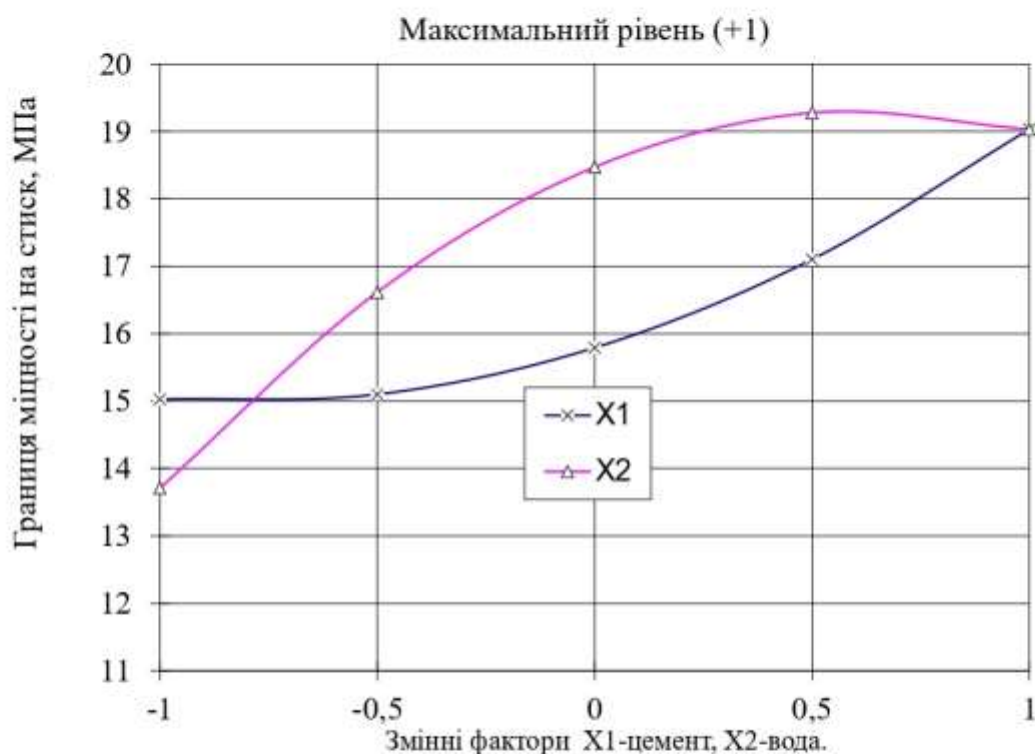


Рис. 5.7 Залежність міцності на стиск зразків в залежності від витрати цементу і води

При знаходженні факторів на максимальному рівні, найбільша міцність легкого бетону отримана при витраті води 355 л. Мінімум спостерігається в точці -1, а максимум в точці - 0,5. Та при витраті цементу 389 кг. Мінімум спостерігається в точці -1, а максимум в точці - 1. Криві витрати води та цементу зходяться в точці 1 і перетинаються між точками -0,5 та-1.

На рисунку 5.8 наведена апроксимуюча поверхня зміни міцності зразків легкого бетону залежно від змінних факторів експерименту. З неї видно, що зразки кубики отримали найбільшу міцність при максимальній витраті цементу та середньому та максимальній витраті води. Максимальна міцність зразка бетону отримана 18,87 МПа, а мінімальна міцність зразка – 11,28 МПа.

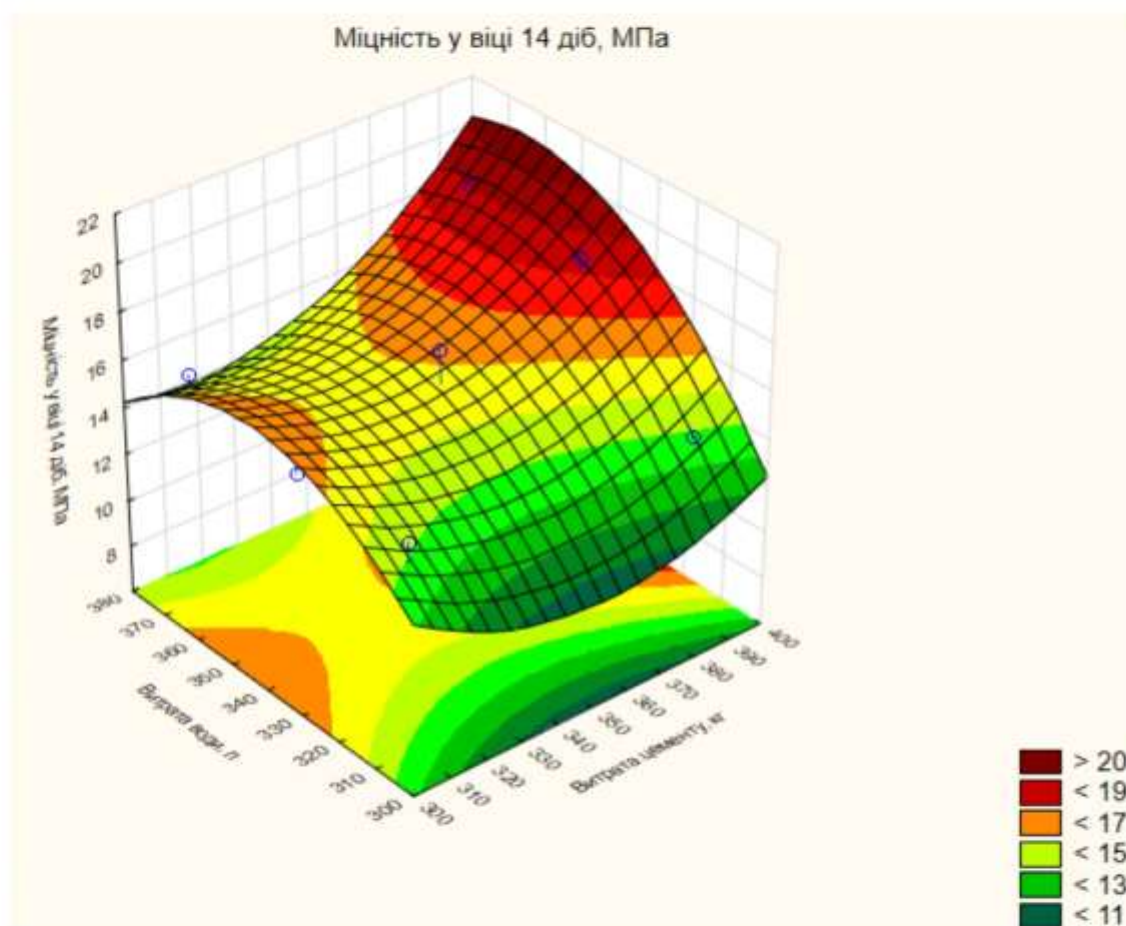


Рис. 5.8 Апроксимуюча поверхня зміни міцності зразків залежно від змінних факторів експерименту у віці 14 діб

Зразки при досягненні 28 діб висушували до сталої маси, вимірювали їх та важили. Кубики руйнували на гідравлічному пресі ПГС-250. Потім обраховували густину, всі данні заносили до таблиці 5.4. Вплив змінних факторів експерименту на міцність зображено на рис. 5.9, 5.10, 5.11, 5.12.

Таблиця 5.4 Характеристика зразків бетону у віці 28 діб

№	28 діб						
	навантаження	Розміри, см			маса	ρ	міцність
	кгс	а	в	с	кг	г/см ³	МПа
1	25782	10,2	9,9	10	1,552	1480	26,53
2	19245	10	9,8	10,2	1,496	1420	19,64
3	21937	10,2	9,7	10,2	1,505	1510	22,17
4	16937	9,5	10,3	10,3	1,498	1470	17,31
5	25013	10,3	9,4	10,3	1,527	1590	25,83
6	20206	9,5	9,8	10,2	1,497	1490	21,70
7	18091	10	9,8	10,2	1,469	1490	18,46
8	15207	9,9	9,8	10,3	1,467	1420	15,67
9	25710	9,9	9,8	10,2	1,495	1470	26,50
10	25974	10,1	9,8	10,2	1,514	1540	26,24
11	25250	10,1	10	10,1	1,501	1550	25,00

При знаходженні факторів на мінімальному рівні, найбільша міцність легкого бетону отримана при витраті води 355 л. Мінімум спостерігається в точці -1, а максимум в точці – 0,5. Та при витраті цементу 389 кг. Мінімум спостерігається в точці -0,5, а максимум в точці – 1. Апроксимуючі криві витрати води та цементу перебувають в точці -1 і перетинаються між точками 0,5 та 1.

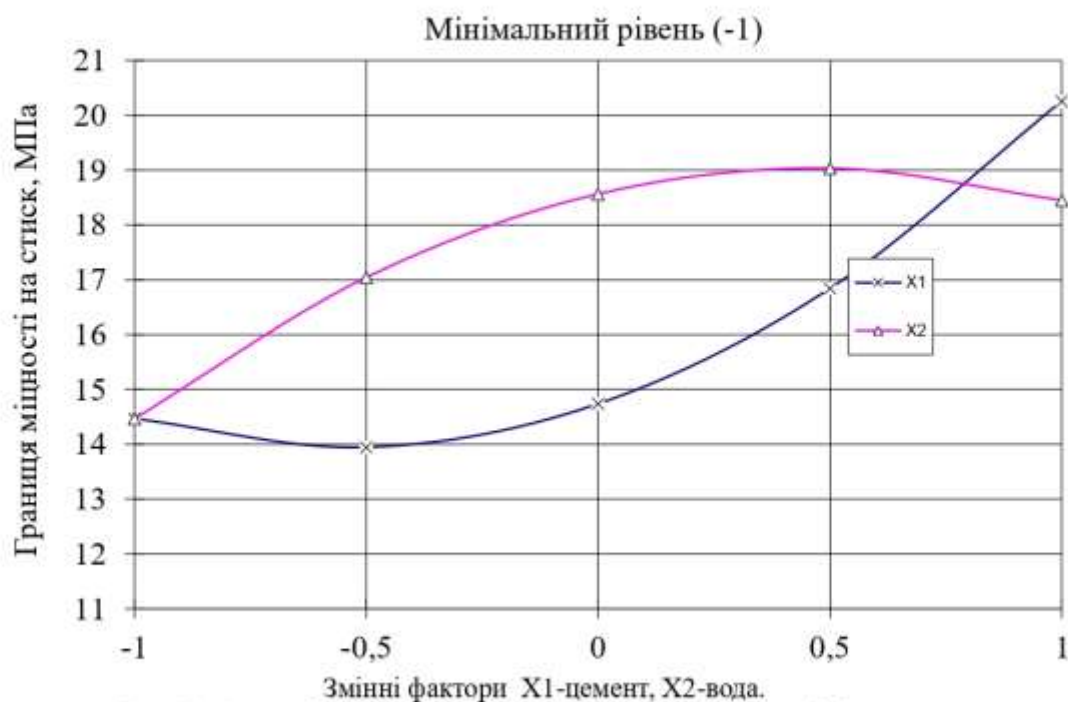


Рис. 5.9 Залежність міцності на стиск зразків в залежності від витрати цементу і води

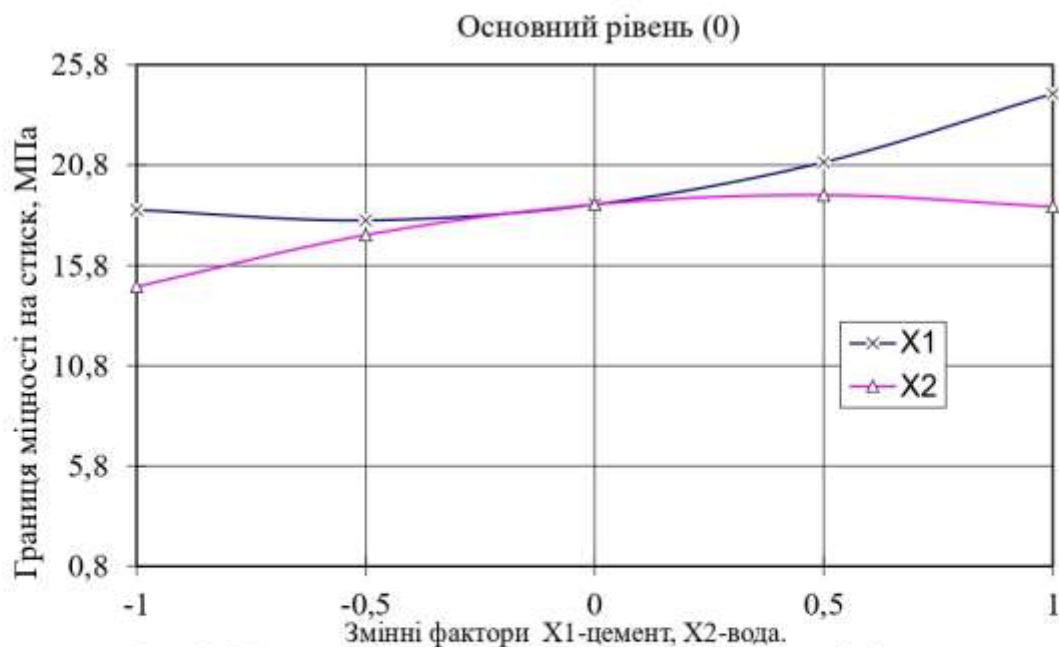


Рис. 5.10 Залежність міцності на стиск зразків в залежності від витрати цементу і води

При знаходженні факторів на середньому рівні, найбільша міцність легкого бетону отримана при витраті води 355 л. Мінімум спостерігається в точці -1, а максимум в точці - 0,5. Та при витраті цементу 389 кг. Мінімум спостерігається в точці -0,5, а максимум в точці - 1. Криві витрати води та цементу перебувають в точці 0.

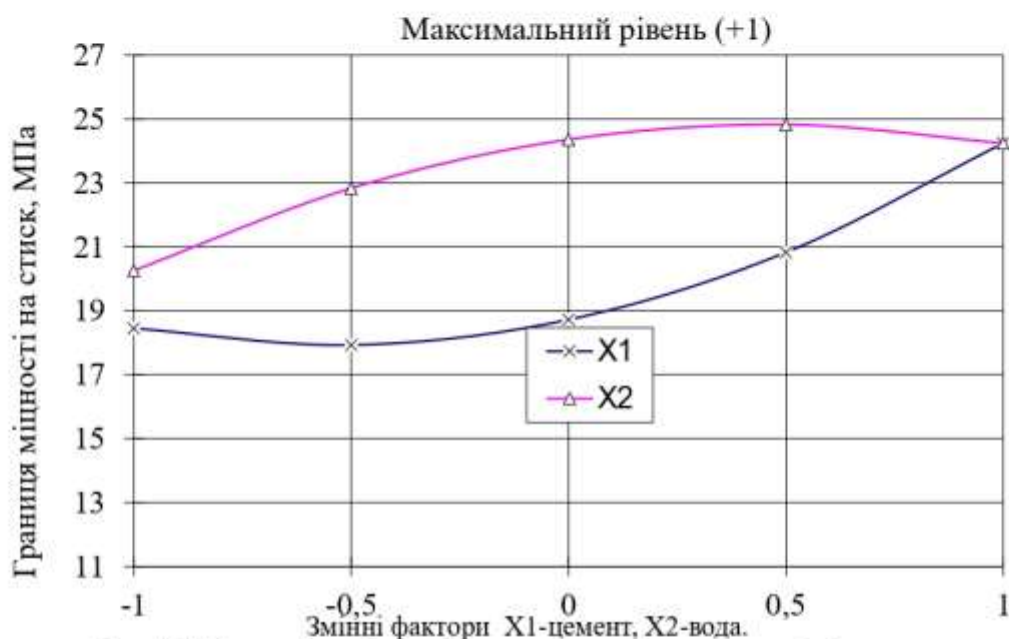


Рис. 5.11 Залежність міцності на стиск зразків в залежності від витрати цементу і води

При знаходженні факторів на максимальному рівні, найбільша міцність легкого бетону отримана при витраті води 355 л. Мінімум спостерігається в точці -1, а максимум в точці - 0,5. Та при витраті цементу 389 кг. Мінімум спостерігається в точці -0,5, а максимум в точці - 1. Криві витрати води та цементу перебувають в точці 1.

На рисунку 5.14 зображено графік, що моделює зміну міцності зразків залежно від експериментальних параметрів. З нього випливає, що найвищий показник міцності зразки продемонстрували за умови максимального використання цементу та середнього об'єму води. Максимальна отримана міцність зразка становить 26,5 МПа, а мінімальна отримана міцність - 15,67 МПа.

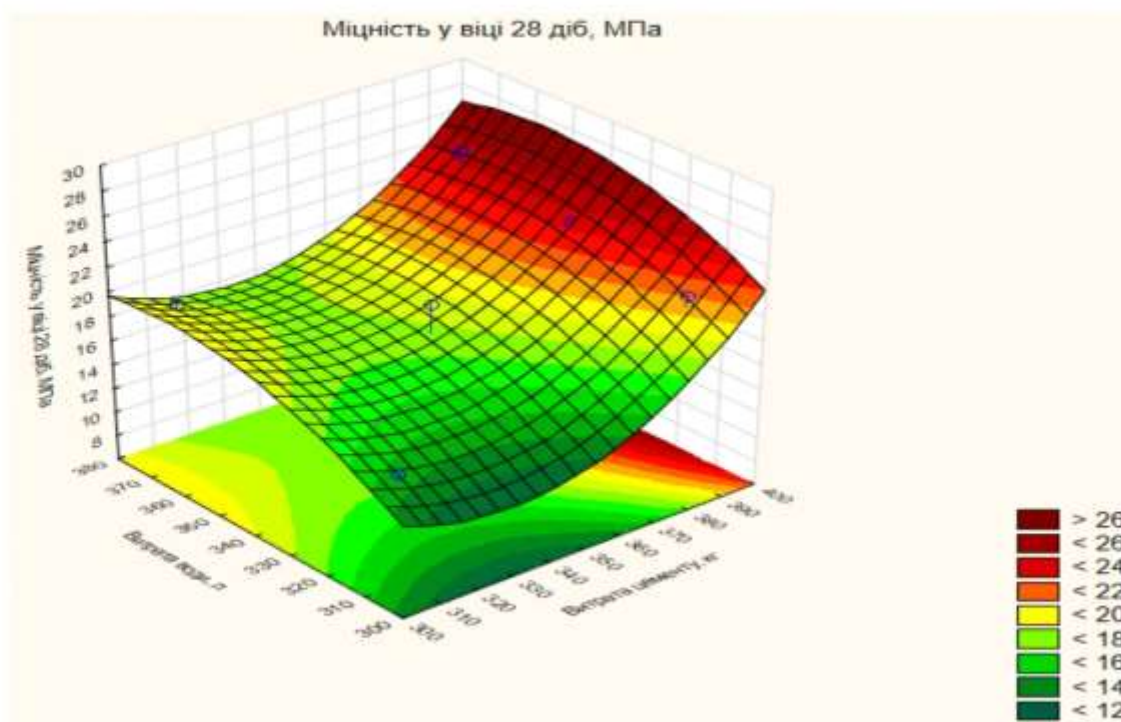


Рис. 5.12 Апроксимуюча поверхня зміни міцності зразків залежно від змінних факторів експерименту у віці 28 діб.

На данній діаграмі 5.13 зображено динаміку набору міцності зразків. Видно що вже в 7 діб зразки набрали міцність в середньому на 70%, а у віці 14 діб 80%. Однак і після 28 діб зразки продовжують набирати міцність.



Рис. 5.13 Динаміка набору міцності зразків.

5.3 Визначення густини зразків

На рисунку 5.14 зображено графік що моделює поверхню зміни густини бетону залежно від перемінних факторів експерименту. При витраті на середньому рівні води та максимальних витратах цементу найбільша щільність зразків. Максимальна густина зразка становить 1540 кг/м^3 , а мінімальна становить 1390 кг/м^3 .

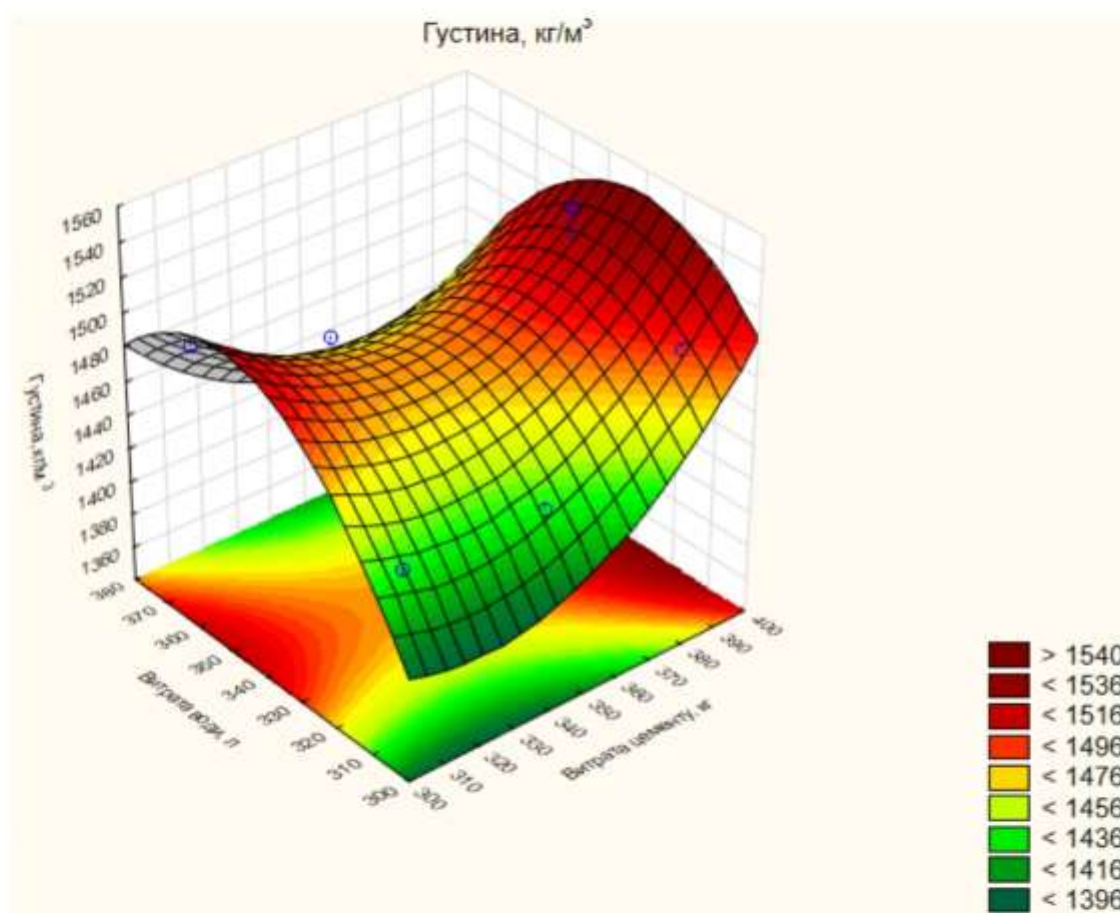


Рис. 5.14 Апроксимуюча поверхня зміни густини зразків залежно від змінних факторів експерименту.

5.4 Визначення водопоглинання зразків

На рисунку 5.15 зображена апроксимуюча поверхня зміни водопоглинання залежно від факторів експерименту що змінюються. При дослідженні зразків на водопоглинання, кубики замочувались на 4 доби, після чого висушували та важили. Спостерігається залежність – чим менша кількість води, тим більше водопоглинання. Максимальне значення водопоглинання становить 14.7%, а мінімальне - 10%.

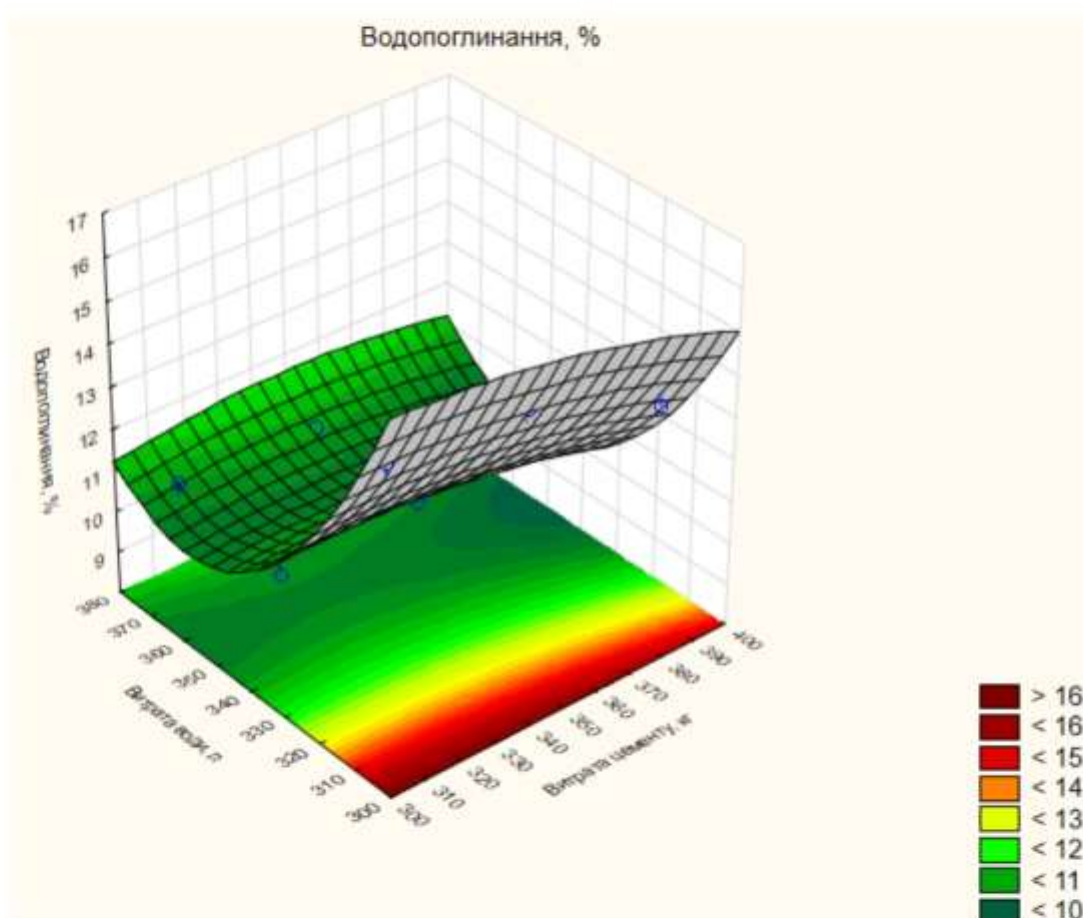


Рис. 5.15 Апроксимуюча поверхня зміни водопоглинання зразків залежно від факторів експерименту, що змінюються.

Було експериментально виготовлений стіновий блок з легкого золошлакобетону (розміром 20×30×40 см), а також пустот (2 пустоти розмірами 10×10×20 см), його густина становила 1200 кг/м³ і маса 24 кг.

РОЗДІЛ 6

ОХОРОНА ПРАЦІ

6.1 Аналіз шкідливих і небезпечних факторів, які діють на працюючих

При виробництві стінових блоків із легкого бетону на робітників можуть впливати такі небезпечні фактори:

- Запиленість повітря;
- недостатнє освітлення;
- підвищений рівень шуму та вібрації;

Технічні засоби і організаційні заходи по запобіганню можливої дії пилу

Пил є одним із найпоширеніших шкідливих факторів на промислових підприємствах, що виникає здебільшого через недоліки або застарілість виробничих технологій. У природних умовах, де проживає людина, концентрація пилу зазвичай не перевищує 0,1–0,2 мг/м³. У великих промислових регіонах цей показник зростає щонайменше до 0,5 мг/м³, тоді як безпосередньо на робочих місцях запиленість повітря може досягати навіть 100 мг/м³. Гранично допустима концентрація (ГДК) для нейтрального, хімічно неактивного пилу становить 10 мг/м³.

Фізико-хімічні властивості пилу включають його склад, ступінь дисперсності (подрібнення), внутрішню структуру частинок, розчинність, щільність, питому поверхню, параметри вибухонебезпечності сумішей «пил–повітря», а також електричні характеристики. Аналіз цих показників дозволяє оцінити рівень ризику, ступінь токсичності та вибухо- або пожежонебезпечність конкретного виду пилу.

Промисловий пил класифікують за кількома основними ознаками:

1. За походженням:

- органічний (рослинний, тваринний, синтетичний);
- неорганічний (мінеральний, металевий);
- змішаний — містить частки різного походження.

2. За способом утворення:

дезінтеграційний (утворюється при дробленні, різанні, шліфуванні тощо);
димовий (сажисті частки під час горіння речовин);
конденсаційний (результат конденсації парів розплавлених металів у повітрі).

3. За впливом на людину:

нейтральний (нетоксичний);
токсичний (чинить отруйну дію на організм).

Дисперсний склад є одним із найважливіших параметрів, оскільки визначає розміри частинок і їхню поведінку при потраплянні в організм. Найнебезпечніший пил — із частками до 0,015 мкм: він майже не затримується слизовими оболонками верхніх дихальних шляхів і проникає глибоко в легені. Ризик посилюється також формою частинок: гострокутні та зазубрені структури можуть травмувати слизові оболонки, спричинювати запальні процеси й створювати сприятливі умови для проникнення патогенних мікроорганізмів. Це може призвести до широкого спектра захворювань: риніту, бронхітів, пневмонії, виразкових уражень носової перегородки, кон'юнктивітів, дерматитів тощо.

Тривале вдихання пилу сприяє розвитку професійних захворювань, серед яких найбільш небезпечним є пневмоконіоз. Особливо тяжка його форма — силікоз, що виникає при регулярному вдиханні пилу з вмістом вільного діоксиду кремнію. Деякі види органічного пилу, наприклад борошняний чи зерновий, можуть провокувати хронічні запалення дихальних шляхів.

Визначити рівень запиленості можна різними методами: гравіметричним (ваговим), мікроскопічним (лічильним), фотометричним тощо. Найпоширенішим у санітарно-гігієнічній практиці є гравіметричний метод, адже саме маса пилу, що потрапляє в організм, має ключове значення для оцінки його впливу. Однак лише масового аналізу недостатньо — необхідно враховувати також хімічний склад та дисперсну структуру частинок.

Очищення повітря від пилу здійснюють кількома способами:

аспіраційним методом — шляхом просмоктування повітря через спеціальні

фільтри;

седиментаційним методом — природним осіданням частинок на певну поверхню з подальшим аналізом;

електроосадженням — у високовольтному електричному полі, яке змушує заряджені частинки осідати на електродах.

Для підтримання нормативного рівня чистоти повітря у виробничих приміщеннях застосовують такі основні заходи:

Запобігання викидам пилу шляхом герметизації обладнання, ущільнення стиків, модернізації технологічних процесів.

Видалення пилу, який потрапив у повітря робочої зони, за допомогою вентиляційних систем, аспірації та кондиціювання.

Індивідуальний захист працівників (респіратори, маски).

Підвищення рівня автоматизації дозволяє мінімізувати контакт працівників із джерелами пилу, переміщуючи їх у зони з очищеним повітрям. Також важливим є впровадження сучасних технологій, що передбачають використання менш шкідливих матеріалів або відмову від пилогенних операцій, а також установа пилловловлювальних систем у технологічних циклах.

Технічні засоби і організаційні заходи по запобіганню можливої дії недостатнього освітлення

Освітлення є одним із ключових чинників, що впливають на життєдіяльність людини та ефективність її праці. Близько 90% інформації ми одержуємо завдяки зору, тому якісно організоване світлове середовище є необхідною умовою для виконання будь-якої роботи. Світло не лише забезпечує функціонування зорового аналізатора, а й виступає важливим біологічним регулятором — воно формує добові ритми організму, визначаючи періоди активності та відпочинку. Через це як недостатня, так і надмірна освітленість призводить до зниження тону центральної нервової системи й послаблює працездатність.

Належний рівень освітлення також є показником культури виробництва. У темних або погано освітлених приміщеннях неможливо забезпечити чистоту,

порядок та нормальні умови для праці. Неналежне освітлення є однією з поширених причин виробничого травматизму, що може спричинити значні матеріальні втрати, а головне — загрожує здоров'ю та життю людини. Отже, раціональне освітлення повинно відповідати низці вимог: бути достатньо інтенсивним, рівномірно розподіленим, не створювати різких тіней і не засліплювати працівника; напрямок світлового потоку має забезпечувати максимально комфортні умови для виконання роботи.

З фізичної точки зору світло — це електромагнітне випромінювання з діапазоном довжин хвиль 380–780 нм. Біле світло складається з набору спектральних кольорів: від фіолетового до червоного. Випромінювання за межами цього діапазону належить до інфрачервоного або ультрафіолетового.

У виробничих умовах використовують три типи освітлення: природне, штучне та суміщене.

Природне забезпечується прямим або розсіяним сонячним світлом, яке потрапляє у приміщення через вікна чи інші світлові прорізи.

Штучне створюється завдяки світловим приладам і застосовується як у темну пору доби, так і у приміщеннях без доступу природного світла.

Суміщене поєднує обидва види й дозволяє отримати оптимальну освітленість.

Світлотехніка оперує такими основними величинами, як світловий потік, сила світла, освітленість і яскравість. За функціональним призначенням штучне освітлення поділяють на робоче, аварійне, евакуаційне та охоронне. За способом подачі світла — на загальне, місцеве та комбіноване.

Загальне освітлення застосовується для рівномірного освітлення всього приміщення. Локалізоване загальне освітлення використовують на виробничих лініях або там, де виконуються різні за характером роботи.

Місьцеве освітлення концентрується на окремих робочих зонах і використовується як стаціонарне чи переносне. Воно повинно бути безпечним та зручним у користуванні, однак не може використовуватись без загального

освітлення, оскільки створює значний контраст і сприяє швидкій втомі очей.

Комбіноване освітлення поєднує загальне та місцеве і застосовується для робіт середньої та високої точності.

Основними джерелами штучного світла на підприємствах є лампи розжарювання та газорозрядні лампи різних типів. Лампи розжарювання мають порівняно низьку світловіддачу (10–15 лм/Вт), високий рівень тепловиділення та короткий термін служби — близько 1000 годин. Водночас вони прості в експлуатації, надійні та добре працюють за різних умов зовнішнього середовища.

Газорозрядні лампи, зокрема люмінесцентні та дугові ртутні лампи (ДРЛ), є значно економнішими та забезпечують спектр світла, наближений до природного. Люмінесцентні лампи мають світловіддачу 30–80 лм/Вт і працюють у 2,5–3 рази довше, ніж лампи розжарювання. Їх застосування особливо ефективно для приміщень із недостатнім природним освітленням та для робіт, де важливе точне розрізнення кольорів. Різні типи люмінесцентних ламп (ЛБ, ЛД, ЛДЦ, ЛТБ, ЛХБ тощо) відрізняються спектральним складом і вибираються залежно від характеру виробничих завдань.

Газорозрядні лампи мають і певні недоліки: пульсацію світлового потоку, шум дроселів, високу вартість світильників. Пульсації можуть спричинити стробоскопічний ефект — спотворене сприйняття рухомих об'єктів. Для усунення цього застосовують живлення різних ламп від різних фаз або високочастотні пристрої.

Світильники складаються з джерела світла та арматури, яка спрямовує світловий потік, захищає очі від засліплення та перешкоджає забрудненню ламп. За напрямком випромінювання світильники бувають прямого, відбитого та напіввідбитого світла.

Норми визначають мінімальну освітленість виробничих приміщень залежно від складності зорової роботи, контрастності об'єктів та типу фону. Усі роботи класифікують на 8 розрядів точності, кожен із яких має підрозряди. У промисловості найчастіше зустрічаються роботи III–VIII розрядів.

Окрім основного освітлення, на підприємствах передбачають додаткові системи:

Аварійне освітлення — для забезпечення безпеки та продовження роботи в разі аварійного вимкнення основного освітлення. Його мінімальна освітленість становить 5% від робочої, але не менше 2 лк у приміщенні та 1 лк на відкритій території.

Евакуаційне освітлення — для безпечного пересування людей під час евакуації. Воно повинно забезпечувати не менше 0,5 лк на сходах або підлозі.

Охоронне освітлення — вмикається на території об'єкта в нічний час або використовується в якості чергового, забезпечуючи мінімум 0,5 лк.

Технічні засоби і організаційні заходи по запобіганню можливої дії шуму та вібрації

Звук — це процес поширення хвильових механічних коливань у пружному середовищі, які передають енергію від частинки до частинки. Будь-який звук можна описати його частотою, амплітудою та тим, як коливання змінюються з часом. Увесь спектр звукових хвиль умовно поділяють на декілька діапазонів. Інфразвукові хвилі мають частоту до 20 Гц і не сприймаються людським слухом. Чутний діапазон, який охоплює частоти приблизно від 20 до 20 000 Гц, доступний для сприйняття вухом людини.

Хвилі з частотами, що перевищують 20 кГц, називають ультразвуком, а при частотах понад 10^9 Гц — гіперзвуком. Ці типи хвиль також не розрізняються людським вухом.

Шум — це хаотичні звукові коливання в межах чутного спектра, що характеризуються непостійністю частоти та амплітуди. Такі сигнали не несуть корисного змісту і зазвичай сприймаються як небажане акустичне тло.

Вібрація — це механічні коливання твердих тіл, які можуть негативно впливати на організм людини, прискорювати зношення обладнання та спричинити руйнування конструкцій.

Звукова хвиля виникає тоді, коли спокійний стан середовища порушується

дією зовнішньої сили. Частинки починають коливатися біля положення рівноваги, причому їх коливальна швидкість значно менша за швидкість поширення самої хвилі. Швидкість звуку залежить передусім від густини, температури та пружних характеристик середовища. Під час проходження звукових хвиль у повітрі утворюються зони підвищеного та зниженого тиску.

Звуковий тиск (P_a) — це різниця між миттєвим тиском у певній точці та середнім тиском у спокійному повітрі.

Звук переносить енергію, величина якої визначається його інтенсивністю. Інтенсивність звуку (W/m^2) — це середня кількість енергії, що проходить через одиницю площі, розташовану перпендикулярно до напрямку поширення хвилі.

Характеристика джерела шуму — звукова потужність, яка показує, скільки енергії випромінюється за одиницю часу.

Вібраційні процеси описують такими параметрами: частота коливань, амплітуда зміщення, віброшвидкість та віброприскорення. За способом передавання на людину вібрації бувають:

локальні — надходять переважно через руки або ноги;

загальні — впливають через опорні площини (підлога, сидіння, платформи).

Загальна вібрація поділяється на такі види:

транспортна — передається людині під час руху транспортного засобу;

транспортно-технологічна — виникає на машинах, що пересуваються в межах виробничих майданчиків;

технологічна — поширюється від стаціонарного обладнання через конструкції будівлі.

Методи зниження шуму та вібрації механічного походження

Зниження негативної дії коливань здійснюється кількома групами заходів:

Боротьба в місці виникнення шуму та вібрації:

- використання обладнання з мінімальним акустичним випромінюванням;
- заміна ударних процесів на безударні;
- застосування деталей із матеріалів із великим внутрішнім тертям (гума,

деревина, полімери);

- використання підшипників ковзання замість кочення;
- заміна прямозубих передач на косозубі або шевронні;
- регулярне технічне обслуговування вузлів, що створюють шум.

Перешкоджання поширенню шуму та вібрації:

- звукоізоляція (огороження, кожухи, екрани);
 - вібропоглинання та вібророзв'язка;
 - використання звукопоглинаючих матеріалів.
- Захист працівників:
- застосування засобів індивідуального захисту;
 - раціональні режими праці та відпочинку;
 - обмеження часу перебування у шумних зонах.

Методи зменшення шумів аеродинамічного та гідродинамічного типу

Для зниження шумів, що виникають у потоках повітря або рідин, використовують такі підходи:

- зменшення швидкості руху потоків для переходу до ламінарного режиму;
- застосування глушників зі звукопоглинальними матеріалами, здатних поглинати коливальну енергію;
- використання спеціальних конструкцій глушників, що руйнують потік або змінюють напрям руху, зменшуючи його енергію за рахунок взаємодії прямого й зворотного потоків.

Звукоізоляція та звукопоглинання

Одним із найефективніших і найпростіших способів зменшити шум є акустична ізоляція.

Звукоізоляційні конструкції (кожухи, стіни, перегородки) виготовляють із щільних матеріалів — металу, бетону, товстої пластмаси, цегли. Їх здатність стримувати звук описують коефіцієнтом звукопровідності τ .

Звукопоглинальні матеріали (мінеральна вата, пінополіуретан, пористий бетон, скловолокно, перфоровані панелі) поглинають частину енергії хвилі за рахунок

тертя повітря в порах або деформації волокон. Коефіцієнт звукопоглинання α для таких матеріалів становить більше 0,2.

Найкращий ефект досягається при поєднанні обох типів матеріалів.

Акустичні екрани

Для зменшення рівнів середніх і високих частот використовують акустичні екрани. Це щити з облицюванням зі звукопоглинального матеріалу (товщина від 50–60 мм), які встановлюють між джерелом шуму та працюючим. За екраном утворюється зона «акустичної тіні» — область зниженої інтенсивності звуку.

Акустичний захист будівель проєктують на основі спеціальних розрахунків, що дозволяють визначити рівень звукового тиску в потрібних точках і порівняти його з нормованими значеннями.

Глушники для аеродинамічних та гідродинамічних шумів

Використовують два основних типи:

активні глушники — з внутрішнім звукопоглинальним покриттям, яке поглинає імпульсні коливання потоку;

реактивні глушники — мають спеціальну форму камер, які відбивають і гасять хвилі певних частот (ефект зниження шуму — 20–30 дБ).

Для розширення діапазону ефективності застосовують комбіновані глушники.

Електромагнітний шум

Електромагнітні акустичні коливання виникають у машинах із електроприводом під дією змінних магнітних полів. Їх рівень знижують удосконаленням конструкції електричних машин, використанням якісних магнітопроводів та оптимізацією режимів роботи.

6.2 Надання першої медичної допомоги при дії різних шкідливих і виробничих факторів

Професійні захворювання — це патологічні стани, що виникають унаслідок тривалої або інтенсивної дії на працівника шкідливих виробничих чинників, пов'язаних із певним видом трудової діяльності. Іншими словами, такі хвороби є

прямим наслідком умов праці, у яких людина перебуває щоденно.

До професійних недуг насамперед відносять ті, що формуються в результаті дії виробничих шкідливостей, а також захворювання, частота виникнення яких у конкретних виробничих умовах значно вища за загальнопопуляційну.

Шкідливі фактори у виробництві легких бетонів

На працівників підприємств, що займаються виготовленням легких бетонів (пінобетону, газобетону, керамзитобетону тощо), впливає низка небезпечних чинників. Серед найпоширеніших:

- мінеральний та цементний пил, який утворюється під час дозування, змішування та транспортування компонентів бетону;
- хімічні реагенти, зокрема поверхнево-активні речовини, пластифікатори, газоутворювачі, що можуть спричинити подразнення шкіри й дихальних шляхів;
- підвищений рівень шуму та вібрації, які виникають під час роботи змішувачів, дробарок, вібростолів, компресорів;
- тривале статичне та динамічне навантаження, що пов'язане з ручним транспортуванням форм, пересуванням важких елементів та однотипними рухами;
- біологічні фактори (рідше), наприклад мікроорганізми, що розвиваються у вологих технологічних середовищах або в готовому матеріалі під час його дозрівання.

Можливі наслідки впливу шкідливих факторів

Тривала дія підвищеної концентрації цементного пилу може стати причиною хронічних хвороб дихальної системи: бронхіту, пневмоконіозу, алергічних реакцій. Сильна вібрація під час роботи з вібростолами може сприяти розвитку вібраційної хвороби, а надмірний шум — викликати приглухуватість або неврит слухового нерва.

Контакт із хімічними добавками іноді призводить до подразнень шкіри, дерматитів або інтоксикації.

До професійних хвороб, частіше виявлених у виробничих умовах, відносять також різні форми алергій, екземи, ураження опорно-рухового апарату, неврологічні порушення внаслідок систематичного перевантаження одних і тих самих м'язових груп.

Гострі й хронічні професійні захворювання

Професійні хвороби можуть мати гострий або хронічний перебіг.

Хронічні формуються поступово — зазвичай упродовж 10–20 років роботи. Їх розвиток пов'язаний із тривалим впливом помірних концентрацій пилу, шуму, вібрації чи хімічних речовин. Наприклад, бронхолегеневі хвороби у працівників бетонного виробництва часто з'являються вже через десятиліття після початку роботи.

Гострі отруєння або ураження виникають раптово — при короткочасному впливі значних доз шкідливих речовин або дії високої температури, надмірного випромінювання, різкого шумового удару. Такі ситуації можливі, наприклад, при розливі хімічних компонентів, аварії на змішувальному обладнанні або порушенні правил безпеки.

Фактори, що впливають на розвиток захворювання

Навіть робота у шкідливих умовах не гарантує виникнення професійної хвороби.

На формування патології впливають:

- концентрація та тривалість дії шкідливого чинника;
- технологічні умови праці;
- рівень вентиляції та санітарно-гігієнічні умови виробництва;
- застосування засобів індивідуального захисту;
- індивідуальна чутливість організму працівника.

Організм зазнає негативних змін лише у випадку, коли навантаження перевищує безпечні (допустимі) межі.

Нормативи безпеки у виробництві легких бетонів

Для всіх хімічних речовин, що використовуються у бетонному виробництві, установлені гранично допустимі концентрації (ГДК) у повітрі робочої зони, воді,

грунті та харчових продуктах. ГДК — це такі концентрації, які при щоденній восьмигодинній роботі протягом усього трудового життя не викликають патологічних змін у працівника.

Також визначені допустимі:

- рівні вібрації від вібростолів і бетонозмішувачів,
- параметри шуму, який створює виробниче обладнання,
- кількість пилу в зоні дихання працівника.

Контроль за дотриманням цих норм здійснюють служби державного санітарного нагляду, однак відповідальність за безпечні умови праці несе й керівництво підприємства. Регулярний моніторинг шкідливих факторів і суворе дотримання нормативів дозволяють значною мірою знизити ризик професійних хвороб серед працівників, зайнятих на виробництві легких бетонів.

6.3 Протипожежні заходи

Забезпечення належного рівня пожежної безпеки на підприємствах, що займаються виробництвом легких бетонів, покладається на адміністрацію та осіб, відповідальних за організацію робіт. При формуванні будівельного генерального плану були враховані вимоги протипожежних норм: дотримано санітарні та пожежні розриви між спорудами, передбачено зручні під'їзди для спецтехніки, а також можливість безперешкодного доступу пожежних автомобілів до гідрантів.

Будівля виробничого комплексу належить до II ступеня вогнестійкості, оскільки її несучі та огорожувальні конструкції зведені з негорючих матеріалів — бетону, залізобетону, природного каменю та спеціальних плитних протипожежних матеріалів. Це значно знижує ризик швидкого поширення вогню між приміщеннями.

Виникнення пожеж, як правило, пов'язане з недотриманням правил пожежної безпеки, необережністю при роботі з відкритими джерелами вогню та неправильною класифікацією виробничого процесу щодо вибухопожежної небезпеки. У виробництві легких бетонів додатковими факторами ризику можуть бути перегрів обладнання, короткі замикання в електричних мережах, займання

пилу цементу чи полістирольних гранул, а також контакт нагрітих або розплавлених елементів агрегатів з горючими матеріалами.

Щоб запобігти небезпечним ситуаціям, у виробничих приміщеннях встановлено автоматичну пожежну сигналізацію, обладнану тепловими та димовими датчиками. Вони реагують на підвищення температури або появу диму й передають сигнал тривоги, що забезпечує швидке реагування персоналу та пожежних служб.

Для стримування поширення вогню використовуються протипожежні перешкоди — перегородки, відсіки, протипожежні двері та клапани. Це дозволяє локалізувати вогнище та не допустити його переходу на сусідні ділянки виробництва.

Захист працівників від задимлення забезпечує система протидимової вентиляції: місцева та загальнообмінна витяжна вентиляція. У випадку пожежі вона автоматично переходить на максимальний режим, дозволяючи швидко видаляти продукти горіння, що значно покращує видимість і скорочує ризик отруєння димом.

Для гасіння невеликих загорянь на території підприємства встановлені пожежні щити, оснащені первинними засобами пожежогасіння: пінними вогнегасниками (типу ОП-5) — для ліквідації загорянь твердих і рідких матеріалів, вуглекислотними (ОУ-2, ОУ-5) — для гасіння електрообладнання та дрібних осередків вогню, а також порошковими вогнегасниками (ОПС-10), які ефективні для горіння металів і сумішей. Пісок застосовують для локалізації витоків легкогорючих рідин. Весь персонал проходить інструктаж щодо правил використання цих засобів та дій у разі пожежі.

На виробництві встановлена система внутрішнього водяного пожежогасіння, що дозволяє швидко знизити температуру та обмежити поширення полум'я до прибуття рятувальних служб.

Для забезпечення безпечної евакуації працівників розроблено план руху людей у разі пожежі, вказані шляхи виходу та можливі напрямки евакуації. Усі

евакуаційні та запасні виходи утримуються в справному стані: у звичайних умовах вони зачинені, але при пожежній тривозі автоматично відмикаються, забезпечуючи вільний вихід з приміщення.

6.4 Розрахувати штучне освітлення цеху методом коефіцієнта використання світлового потоку

Основні поняття та вимоги до штучного освітлення

Штучне освітлення нормується у люксах залежно від категорії робіт за зоровою точністю і визначає мінімальну освітленість робочої поверхні.

- Види штучного виробничого освітлення за розташуванням:
 - загальне освітлення — освітлює все приміщення або відкритий майданчик і залежно від технологічного процесу виконується рівномірним ПО ВСІЙ площі об'єкта або локалізованим в окремій частині;
 - комбіноване освітлення — одночасне використання загального та місцевого освітлення, місцеве освітлення призначене тільки для освітлення робочих поверхонь (наприклад, письмового стола).

Види штучного виробничого освітлення за призначенням:

- 1) робоче освітлення - освітлення, що забезпечує робочий процес;
- 2) аварійне освітлення - для продовження роботи при відключенні робочого освітлення (наявність автономного джерела живлення);
 - охоронне освітлення - для спостереження за об'єктом у неробочий час (невисокий рівень);
- 3) евакуаційне освітлення - для забезпечення евакуації людей із приміщення. Види ламп за принципом дії:

1) лампи розжарювання (вакуумні, галогенові) - електричний струм проходить через вольфрамову дротинку, яка нагрівається і світиться; переваги - не мерехтять, недоліки - великі питомі вигради електричної енергії (ККД»10%), спектр далекий від природного, відносно короткий строк служби (1000 год.);

2) лампи газорозрядні (люмінесцентні, ртутні, металогенні, натрієві, ксенонові) - розряд електричного струму в газі змушує світитися люмінофор

унаслідок бомбардування його зарядженими елементарними часточками або безпосередньо газ; переваги - малі питомі витрати електричної енергії (ККД \ll 50%), спектр близький до природного (люмінесцентні) і може змінюватися, досить довгий строк служби (8000 год.), недоліки мерехтять із частотою, відчутною для очей.

Види освітлювальних приладів:

- 1) світильники - пристрій для закріплення та живлення лампи і розсіювання, відбиття та концентрації світла в потрібному напрямку;
- 2) прожектори - світильники, що можуть підсилювати світловий потік у визначеному напрямку більше ніж у 5 разів.

Залежно від умов виробництва конструктивні рішення світильників можуть бути відкритими, водонепроникними, пилонаепроникними, вибухозахщеними і т. ін.

Висота підвісу світильників загального освітлення над робочим місцем не може бути меншою за 2,5 м, або в світильнику застосовується напруга 42 В.

Розрахувати штучне освітлення у виробничому приміщенні або на відкритій площадці означає підібрати тип лампи та світильника, підібрати потужність і кількість освітлювальних приладів, висоту і місце розташування світильників на плані.

Даний метод полягає в урахуванні коефіцієнта світловідбиття від основних поверхонь у приміщенні та співвідношення геометричних розмірів приміщення.

Розрахунок

Вихідні дані: лампи типу ДРЛ-250, приміщення $A \times B \times H = 78 \times 42 \times 7,2$ м, коефіцієнти відбиття для стелі $x_1 = 70\%$, для стін $x_2 = 50\%$, $h_p = 0,7$ м, $h_c = 0,3$ м, .

- 1) висота підвіски розрахункова світильника

$$h = H - h_p - h_c = 7,2 - 0,7 - 0,3 = 6,2 \text{ м};$$

- 2) оптимальна відстань між світильниками при багаторядному розташуванні

$$L = 1,5 \cdot h = 1,5 \cdot 6,2 = 9,3 \text{ м};$$

- 3) оптимальна кількість світильників

$$n = \frac{A \cdot B}{L^2} = \frac{78 \cdot 42}{9,3^2} = 38 \text{ шт};$$

4) визначення індексу приміщення

$$i = \frac{A \cdot B}{[h \cdot (A + B)]} = \frac{78 \cdot 42}{[6,2 \cdot (78 + 42)]} = 4,4;$$

5) приймаємо за потрібними параметрами лампу потужність 250Вт і світловим потоком 11000 лм у кількості

$$n = \frac{E_n \cdot k \cdot A \cdot B \cdot z}{\Phi \cdot \eta} = \frac{200 \cdot 1,5 \cdot 78 \cdot 42 \cdot 1,15}{11000 \cdot 0,695} = 144 \text{ шт},$$

Де $E_n = 200 \text{лк}$ – нормативна освітленість;

$k = 1,5$ – коефіцієнт запасу на запилення;

$\eta = 0,695$ – коефіцієнт використання світлового потоку;

$z = 1,15$ – коефіцієнт нерівномірності освітлення.

Відповідь: $n = 144$ шт.

6.5 Розрахувати штучне заземлення в електроустановках напругою до 1000

В методом коефіцієнта використання електродів

Вихідні дані:

1. Питомий опір ґрунту $\rho_{\text{грунт}} = 400 \text{ Ом} \cdot \text{м};$
2. В якості вертикального заземлювача (електрода) використовуються сталеві труби діаметром 45 мм;
3. Довжина вертикального електроду 4,6 м;
4. Горизонтальний електрод із круглої сталі діаметром 25 мм;
5. Електроди розташовуються по контуру;
6. Відношення $l / a = 2;$
7. Кліматична зона III;
8. Ґрунт малої вологості.
9. Довжина горизонтального електроду $l / a = 2 \Rightarrow a = 2l = 2 \cdot 4,6 = 9,2$

Розрахунок заземлення:

1) Розрахунковий питомий опір ґрунту:

$$\rho_p = \rho_B \cdot \psi = 400 \cdot 1,4 = 560 \text{ Ом} \cdot \text{м},$$

де ψ – коефіцієнт сезонності, залежить від вологості ґрунту під час вимірювання питомого опору;

2) глибина залягання середини вертикального електроду:

$$t_B = G - S + \frac{L_B}{2} = 0,8 - 0,2 + \frac{4,6}{2} = 2,9 \text{ м},$$

3) опір розтікання струму одиночного вертикального електроду:

$$R_B = \frac{\rho_p}{2 \cdot \pi \cdot L_B} \cdot \left(L_n \cdot \frac{2 \cdot L_B}{d_B} + 0,5 \cdot L_n \cdot \frac{4 \cdot t_B + L_B}{4 \cdot t_B - L_B} \right) =$$

$$\frac{560}{2 \cdot 3,14 \cdot 4,6} \cdot \left(L_n \cdot \frac{2 \cdot 4,6}{0,045} + 0,5 \cdot L_n \cdot \frac{4 \cdot 2,9 + 4,6}{4 \cdot 2,9 - 4,6} \right) = 100,9 \text{ Ом}.$$

4) потрібна кількість вертикальних електродів:

$$n = \frac{R_B}{R_n \cdot \eta_B} = \frac{104,9}{10 \cdot 1} \approx 10 \text{ шт};$$

де η_B - коефіцієнт використання вертикального електроду;

5) довжина горизонтального електрода при контурному заземленні:

$$L = L_r \cdot n = 9,2 \cdot 10 = 92 \text{ м},$$

6) глибина залягання середини горизонтального електроду:

$$t_r = G - S = 0,8 - 0,2 = 0,6 \text{ м},$$

7) опір розтіканню струму всіх горизонтальних електродів:

$$R_r = \frac{\rho_p}{2 \cdot \pi \cdot L} \cdot L_n \cdot \frac{L^2}{b \cdot t_r} = \frac{560}{2 \cdot 3,14 \cdot 92} \cdot L_n \cdot \frac{92^2}{0,025 \cdot 0,6} = 12,8 \text{ Ом};$$

8) коефіцієнт використання вертикального електроду:

$$\eta_B = 0,68;$$

9) коефіцієнт використання горизонтального електроду:

$$\eta_r = 0,40;$$

10) уточнений опір заземлюючого пристрою:

$$R_0 = \frac{R_g \cdot R_r}{R_g \cdot \eta_r + R_r \cdot \eta_r \cdot n} = \frac{100,9 \cdot 12,8}{100,9 \cdot 0,4 + 12,8 \cdot 0,68 \cdot 10} = 10 \leq R_n = 10 \text{ Ом};$$

Висновок:

Оскільки при даному значенні питомого опору ґрунту ($\rho=400 \text{ Ом}\cdot\text{м}$) розрахункове значення імпульсного опору комбінованого заземлення $R_0=10 \text{ Ом}$ рівне виміряного значення $R_n=10 \text{ Ом}$, то остаточно приймаємо захисне заземлення із десяти вертикальних електродів з'єднаних сталевим прутком.

РОЗДІЛ 7

ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ДОСЛІДЖЕНЬ.

При порівнянні золошлакоблоку з іншими видами блоків (керамічні, ніздрюваті та інших) можна зробити такі висновки:

- перевагою золошлакоблоку є те, що його на відміну керамічних блоків не потрібно випалювати.
- на відміну від блоків на пористих заповнювачах не потребує крупного заповнювача.
- перевага золошлакоблоку над блоками з ніздрюватого бетону полягає в високій технологічності виробництва останнього.
- Значні запаси золошлаку та його дешивезна, до того ж він не потребує додаткової обробки.
- Використання заповнювачів з відходів ТЕЦ у стінових блоках виконує роль утилізації відходів, що при масштабному використанні зменшить кількість забруднених відходами територій
- Стінові блоки з використанням золи характеризується більшою зв'язністю і меншим розшаруванням. Бетон при цьому має велику міцність, щільність, меншу теплопровідність.
- Золошлакоблок є поліфункціональним виробом, тобто він не тільки енергоефективний а й конструктивний виріб.
- Виробництво блоку не є енергоємним процесом, також не потребує спеціального обладнання.

1) Вдосконалено методику розрахунку складу бетону, що враховують спосіб приготування бетону та спосіб набору міцності.

2) Досліджено вплив витрати цементу та води в золошлакобетоні на міцність бетону. Після випробування зразків встановлено (відповідно до математичного планування), що найбільшу міцність вони набрали при максимальному використанні цементу і середньому використанні води.

Максимальна міцність зразка бетону становить 26,5 МПа, тобто клас бетону становить В 20, хоча розрахунковий клас бетону мав бути В 10.

3) Досліджено водопоглинання зразків золошлакобетону, воно в середньому становило 11,37 %.

4) Визначено густину зразків-кубиків із золошлакобетону, вона становила в середньому 1474 кг/м³.

Отже, можна підсумувати, що використання золошлакобетону та виробів з нього є перспективним напрямком у будівельній галузі, особливо враховуючи складні економічні та екологічні проблеми в Україні.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бондар А. В., Очеретний В. П., Ковальський В. П., «Використання відходів вапняку та промислових відходів у виробництві сухих будівельних сумішей», СучТехнБудів, вип. 6, вип. 1, с. 36–40, Чер 2009.
2. Гоц В.І., Ефективні будівельні матеріали та вироби на основі активованих паливних зол і шлаків // автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук.- Київ, 2009.
3. Теоретичні основи будівельного матеріалознавства: навчальний посібник. Дворкін Л.Й. – Київ: Каравела, 2023. –799 с.
4. Annual Book of ASTM Standards. 1997. V. 4.02. P.291- 293.
5. Ефективні золівмісні цементи, бетони та розчини: монографія. Дворкін Л.Й. Київ: Каравела, 2022. – 419 с.
6. Використання техногенних продуктів у будівництві: Навчальний посібник /Дворкін Л.Й., Дворкін О.Л., Пушкарьова К.К. та ін. - Рівне, 2019. - 340 с.
7. Ковальський В. П. Використання золи виносу ТЕС у будівельних матеріалах [Текст] / В. П. Ковальський, О. С. Сідлак // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. - 2014. - № 1. - С. 35-40.
8. Pushkarova K., Domoslowsky W. Features of Processes Hydration and Hardening of Binding Compositions Based on Fluidized fly ash // Proc. of Seventh NCB International Seminar on Cement and Building Materials. — New Delhi, India. — 2000. — P. XI- 125—XI-134.
9. Thomas M.D.A. The Use of fly ash in concrete: a question of classification // Proc. Intern. Symposium of Ash Utilisation. Lexington, Kentucky, 1997. - P. 333-342.
10. McCathy G.I., Solem I.K., Manz O.E. and Hassett D.I. Use of a Database of Chemical Mineralogical and Physical Properties of North American Fly Ash to Study the Nature of Fly Ash and its Utilization as a Mineral Admixture in Concrete // Proc. MRS Symposium «Material Research Society». - Pittsburg, 1999. - V. 178.-P. 3-33.

11. Antone E.I., Ross G.G., Berry E.E., Lemings R.T., Kissel R.K. Characterisation of Solid Wastes from Circulating Fluidised Bed Combustion. - March, 1995. - V. 18. - P. 180-190.
12. Nasim A.S.M., Singh D.N. Fly ash classification on the basis of chemical composition // Proc. Intern. Symposium of Ash Utilisation. - Lexington, Kentucky, 1997. - P.745-752.
13. Vaidyanathan P.D., Kapur P.C., Singh B.S. Production and properties of alinite cements from steel plant wastes «Cement and Concrete Research». - 1998. - V. 20. - P. 15-26.
14. Arpita Bhatt, Sharon Priyadarshini, Aiswarya Acharath Mohanakrishnan, Arash Abri, Melanie Sattler, Sorakrich Techapaphawit Physical, chemical, and geotechnical properties of coal fly ash: A global review// Case Studies in Construction Materials, Volume 11, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2019.e00263>
15. Дворкін Л.І., Гарницький Ю.В., Риженко І.Н. Дослідження золи-виніс як компонента сухих будівельних сумішей // Матеріали IV науково-практ. семінару «Структура, властивості та склад бетону». - Київ, 2007. - С. 47-53.
16. Manz Os E. State of the Art-Use of Fly Ash and Concrete in the United States and Sudations for Future Research. 1997.-120 p.
17. Ghosh S.N. Mineral admixtures in cement and concrete / AMI Books Pvt. Ltd. Regd. Office: 109, Vaikunth 82-83 Nehru Place New Delhi 110 019. - New Delhi, India, 1998. - V. 4. -P. 1-84.
18. Metha P.K. Testing and correlation of fly ash properties with respect to pozzolanic behaviour. - EPRI Report № CS 3314, January, 1984. - 145 p.
19. Metha P.K. Pozzolanic and cementations by-products as mineral admixtures for concrete a critical review. // Proc. of the first Intern. Congress on the Use of the Fly Ash, Silica Fume and other mineral by products in Concrete / Ed. Malhotra V.M. American Concrete Institute Special Publication. - Montedello, Canada, 1983.-79.-V. 1.-P. 1—46.

20. Зольні та золошлакові відходи як багатофункціональна сировина / В. Кашковський [та ін.] // Наука та інновації. — 2017. Золошлакові матеріали – вигідна альтернатива природним матеріалам для будівництва доріг. — URL: https://ppv.net.ua/uploads/work_attachments/Ash_Use_in_the_Road_Construction_UA_PDF
21. ДСТУ EN 450-1:2019 Зола виносу для бетону. Частина 1. Визначення, характеристики та критерії відповідності (EN 450-1:2012, IDT)
22. ДСТУ Б В.2.7-211:2009 Будівельні матеріали. Суміші золошлакові теплових електростанцій для бетонів. Технічні умови.
23. ДСТУ 9208:2022 Бетони важкі. Технічні умови.
24. ДСТУ-Н Б В.2.6-186:2013 Настанова щодо захисту будівельних конструкцій будівель та споруд від корозії
25. Шишкін А., Нетеса М., Щерба В. (2017). Вплив залізовмісного наповнювача на міцність бетону. Східно-Європейський журнал підприємницьких технологій, 5/6(89), 11-16. doi: 10.15587/1729-4061.2017.109977
26. Damtoft J.S., Herfort D., Yde E. Concrete binders, mineral additions and chemical admixtures: state of the art and challengers for the 21 st century // Proc. Intern. Congress «Creating with Concrete». - Dundee, Scotland, 1999. - P. 153-168.
27. Manz O.E. Worldwide production of coal ash and utilization in concrete and other products. - Fuel, 1997. - Vol. 76. - P. 691- 696.
28. Прибилова В., Жемерова В., Решетов І. Особливості накопичення забруднювачів в зоні впливу Змієвської ТЕС // ВМ Прибилова, ВО Жемерова, ІК Решетов // Вісник Харківського національного університету ім. ВН Каразіна: Геологія-географія-екологія. — 2010. — 882—С. — С. 62..
29. Руденко Д. В. Бетон на основі дисперсно модифікованої цементної системи / Д. В. Руденко // Наука и прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту. – № 64 (4). – 2016. – С. 169–175.

30. Саницький М. А., Позняк О. Р., Марущак У. Д. Енергозберігаючі технології в будівництві: навч. посібник /. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2013. – 236 с..
31. Енергозберігаючі технології, застосування відходів промисловості в будівельних матеріалах та будівництві // Матеріали II Міжнародної науково-практичної конференції. - К., 2004,170 с.
32. Loher F., Verlad Van Cement. Principle of production and use. Technic, CmBH, 2003. - 540 p.
33. Mehta P. K., High-performance, high-volume fly ash concrete for sustainable Development, International Workshop on Sustainable Development and Concrete Technology, 3-14 (2019)
34. Большаков В.І., Єлісеєва М.В. О., Щербак С.А. (2014). Контактна міцність механоактивованих дрібних бетонів із гранульованих доменних шлаків. Science and Transport Progress, 5(53), 138 -149 . doi: 10.15802/stp2014/29975.
35. ДСТУ Б В.2.7-214:2009. Бетони. Методи визначення міцності за контрольними зразками.
36. ДСТУ Б В.2.7-205:2009 Будівельні матеріали. Золи-виносу теплових електростанцій для бетонів. Технічні умови
37. Глубіш П.А. Амкіроз – новий високоефективний розріджувач бетонної суміші / Будівництво України. – № 4. – К., 2001. – С. 24–31..
38. Будівельне матеріалознавство: Підручник / Кривенко П.В., Пушкарьова К.К., Барановський В.Б. та ін., під ред. П.В. Кривенка. - К.: ТОВ УВПІК «ЕксОб», 2006. - 704 с.
39. Bondar V.O. Experimental study of properties of heavy concrete with bottom ash from power stations / Victor Bondar, Volodymyr Shulgin, Oksana Demchenko, Ludmila Bondar //MATEC Web of Conferences 116, 02007 (2017) DOI: 10.1051/mateconf/20171160200
40. Сорожук,Н.А., Павленко Т. М., Аббасова А. Р. Основи теорії формуванняструктурної міцності вакуумбетону при ущільненні бетонних

сумішей // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. – 2020. – №81. – С. 139-148.

41. Л.Й. Дворкін, А.В. Мироненко Булівельні матеріали і виробы із застосуванням промислових відходів: навч. посіб. – Рівне: НУВГП, 2019. – 298 с.

42. Бетони нового покоління : монографія / Л. Й. Дворкін, В. В. Житковський, О. М. Бордюженко [та ін.] ; за ред., д.т.н., професора Л. Й. Дворкіна. – Рівне : НУВГП, 2021. – 317 с.

43. Demchenko O.V. Experimental study on light concrete properties using bottom ash of thermal power stations/ O.V Demchenko., V.V Shulgin., R.V Petrash.//International Journal of Engineering & Technology.-2018-vol 7№3.2. – P.1-5 (Scopus) DOI:10.14419/ijet.v7i2.26.14366 Article ID: 14366 <https://www.sciencepubco.com/index.php/ijet/article/view/14366>

44. Berry E.E., Hemmings R.T., Zhang M.H., Cornelius B.J., Golden D.M. Hydration in High Volume Fly ash Concrete Binders // Supplemental Proc. Fourth Intern. Conf. «On Fly Ash, Silica Fume, Slag and Natural Pozzolans in Concrete. High-Volume Fly Ash Concrete Session». - 2000. - P. 2-27.

45. Дворкін Л.Й., Бабич С.М., Житковський В.В. Високоміцні швидкотверднучі бетони та фібробетони: навчальний посібник. Рівне : НУВГП, 2017. -332 с.

46. Mariusz Holtzer, Rafał Dańko, Angelika Kmita, Dariusz Drożyński, MichałKubecki, Mateusz Skrzyński, Agnieszka Rocznik (2020). Environmental Impact of the Reclaimed Sand Addition to Molding Sand with Furan and Phenol-Formaldehyde Resin-A Comparison // Materials, Vol. 13, P. 4395. <https://www.mdpi.com/1996-1944/13/19/4395>

47. Бехта Т. М., Шпирько М. В., Бондаренко С. В., Василенко С. В. Будівельне матеріалознавство: навчальний посібник. - Дніпро: ДВНЗ «ПДАБА», 2022. - 115 с. ISBN 978-966-323-229-4

48. Berry E.E., Malhotra V.M. Fly ash for use in concrete a critical review / ACI Journal. - March-April. 1980. - P. 59-73.
49. Malhotra V.M. Superplasticized Fly Ash Concrete for Structural Concrete Application / Concrete International. Dec., 1986. - P. 28-31.
50. Sivasundaram V., Garette G.G., Malhotra V.M. Properties of concrete incorporating low quantity of cement and high volumes of low-calcium fly ash / ACI Special Publication SP / Ed. Malhotra V.M. - 1989,-V. 1.-P.45-71.
51. Carette G.G., Bilodeau A., Chevrier R., Malhotra V.M. Mechanical Properties of Concrete Incorporating High Volumes of Fly Ash from Sources in the U.S.A. // Presentation at 4th CANMET «ACI Int. Conf. on Fly Ash, Silica Fume, Slag and Natural Pozzolans in Concrete». - Istanbul, Turkey, 1992. - P. 120-132.
52. Гоц В.І., Павлюк В.В., Шилюк П.С. Бетони і будівельні розчини: підручник. Київ, видавництво «Основа», 2018. 568 с
53. Дворкін Л.Й., Гоц В.І., Дворкін О.Л. Випробування бетонів і будівельних розчинів. Проектування їх складів: навчальний посібник. Київ: «Основа», 2015,с.303.
54. Пушкорьова К К., Гончар О.Л., Павлюк В.В Комплексне використання відходів паливно-енергетичної промисловості для отримання композиційних матеріалів з покращеними експлуатаційними характеристиками // Матеріали кояф. «Енергозберігаючі технології. Застосування відходів промисловості в будівельних матеріалах та будівництві». - К.,-2004. -С. 96-103.
55. Пушкарьова К.К., Гончар О.А., Павлюк В.В. Перспективні технології утилізації відходів паливно-енергетичної промисловості та ефективність їх застосування при отриманні будівельних матеріалів з підвищеними експлуатаційними ; характеристиками // Строительные материалы и изделия, - №4. - С. 20-23.
56. Papayianni I. High-Calcium Ash Grouts / Proc. of the Intern. Conf. «Concrete 2000. Economic and Durable Construction through Excellent» / Eds. Dhir R.K. and Jones. - Dundee. Scotland, UK, 1993. - V. 2. - P. 1305-1312.

57. Culton G.L., Farrington S.A. Rapid repair mortar based on a high- calcium fly ash binder // Proc. of the Intern. Conf. «Concrete 2000. Economic and Durable Construction through Excellent)» / Eds. Dhir R.K. and Jones. - Dundee, Scotland, UK. 1993.
58. Burwell S.M., Anthony E.J., Berry E.E. Advanced FBC Ash Treatment Technologies // Fluidised Bed Combustion. - ASME. 1995. -V.2. -P. 1137-1144.
59. Bland A.E., Jones C.E., Rose J.G., Harness J.L. Ash Management Option for Bubbling Bed AFBC Technologies / Fluidised Bed Combustion. - ASME, 1995. - V. 2. — P. 9-19.
60. Bland A.E., Kissel R.K., Ross G.G. Utilization of CFBC Ashes in Roller Compacted Concrete Applications Fluidised Bed Combustion. - ASME, 1991. - P. 857-863.
61. Brandstctr J., Drottner J. Composites Based on Solid Residues of Fluidized Bed Coal Combustion and other by products In ref. (25), Milwaukee, Suplcmntary papers. - 1995. - P. 386-412.
62. Дворкін Л.Й., С.Д. Лаповська. Будівельне матеріалознавство : підручник. Рівне : НУВГП, 2018. 448 с. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : https://ep3.nuwm.edu.ua/7473/1/MATERIALS%20STRUCTURE%D0%904_zah.p
63. Основи матеріалознавства і технології будівельних виробів: навчальний посібник. Дворкін Л.Й. – Київ: Кондор, 2024. –808 с.
64. ДСТУ Б В.2.7-188:2009. Будівельні матеріали. Цементи. Методи визначення тонкості помелу.
65. ДСТУ Б В.2.7-185:2009. Будівельні матеріали. Цементи. Методи визначення нормальної густоти, строків тужавлення та рівномірності зміни об'єму.
66. ДСТУ Б В.2.7-187:2009. Будівельні матеріали. Цементи. Методи визначення міцності на згин та стиск.