

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: **«ОПТИМІЗАЦІЯ СКЛАДІВ САНУЮЧИХ РОЗЧИНІВ ДЛЯ  
ВІДНОВЛЕННЯ СТІН ЦЕНТРАЛЬНОГО КОРПУСУ  
УНІВЕРСИТЕТУ»**

Виконав:	Єгор СКОКОВСЬКИЙ
студент 6 курсу групи 601-БТм	
спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія»	
Керівник	Расул АХМЕДНАБІЄВ
Завідувач кафедри	Олександр СЕМКО
Рецензент	Андрій ЯЛОВЕГІН

**Полтава 2025**

## ЗМІСТ

	стр.
ВСТУП.....	3
I АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД .....	5
1.1 Технологічні аспекти утворення золошлакових відходів.....	5
1.2 Золошлакові відходи ТЕС як заповнювачі бетонів .....	14
1.3 Характеристика відходів ТЕС та їх вплив на довкілля.....	15
1.4. Класифікація золошлаків.....	17
1.5 Особливості використання золошлаків у цементних композиціях.....	25
II МЕТА РОБОТИ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	37
III МЕТОДИ ВИПРОБУВАНЬ.....	38
IV ВИХІДНІ МАТЕРІАЛИ .....	41
4.1 Портланд цемент.....	41
4.2 Кварцовий пісок.....	41
4.4 Золошлаки.....	42
4.5 Хімічні добавки.....	43
V РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ.....	45
5.1 Оптимізація складів розчинів за вмістом золошлаків.....	45
5.2 Оптимізація складів сануючих розчинів.....	51
5.2.1 Границя міцності при стиску.....	53
5.2.2 Середня густина.....	57
VI ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ .....	61
6.1 Аналіз шкідливих та безпечних факторів.....	61
6.2 Технічні засоби та організаційні заходи з усунення дії шкідливих факторів .....	68
6.3 Організація безпечної експлуатації електроустановок .....	75
ВИСНОВКИ.....	81
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....	82

## СТУП

Загострення економічних та екологічних проблем України, що спостерігається в наш час, потребує розробки нових низько енергоємних технологій переробки відходів теплоенергетики, представлених золами та шлаками ТЕС, які б забезпечували максимальний ступінь їхньої утилізації та гарантували можливість отримання будівельних матеріалів, безпечних для здоров'я людини. Незважаючи на те, що зазначені відходи досить широко використовуються для виробництва в'язучих речовин та бетонів різного типу, загальний обсяг їхньої утилізації залишається досить низьким. Частка золи в таких системах зазвичай не перевищує 25...35 мас.%, а виготовлення бетонних виробів на їхній основі вимагає додаткових енерговитрат на теплову обробку. Існуючі технологічні рішення утилізації відходів не враховують особливостей їхнього складу та структури, передбачають традиційні способи переробки та не реалізують повною мірою потенційні властивості сировини.

Аналіз досвіду використання золи показує, що при введенні її до складу бетонної суміші зола виконує декілька функцій. Кількість золи може бути підвищена не тільки за рахунок використання різних видів активації, але й за рахунок її поліфункціональності. Водночас при використанні надмірної кількості золи в складі золовмісних матеріалів може мати місце деяке підвищення пористості та зниження швидкості набору міцності в часі, що погіршує експлуатаційні характеристики, зокрема морозо- та корозійну стійкість. Для запобігання цих явищ до складу бетонної суміші вводяться комплексні добавки поліфункціональної дії, які визначають не тільки кінетику набору міцності, але й формування відповідної порової структури матеріалу, що має суттєвий вплив на властивості та довговічність отриманого штучного каменю.

Згідно із сучасними світовими тенденціями все більшого значення набувають композиційні цементи, які розглядаються як альтернатива портландцементу, причому увагу привертають в'язучі системи, що містять у своєму складі обмежену кількість портландцементного клінкеру (не більше 20

мас.%). Тому зола, як алюмо-силікатна речовина, має стати одним із основних компонентів будівельних матеріалів, зокрема бетонних виробів та кераміки. Відходи енергетичного комплексу, яких в Україні щорічно утворюється до 10 млн т, а у відвалах ще знаходиться понад 50 млн т, слід розглядати не тільки як фактор забруднення навколишнього середовища, але й як джерело додаткових ресурсів при отриманні широкої гами будівельних матеріалів.

Враховуючи зазначене, актуальною є розробка концепції максимального використання потенційних можливостей паливних зол та шлаків, як сировини для отримання таких будівельних матеріалів та виробів, які за своїми властивостями не поступаються традиційним, але є ефективнішими з екологічної та економічної точок зору.

## РОЗДІЛ 1

### АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД

#### 1.1. Технологічні аспекти утворення золошлакових відходів

Згідно з концепцією «рівномірного або сталого розвитку», яка була сформульована на конференції ООН в 1992 р. в Ріо-де-Жанейро, сучасна енергетика повинна не тільки забезпечувати розвиток цивілізації людського суспільства, але й гарантувати збереження навколишнього середовища [1; 2]. Для отримання електроенергії як тверде паливо використовують вугілля, горючі сланці, торф. Продукти згоряння палива крім багатотоннажних золошлакових відходів представлені також досить канцерогенними речовинами у вигляді газів і диму, що супроводжують виробництво електричної та теплової енергії і викидаються в атмосферу та справедливо вважаються одним з головних джерел забруднення біосфери. Найбільш шкідливими викидами є діоксид сульфуру  $SO_2$ , кількість якого в атмосфері у 2000 р. досягла 450 млн т, та ртуть, викиди якої в атмосферу щодоби є досить значними (сучасна електростанція потужністю 1 млн кВт, випалюючи за добу 10 000 т вугілля, щодня викидає у атмосферу 1 кг ртуті) [3]. Крім того, існуючі високотемпературні технології отримання енергії на ТЕС передбачають спалювання палива в котлах парогенераторів, при цьому має місце видалення в атмосферу значної кількості оксидів нітрогену, утворення яких відбувається за рахунок взаємодії атмосферного нітрогену та кисню повітря при температурі спалювання палива, а також при взаємодії атмосферного кисню з нітрогенвмісними сполуками палива. Використання двоступеневого спалювання, рециркуляція димових газів у зону горіння, спалювання палива з малим надлишком повітря та комбінація цих методів дозволяють знизити викиди оксидів нітрогену в атмосферу у 2...3 рази при збереженні надійності роботи та економічності парогенератора [4]. Таким чином, процес спалювання

палива з метою отримання енергії, як і інші процеси аналогічного призначення, включаючи використання “мирного атому”, є достатньо небезпечним з екологічної точки зору, оскільки призводить до забруднення навколишнього середовища, але застосування новітніх технологій спалювання твердого палива [5] та сучасних методів знешкодження токсичних речовин [6] дозволяють знизити рівень шкідливості до допустимих меж, при цьому важливе місце відводиться утилізації золошлакових відходів, кількість яких становить для США – 107 млн т, для Європейського Союзу – 59 млн т, для Росії – 50 млн т, для Японії – 8,4 млн т, для України – 10 млн т щорічно та 50 млн т знаходиться у відвалах [7; 8].

Золошлакові відходи, які отримують при спалювання твердого палива на ТЕЦ та ТЕС, залежно від способу видалення представлені *золою-винесення* (сухий дисперсний порошок, що уловлюється електрофільтрами); *паливними шлаками* (гранульованими та негранульованими, що є агрегованими та сплавленими частинками золи розміром 0,15...30 мкм); *золошлаковою сумішшю* (механічна суміш золи та шлаку, співвідношення між якими залежить від виду палива та технології його спалювання, зокрема в топках із твердим шлаковидаленням вміст золи складає 10...20 мас.%; в топках з рідким шлаковидаленням – 20...40 мас.%, а в циклонних топках – 85...90 мас.%) [9].

Зольність палива також залежить від вмісту мінеральної частини і коливається у наступних межах: для вугілля – 15...35 мас.%; горючих сланців – 39...46 мас.%; торфу – 11...14 мас.% [9; 10].

Гранулометричний склад золи-винесення залежить від виду палива, типу агрегатів для помелу та режиму випалювання і може коливатися у межах від 0...20 до 60...90 мкм.

Розрізняють золи *пилويدного* та *шарового* випалювання. Перші утворюються при більш високій температурі (1300...1700°C), містять менше невивалених вуглецевих частинок (НВЧ) і є більш однорідними за хімічним складом [11]. Більшість сучасних теплових електростанцій працює на пилоподібному паливі. Вихідне вугілля подрібнюють до тонкого порошку і

форсунками подають у топку котлів, де воно згорає за декілька секунд. У зоні горіння створюється висока температура (від 1200 до 1700<sup>0</sup>C). У зв'язку з короткочасним перебуванням у зоні випалювання частинки карбону не встигають повністю згоріти, і деяка частка їх залишається у складі золи. НВЧ це високотемпературні залишки (кокс, напівкокс), властивості яких суттєво відрізняються від властивостей вихідного палива [9; 12].

Кількість у складі золи-винесення НВЧ залежить не тільки від технології спалювання, але й від виду палива, і в разі використання кам'яного вугілля досягає 20 мас.%; бурого – 1...5 мас.% [13].

Потоком газів частинки виносяться з зони горіння і швидко охолоджуються, після чого уловлюються зололовлюючими пристроями. Швидке охолодження розплавлених частинок приводить до утворення склоподібної фази, що може включати й закристалізовані мінерали. Найчастіше хіміко-мінералогічний склад золи-винесення представлений поряд з дегідратованою глинистою речовиною та НКЧ також мулітом, гематитом, рутилом, кристобалітом, сполуками кальцію, магнію та сульфур [9].

Найбільш крупні частинки палива осідають на підтопки, де їх горіння продовжується до повного вигорання палива. У топках з рідким шлаковидаленням мінеральна частина переходить у вогняно-рідкий стан (розплав) та зливається у спеціальний прийомок з водою. Внаслідок швидкого охолодження утворюється матеріал склоподібної структури - паливний шлак ТЕС, який майже не містить НВЧ (до 1 мас.%) [10; 11].

Видалення з території станції золи здійснюється системою гідрозоло-видалення або пневмозоловидалення.

У загальному об'ємі золошлакових відходів доля шлакових фракцій становить 15...30 мас.% залежно від конструкції котлоагрегатів, прийнятого режиму випалювання та інших факторів.

Хімічний склад золошлакових відходів залежить від складу мінеральної частини палива і може коливатися у широких межах. Зола-винесення,

отримана за традиційною технологією при досить високій температурі випалювання палива, має склоподібну структуру, представлену частинками сферичної форми, та включає до свого складу (залежно від складу вихідної сировини) кварц, гематит, вапняк, вапно, рутил тощо [11]. Рентгенограма золи-винесення виглядає як дифузійна смуга скла, яка для золи з низьким вмістом CaO має пік при  $22...23^{\circ} 2\theta$  ( $\text{CuK}\alpha$ ). Це дещо вище значення, характерного для скловидного кремнезему. Можливо, що для золи такого типу у склі має місце розподіл фаз в інтервалі  $5...15$  нм [9; 14].

При значному вмісті карбонатів у мінеральній частині вихідного палива при дії високих температур у складі золи утворюються переважно силікати, алюмінати та ферити кальцію. Такі золи при замішуванні з водою здатні до тузавлення та самостійного твердіння, тобто відрізняються гідратаційними властивостями [11; 14, 15; 16].

Хіміко-мінералогічний склад золи залежить від складу вихідного палива: в разі використання бітумінізованого вугілля утворюються склоподібні кислі золи, а при застосуванні малобітумінізованого вугілля - висококальцієві золи [17]. Вміст скловидної речовини та склад кристалічної фази залежить від хімічного складу та температури спалювання палива. Зола-винесення, що отримана при відносно високій температурі, має меншу кількість кристалічного  $\alpha$ -кварцу та муліту. Кількісне співвідношення між  $\alpha$ -кварцом та мулітом визначається відношенням  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  у складі золи, зі збільшенням якого вміст  $\alpha$ -кварцу у кристалічній фазі збільшується, а муліту – зменшується. При цьому відповідно зростає активність золи, яка оцінюється здатністю до поглинання вапна [14; 18]. Золи, збагачені оксидом феруму, більш легкоплавкі, на поверхні їхніх частинок утворюється більша кількість скла.

При зниженні температури випалювання в складі новоутворень золи поряд з кварцом та мулітом відмічені магнетит, гематит та ангідрит. При отриманні золи при температурі нижче  $1000^{\circ}\text{C}$  в її складі відсутній муліт, а новоутворення представлені переважно дегідратованими глинистими

мінералами [11]. Дрібні частинки золи завжди містять більшу частку скловидної фази, ніж крупні, що пов'язано з різною швидкістю їх охолодження.

Інтегральною характеристикою хімічного складу золи є модуль основності  $M_o$ , згідно якого золи та шлаки, що утворюються при спалюванні бурого вугілля, сланців та торфу, характеризуються  $M_o > 0,9$  (основні), а відходи, утворені при спалюванні кам'яного вугілля, можуть бути кислі ( $M_o = 0,6 \dots 0,9$ ) та надкислі ( $M_o < 0,6$ ) [10].

За своїм хімічним складом більшість зол-винесення теплових електростанцій України відносяться до кислих, у їхньому складі переважає аморфізована глиниста речовина з незначними включеннями кварцового компонента, і вони відрізняються досить високими пуцолановими властивостями.

Морфологія паливних зол та шлаків визначає їхню низьку гідратаційну активність, пов'язану з щільною структурою як кристалічної, так і скловидної фази; разом з тим, завдяки охолодженню у процесі гідровидалення паливної золи та шлаки містять нестабільні кристалічні утворення зі значним енергетичним резервом [9; 11].

Небажаними домішками у складі золи можна вважати сульфур, вільне вапно та оксид магнезю, лужні оксиди натрію та калію, НВЧ [9; 17].

Обмеженням щодо широкого застосування у будівництві золошлакових сумішей, отриманих за звичайною технологією спалювання палива, при виготовленні пуцоланових та композиційних цементів, а також бетонних сумішей на їх основі, є коливання їхнього хіміко-мінералогічного складу, іноді підвищена частка сульфур-них та сульфурнокислих сполук, вміст НВЧ.

Значний інтерес представляє *метод спалювання палива у псевдорідкому або "киплячому" шарі*, що дозволяє значно знизити викиди сульфуру та нітрогену в атмосферу. Розроблено три модифікації котлів з киплячим шаром – адіабатним, рециркуляційним та здатним до обертання [5].

У котлах з рециркуляційним киплячим шаром конструкція камери топки дозволяє організувати два зустрічних потоки частинок – висхідний та низхідний. Перевагою цих котлів є можливість скорочення викидів у атмосферу сульфурного ангідриду та оксидів нітрогену. Крім того такі котли є досить економічними та простими у роботі.

В установках з киплячим шаром спалювання вугілля відбувається в просторі, що знаходиться у кожусі, який обертається, і куди подається повітря з коефіцієнтом надлишку 1,3.

Для зменшення викидів в атмосферу оксидів сульфуру разом з вугіллям вводять адсорбенти – вапняк та доломіт у кількості приблизно 30 мас.% від витрати палива. Вміст оксидів сульфуру в газах, що викидаються у повітря, знижується на 90% та більше. При цьому також змінюється склад твердих відходів – золи та шлаків, відомих як відходи флюїдального спалювання або спалювання у “киплячому” шарі [19]. У складі золи, що отримана при випалюванні бітумінізованого вугілля, переважає ангідрит, кварц, кальцит (максимальна кількість утворюється в складі золошлакових відходів і менше – у складі золи-винесення, що уловлюється електрофільтрами). Зола-винесення, отримана при спалюванні палива у киплячому шарі при  $T=850^{\circ}\text{C}$ , має підвищений вміст ангідриду, активного кварцу та рентгеноаморфного алюмосилікату, що утворюється з глини при наявності вугілля, й має значний вплив на пуцоланову активність золи. Низька температура випалювання у киплячому шарі виключає присутність намертво випаленого вапна, неактивного муліту та забезпечує досить низький вміст НВЧ [19; 20]. Порівняльна характеристика мінералогічних складів золи, отриманої за різними технологіями спалювання палива, наведена у табл. 1.1.

Незважаючи на здатність золошлакових сумішей киплячого шару до самостійного тверднення (в разі наявності вільного вапна та ангідриду) та високі пуцоланові властивості, використання таких відходів у будівництві як компонента бетонних сумішей є обмеженим, особливо при наявності у їх складі підвищеного вмісту вільного вапна, що призводить до

екзотермічного розігріву суміші, а також можливого розширення та розтріскування синтезованого штучного каменю внаслідок утворення в складі продуктів твердіння вторинного еtringіту або таумаситу [20; 21].

Потенційним джерелом енергії, крім вищерозглянутих різновидів твердого палива, можна вважати побутові відходи, обсяг яких постійно збільшується.

Особливо актуальна ця проблема для промислових регіонів, де згідно статистичним даним кількість відходів постійно зростає на 2...4 мас. %.

Таблиця 1.1

**Фазовий склад золи, отриманої з використанням різних технологій спалювання**

Найменування фази	Вид золи				
	1	2	3	4	5
Скловидна фаза	65...88	72...95	0	0	0
Рентгеноаморфна алюмосилікатна фаза	0	0	50	50	50
Кварц $\text{SiO}_2$	1...9	1...9	0...5	0...5	1...5
Гематит $\text{Fe}_2\text{O}_3$	1...18	1...13	3...20	3...20	3...10
Магнетит $\text{Fe}_3\text{O}_4$	2...12	1...7	4...17	4...17	0...1
Ангідрит $\text{CaSO}_4$	3	1	3...20	3...20	8...20
Вапно вільне $\text{CaO}$	2...8	1...5	5...25	5...30	1
Кальцит $\text{CaCO}_3$	0	0	3	1	17...23
Невипалений карбон	5	5	5...15	2...12	1...3

Примітки:

1 – зола, отримана при випалюванні бітумізованого вугілля сухим способом;

2 – теж саме, але отримана мокрим способом;

3 – зола, отримана при випалюванні палива у киплячому шарі з попередньою десульфiрiзацією (зола-шару);

4 – зола, отримана при кальцинації киплячого шару при атмосферному тиску;

5 - зола-шару та циклонна зола-винесення, отримані при підвищеному тиску.

В Україні основна маса відходів вивозиться на звалища. На сьогодні ці смітники займають більше 130 тис. га з кількістю відходів понад 20 млрд т [22; 23].

У високорозвинутих країнах на душу населення припадає біля 1 т різних відходів, причому значна їх частка приходить на органічні продукти, які за своїм обсягом та складом можуть розглядатися як додаткове паливо. Розрахунки показують, що при використанні побутових відходів як палива для отримання тепла і перетворення теплової енергії в електричну з термічним КПД= 35, можна покрити від 10 до 15% загальної потреби в електроенергії.

Існують три головні процеси отримання енергії при переробці побутових відходів: звичайне спалювання (термічний метод), піроліз та біологічна переробка. Найбільш поширеною є термічна переробка побутових відходів (спалювання), яка здійснюється в ряді міст України (Києві, Харкові, Дніпропетровську, Севастополі) у спеціальних котлах, причому утворені продукти спалювання також потребують складування та наступної утилізації. Продукти спалювання побутових відходів складаються із золошлакової суміші (зола, шлак, металеві утворення) та золи-винесення, яка осідає в скруберах та електрофільтрах. Великі зерна продуктів спалювання складаються в основному з негорючих частин побутових відходів: скло, кераміка, каміння, кістки, дрібні металеві утворення. Основна маса золи-винесення утворюється при спалюванні відходів паперу та деревини. За своїми фізичними властивостями продукти спалювання твердих відходів наближаються до паливних зол та шлаків: істинна густина – 2050...2450 кг/м<sup>3</sup>; насипна густина – 800...1100 кг/м<sup>3</sup>; середня густина крупних включень – 1400...2650 кг/м<sup>3</sup>.

Хімічний склад продуктів спалювання твердих побутових відходів нестабільний і залежить від пори року, компонентів побутових відходів, технологічних параметрів спалювання, конструкції печі.

У продуктах спалювання сульфур присутній з різним ступенем окислення у вигляді сульфідної, сульфітної та сульфатної форм, причому її

кількість не перевищує кількості сульфуру, що знаходиться у золах та шлаках, отриманих при спалюванні бурого вугілля.

Гідралічна та пуцоланова активність продуктів спалювання твердих побутових відходів порівняно з паливними золами та шлаками є незначною через малу кількість умовно глинистої речовини у побутових відходах і їхню відносно низьку температуру спалювання [24].

У зв'язку з різним походженням компонентів твердих побутових відходів, фізичні та фізико-механічні властивості продуктів спалювання нестабільні внаслідок неоднорідності структури горючої частини відходів. Негорюча частина відходів при спалюванні фактично не змінюється. Компоненти продуктів спалювання істотно відрізняються між собою не тільки за хімічним та мінералогічним складами, але й за показниками густини та міцності. Все зазначене створює певні труднощі та обмеження при використанні таких відходів як складових сировинних сумішей при виготовленні будівельних матеріалів різного призначення, в тому числі матеріалів гідратаційного твердіння. В той же час всі ці застереження є менш актуальними при застосуванні відходів такого типу для виготовлення будівельних матеріалів, що передбачають термічну обробку, наприклад, склокристалічних та керамічних [24].

Аналіз фізико-хімічних та технологічних аспектів утворення золошлакових відходів дозволяє зазначити наявність широкої гами продуктів випалювання, що відрізняються коливаннями хімічного, мінералогічного та гранулометричного складу і при цьому якісно та кількісно залежать від технології спалювання палива та його виду.

Також слід зазначити, що відходи енергетики, загальна кількість яких оцінюється в 70 млн т [7], як один з видів ефективних пуцоланових добавок, відповідають ідеям концепції сталого розвитку суспільства [1; 2], оскільки в разі утилізації в галузі будівельних матеріалів вони не потребують енергоємної переробки, мають низьку вартість, а, крім того, теплові електростанції досить рівномірно розподілені по всій території України, що

дозволяє вважати такі відходи місцевими сировинними матеріалами та досягати при отриманні будівельної продукції, що відповідає вимогам стандартів, значної економії трудових та транспортних витрат.

Таким чином, враховуючи тенденції розвитку світової економіки з обов'язковим звертанням уваги на покращення екологічного стану довкілля [25], відходи енергетичного комплексу потрібно ширше залучати до технологічного процесу виготовлення будівельних матеріалів різноманітного призначення. Такий підхід дозволить розв'язати проблему не тільки дефіциту ресурсів, але й буде забезпечувати підвищення рентабельності будівельного виробництва.

### **1.2 Золошлакові відходи ТЕС як заповнювачі для бетонів.**

В даний час в умовах наростаючої екологічної напруженості в світі проблема раціонального використання та ефективного заощадження природних ресурсів стає найважливішим завданням життєдіяльності будь-якої держави.

Електроенергетика є базовою галуззю економіки України. ТЕС, що входять до складу об'єднаної енергетичної системи країни, виробляють приблизно половину електричної енергії. В Україні налічується 42 станції з потужністю понад 20 МВт. Географічна структура споживання електроенергії в Україні неоднорідна. Найбільше споживання електроенергії в областях, де розвинена гірничо-металургійна промисловість: Дніпропетровська, Донецька, Луганська та Запорізька. Найбільші ТЕС розташовані в Донбасі (Вуглегірська, Старобешівська, Миронівська, Курахівська й ін.), на Придніпров'ї (Придніпровська, Криворізька), у Харківській (Зміївська), Київській (Трипільська), Івано-Франківській (Бурштинська), Львівській (Добротвірська) областях, у Запоріжжі, Одесі й ін.). Основним паливом українських теплових електростанцій є кам'яне вугілля [1].

Найбільша кількість золи утворюється в країнах СНД, США, КНР, Індії, Великобританії [1,2]. Рівень використання золошлакових відходів змінюється від 1 до 30% загальної кількості залежно від країн де вони утворюються. Таким чином, у великомасштабній утилізації зацікавлені енергетики, оскільки в цьому випадку знімаються важкі питання технічного і екологічного порядку. Паливна промисловість щорічно в відвалах накопичує величезну кількість зол і шлаків, питань їх утилізації та переробки присвячено безліч робіт [3,4,5]. Практично в кожній з них наведено детальний аналіз фізико-механічних і хімічних властивостей зазначених відходів.

### **1.3 Характер техногенних відходів ТЕС та їх вплив на довкілля**

Золошлаки, що утворюються від спалювання вугілля на ТЕС, є багатотонними відходами. Будівництво та експлуатація технологічного господарства на ТЕС зі збору, транспортування і зберігання золошлакових відходів вимагають значних капітальних витрат, а також витрат на його обслуговування. Утворення і зберігання золошлакових відходів негативно відбивається на екосистемі прилеглої території району їх розміщення внаслідок:

- відведення і порушення земельних угідь для будівництва золовідвалів і їх інженерної інфраструктури;
- попадання розчинів з чаш золовідвалів до поверхневих і ґрунтових вод з їх подальшим насиченням;
- пилоутворення золи з поверхні чаш золовідвалів, особливо при накопиченні значної їх кількості і вичерпання вільних пощадків для золовідвалів.

До теперішнього часу у відвалах ТЕС України площею понад 3200 га накопичено близько 360 млн. т золошлаків. Середньорічний вихід шлаків сягає 14 млн. т, і у зв'язку з погіршенням якості палива має тенденцію до зростання

[4]. Це створює технологічні і екологічні проблеми, оскільки збільшуються виробничі витрати і вартість природоохоронних заходів. Актуальність проблеми накопичення золошлаков визначається ще й тим, що в енергетичній стратегії держави частка теплових електростанцій зростає. Відомо, що навіть при нормальній експлуатації відвалів золошлаків мають місце прояви несприятливих геоекологічних процесів і явищ, що порушують екологічну рівновагу в районах їх розміщення.

Разом з тим золошлакові матеріали за хімічним і мінералогічним складом багато в чому ідентичні природній мінеральній сировині. Використання їх в промисловості, будівельній індустрії і сільському господарстві – один із стратегічних шляхів вирішення екологічної проблеми в зоні роботи ТЕС. Є досвід в українських партнерів – Польський союз з утилізації продуктів

спалювання палива активно працює в цьому напрямку. Сьогодні золошлаки належать до відходів, але в нашій країні вже досягли розуміння, що це продукт, цінний матеріальний ресурс. В останні роки наукові дослідження, особливо вітчизняних вчених, розробили нові напрямки ефективного застосування золошлакових сумішей при створенні шлако-лужних в'язучих, розроблено і впроваджуються на практиці відповідні нормативні документи. Водночас недостатньо було приділено уваги розробці раціональних шляхів застосування золо-шлакових сумішей у сучасних економічних умовах для дорожнього будівництва України.

Золи ТЕС складаються з неорганічної та органічної фаз. Неорганічна фаза включає аморфну і кристалічну складові. Аморфна складова може бути представлена склом і аморфізованою глинистою речовиною. Кристалічна складова включає слабко змінені зерна мінералів палива (кварц, польові шпати) і різні кристалічні новоутворення, що виникли при спалюванні палива (муллит, гематит, алюмінат кальцію). Скло в золах може бути силікатного, алюмосилікатного, а іноді залізистоалюмосилікатного складу. Більшість зол мають сферичну форму частинок і гладку фактуру поверхні. Однорідність

кулястих частинок може бути різною. Найбільш однорідні частинки, що повністю складаються зі скла. Зустрічаються також частинки, внутрішня частина яких не розплавилася в процесі спалювання палива і складається з найдрібніших мінеральних і коксових зерен. Зустрічаються і порожнисті кульки в результаті спучування скла в момент утворення частки.

Найважливішими фізичними властивостями зол та шлаків ТЕС є їх насипна і істинна густина, а також гранулометричний склад. Гранулометричний (зерновий) склад золошлаків залежить від виду палива, умов його підготовки, режиму спалювання і місця відбору. Хімічна активність обумовлює можливість застосування зол і шлаків в складі в'язучих речовин і бетонів.

Здатністю до безпосередньої взаємодії з водою паливні шлаки, як правило, не володіють. У той же час аморфні компоненти зол і шлаків мають так звану пуцоланову активність, тобто здатність при звичайних температурах пов'язувати гідроксид кальцію з утворенням нерозчинних сполук. Накопичення нерозчинних новоутворень дає можливість гідравлічного твердіння в'язучих з сумішею вапна або портландцементу з золошлаками. Теплова обробка (пропарювання при нормальному тиску, або автоклавування) різко збільшує активність всіх аморфних фаз зол і шлаків.

Зола або шлак використовується в якості активної мінеральної добавки в цемент і бетон. Чим активніша добавка, тим коротший час потрібно для забезпечення тужавлення і водостійкості тесту, тим вище міцність матеріалу

#### **1.4 Класифікація золошлакових відходів**

Всесвітньо узагальненої класифікації золошлакових відходів не існує, і це створює певні проблеми при їх ідентифікації та утилізації.

Першу класифікацію золи було наведено у 1953 р. при розробці стандарту ASTM (С 350-54Т). У 1960 р. було запропоновано розглядати золу

як пуцоланову добавку, а у 1968 р. натуральні пуцолани та золи були об'єднані в один стандарт ASTM C 618 під узагальненою назвою “мінеральні добавки” [6].

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

- за джерелом утворення (тонкодисперсна зола-винесення, кускові шлаки та мінеральна порода, що залишається при збагаченні вугілля);
- за видом твердого палива: відходи, отримані при збагаченні та спалюванні бурого та кам'яного вугілля; антрациту; горючих сланців та торфу;
- за вмістом НВЧ: з малим вмістом (до 5 мас.%), середнім вмістом (5...20 мас.%) та високим вмістом (більше 20 мас.%)
- за хімічним складом: на відходи з високим вмістом кислотних оксидів та лугів; з великим вмістом кремнезему та оксиду алюмінію; з великим вмістом оксидів кальцію, магнію та сульфуру;
- за зерновим складом: на кускові (розмір кусків 80...300 мм), крупнозернисті (6...13 мм); середньозернисті (3...6 мм), дрібнозернисті (1...3 мм) та тонко дисперсні (1...120 мкм);
- за хімічним складом: на відходи з високим вмістом кислотних оксидів та лугів; з великим вмістом кремнезему та оксиду алюмінію; з великим вмістом оксидів кальцію, магнію та сульфуру;
- за ступенем плавкості: на тугоплавкі, температура плавлення більше 1450<sup>0</sup>С; середньо-плавкі - температура плавлення – 1250...1450<sup>0</sup>С; легкоплавкі – температура плавлення – менше 1250 <sup>0</sup>С.

Ця класифікація є досить узагальненою і потребує додаткової уточнювальної інформації при виборі золи як компонента в'язучих систем та бетонів. В основу класифікації золошлакових відходів, запропонованої Волженським О.В. та Виноградовим Б.М., покладений принцип генезису. Згідно з цією класифікацією золи відносять до третьої групи матеріалів, отриманих шляхом твердофазових реакцій та взаємодії твердих фаз з розплавом [7].

Золи поділяють на висококальцієві ( $\text{CaO} > 20$  мас.%) та низькокальцієві ( $\text{CaO} < 20$  мас.%). Для перших переважаючими є кристалічні фази, а для других – скло та аморфізована глиниста речовина. Висококальцієві золи поділяють на низькосульфатні ( $\text{SO}_3 < 5$  мас.%), отримані при випалюванні вугілля та торфу, та сульфатні ( $\text{SO}_3 > 5$  мас.%), отримані при випалюванні сланців.

Згідно з даними [3,7], золошлакові відходи можуть бути класифіковані за модулем основності на основні ( $M_0 > 0,9$ ), кислі ( $M_0 = 0,6 \dots 0,9$ ) та надкислі ( $M_0 < 0,6$ ). За величиною дисперсності, що може бути оцінена величиною питомої поверхні, золи поділяють на тонкодисперсні ( $S = 200 \dots 400 \text{ м}^2/\text{кг}$ ) і грубодисперсні ( $S < 200 \text{ м}^2/\text{кг}$ ), а залежно від насипної густини – на легкі ( $\rho_n < 800 \text{ кг/м}^3$ ); середні ( $\rho_n = 800 \dots 1000 \text{ кг/м}^3$ ) та важкі ( $\rho_n > 1000 \text{ кг/м}^3$ ).

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

Південна Африка та Азія також мають стандарти, що 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 та за хімічним складом. За цими критеріями золи поділяються на категорію F (отримують при випалюванні антрациту та 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 до золи категорії C сума даних оксидів повинна бути не менше 50 мас.%.

Згідно з сучасними уявленнями при класифікації золи, до уваги слід приймати не тільки джерела її отримання, наявність певних оксидів у складі, але й загальний вміст оксиду кальцію [3,8; 9-11]. За стандартом [3] золи запропоновано ділити на три категорії за вмістом CaO (низьким, середнім, високим) (табл. 1.1).

Таблиця 1.1

**Класифікація золи за вмістом оксиду кальцію**

Тип золи	Вміст оксиду кальцію, мас.%
F	< 8
СІ	8...20
СН	> 20

За вищенаведеним стандартом введено додаткові вимоги до фізичного та хімічного складу золи, за винятком втрат при прожарюванні:

Морфологія паливних зол та шлаків визначає їхню хімічну активність, що обумовлена структурою як кристалічної, так і скловидної фаз. Низькокальцієві золи містять переважно алюмосилікатне скло з різною кількістю феруму та інертні кристалічні фази (кварц, муліт, магнетит, ферумвмісна шпінель) [3,8].

Вміст різної кількості СаО впливає як на зміну складу скловидної фази й складу новоутворень, що кристалізуються, так і на проявлення гідралічних та пуцоланових властивостей золи. Алюмосилікатне скло, що міститься у складі низькокальцієвих зол, реагує з водою повільно й потребує джерела лугів або гідроксиду кальцію, що реалізується, наприклад, при гідратації золи у присутності портландцементу.

Водночас висококальцієві золи здатні до проявлення не тільки пуцоланових, але й гідралічних властивостей за рахунок наявності у їх складі силікатних, алюмосилікатних та сульфатних сполуки кальцію [3.8; 9; 10].

Аналіз вищенаведених даних дозволяє зазначити, що в основу класифікації золошлакових відходів різного походження, придатних для використання як основної сировини, або добавки при виготовленні будівельних матеріалів, потрібно використати не джерело їх отримання (вид палива), а хімічний і мінералогічний склад (в тому числі наявність вільного СаО) та пов'язаний з ними характер структури з урахуванням ступеня

кристалізації новоутворень та ступеня полімеризації кремнеземистої складової.

Можливі зміни співвідношення між різними оксидами для різних видів золошлакових відходів, наведено у табл. 1.3, причому золи з високим вмістом вільного карбонату характеризуються низьким вмістом  $\text{CaO} < 4$  мас.% і навпаки, для висококальцієвих зол ( $\text{CaO} > 10$  мас.%) відмічена майже повна відсутність вільного карбону.

Таблиця 1.2

**Вміст оксидів у різних видах золи**

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

Для оцінки реакційної здатності золи, що отримана за різними технологіями випалювання палива, запропоновано декілька критеріїв класифікації:

- за пуцолановою активністю, що відображає взаємодію золи з гідроксидом кальцію  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  у присутності води, а також реакцію з деякими натрій-кальцієвими компонентами [12];

- за вапняним індексом, що визначається як відношення вмісту оксидів кальцію до суми інших оксидів [3].

Для золошлакових відходів “киплячого шару” проявлення гідралічних властивостей є більш вірогідним, ніж пуцоланових, завдяки наявності вільного оксиду кальцію, у той же час наявність аморфізованих алюмосилікатів, кількість яких перевищує 50 мас.% у складі, також обумовлює деяке проявлення пуцоланової активності. Досить активним компонентом є ангідрид  $\text{CaSO}_4$ , який екзотермічно реагує з водою.

Пуцоланова активність визначається ступенем хімічної взаємодії золошлаків з цементом і може змінюватися залежно від джерела отримання золи (або від виду палива, що використовується), а також від технології спалювання.

Таким чином, класифікація золошлакових відходів, що утворюються при використанні різних технологій спалювання палива, тільки за пуцолановою активністю не відображає повною мірою проявлення усіх властивостей золи й потребує залучення вапняного індексу, який дозволяє оцінити гідравлічні властивості золи.

Водночас, за даними [3] для золошлакових відходів з вмістом  $\text{CaO} < 4$  мас.% цей індекс не є чутливим, оскільки при його визначенні не враховується природа речовини.

Вапняний індекс, що може бути представлений у формі співвідношення:

$$\frac{\text{CaO}}{\text{сума оксидів, що входить до складу аморфної (скловидної) фази}}$$

є досить ефективним при оцінці якості золошлакових відходів (з точки зору проявлення її гідравлічної активності у бетоні під час його твердіння).

Запропонована авторами [12] класифікація золи за вищевказаними критеріями (тобто показниками хімічного та мінералогічного складів) наведена у табл. 1.4.

Таблиця 1.3

**Класифікація золи за даними**

Тип золи	$\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{CaO}$ , мас.%	C, мас.%	$\text{Fe}_2\text{O}_3$ , мас.%	Вид використаного палива
Алюмосилікатні	>2	<4	0...16	4...35	бітумізоване вугілля
Силікоалюмінатні	1...2	4...20	<4	5...25	малобітумізоване та бітумізоване вугілля
Кальцієві	<2	>20	<1	6...10	малобітумізоване вугілля

Крім головних оксидів, що визначають склад та структуру відходів, також потрібно враховувати наявність і другорядних оксидів, які можуть мати визначальний вплив на можливі галузі застосування відходів при їх утилізації під час виготовлення різноманітних будівельних матеріалів.

Згідно з результатами випробувань [3,13,14] застосування висококальцієвих зол сприяє збільшенню міцності бетону, але може негативно відбитися на його сульфатостійкості та привести до розвитку лужної корозії.

При дослідженні сульфатостійкості бетонів на основі золошлаків [15] запропоновано фактор сульфатостійкості  $R$ , який дорівнює:

$$R = \frac{CaO - 5}{Fe_2O_3} \text{ мас.}\%$$

Якщо  $R > 1,5$ , то золу можна використовувати для приготування бетонної суміші і отриманий бетон буде сульфатостійким.

При дослідженні сульфатостійкості золовмісних цементів визначено, що компонентом, який спричиняє розширення та наступне руйнування бетону, є гідрат-аніони алюмінію, які разом з сульфат-аніонами та  $Ca(OH)_2$  призводять до втрати міцності бетону [16, 17].

За даними [15] у цементно-зольних композиціях відношення активного  $Al_2O_3$  до сульфатів визначає показник їх сульфатостійкості. Якщо це відношення є високим, то у складі продуктів твердіння переважно має місце утворення моно-сульфатів та гідроалюмосилікатів кальцію, які при наступному зануренні у сульфатні розчини будуть перетворюватися в етрінгіт, що як правило призводить до розширення бетону.

При надлишку сульфат-аніонів у в'язучій системі етрінгіт буде утворюватися як стабільна гідратна фаза, а при зануренні таких композицій у сульфатний розчин, наступне розширення бетону не буде таким загрозливим.

За даними [18] зниження ефекту розширення бетонів на основі висококальцієвої золи може бути досягнуто завдяки лужно-кремнеземистим

реакціям, тобто при використанні бетонів на основі реакційноактивного заповнювача.

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

Низькокальцієві золи забезпечують, як правило, отримання матеріалів високої сульфатостійкості, а золи з середнім вмістом  $CaO$  – матеріалів помірної сульфатостійкості [18].

Класифікація золошлакової сировини, що базується на встановленні зв'язку між речовинним та фазовим складом, а також процесами твердіння золи у складі в'язучих речовин запропонована [19]. Головним показником класифікації запропоновано використовувати коефіцієнт основності, формула якого для золи виглядає наступним чином

$$K_{осн} = \frac{(CaO + 0.93MgO + 0.6R_2O) - (0.55Al_2O_3 + 0.35Fe_2O_3 + 0.7SO_3 + 1.27CO_2)}{0.93SiO_2}$$

Класифікаційною ознакою також вважається співвідношення оксидів  $Al_2O_3/SO_3$ , яке визначає можливість утворення у процесі твердіння в'язучих, що містять золу, гідроалюмінатів та гідросульфоалюмінатів кальцію.

Аналіз вищенаведеної інформації також дозволяє виділити основні

питання, що потребують подальшого вирішення для розробки комплексної системи класифікації золошлакових відходів, зокрема:

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

### 1.5 Особливості використання золошлаків у цементних композиціях

На сьогоднішній день немає об'єднуючої теорії, здатної зв'язати властивості бетонів з різноманітними золошлаками як активованих так й неактивованих. Визначення складу, співвідношення і ступінь підготовки компонентів носять експериментальний характер. У той же час, аналіз літературних даних показує, що використання мікронаповнювачів надає широкі можливості не тільки для зниження вартості чисто клінкерних в'язучих, а й підвищення їх фізико-механічних і експлуатаційних характеристик. Композиційні в'язучі на основі цементних систем знайшли широке застосування у вигляді цементів з міндобавками, однак найбільш ефективним є впровадження технологічних схем, які дозволяють знижувати зайву активність цементу або, навпаки, підвищувати її безпосередньо в заводських умовах за рахунок включення у виробничий ланцюжок механічного або хімічного процесів активації в'язучого.

Однак, наявність незгорілого палива в золошлакових відходах викликає підвищену водопотребу бетонної суміші [20, 21,]. Незгоріле паливо знижує споживчу цінність золошлакових відходів, як сировини для виробництва будівельних виробів через неоднорідність хімічного складу, що може привести до неконтрольованого впливу на основні фізико-механічні властивості готових виробів; гранулометричний склад, що відрізняється непостійністю зернового складу за площею відвалу, не дозволяє зробити раціональний вибір напрямку використання золошлакових матеріалів. Крім того, на властивості бетонної суміші, а потім й на властивості бетонів має вплив тонкість подрібнення золошлакових відходів, яка коливається у широких межах. Зазвичай галузі використання золошлаків визначаються її хіміко-мінералогічним складом та ступенем дисперсності. Численними дослідженнями встановлена оптимальна тонкість подрібнення 4500- 5000 см<sup>2</sup> / г [22, 23, 24, 25].

Для досягнення необхідної тонкості подрібнення, як правило, використовують активацію золошлакових відходів. Ефективною властивістю активації наповнювачів за рахунок збільшення поверхневої енергії є механо-хімічна активація. Збільшення поверхневої енергії викликається перш за все розривом міжатомних зв'язків структури. Це має місце при подрібненні, помолі, стиранні твердих тіл [26, 27, 28]. Нові «свіжоутворенні» поверхні мають

значно більш високі значення поверхневої енергії, що обумовлює їх більш високу адгезійну активність. З підвищенням дисперсності наповнювача і його концентрації зростає вплив адсорбційно-активного середовища на підвищення поверхневої активності [29]. Міжфазний поверхневий натяг змочувальної рідини тим нижче, чим менше різниця в полярності твердого тіла і рідини [30]. Одним із шляхів активації наповнювачів є створення оптимального рельєфу його поверхні. Збільшення шорсткості наповнювача не тільки сприяє механічному зчепленню зерен в'язучого, а й підвищує площу поверхні контакту. Збільшення адгезійної міцності в цьому випадку йде і за рахунок поліпшення умов змочування. Форма частинок і рельєф їх поверхні залежать від типу помольних агрегатів і природи матеріалів. Так, при грубому подрібненні піску у вібротліні, великі зерна виходять закругленими, а дрібні - незграбними. При подрібненні в кульовому млині до розміру частинок 0,15-26 0,6 мм, переважають круглі зерна. Дезінтеграторний помел переважно дає незграбні зерна піску.

Встановлено, що сумісний вплив механічної та хімічної активації (присутність гіпсу) сприяє збільшенню пуцоланової активності кислих зол. Частинки золи, витримані в вапняному розчині, повністю оточені утвореннями гелів. Окремі частинки зв'язуються між собою, утворюючи кластери. Для отримання дрібнозернистих золобетонів максимальної міцності механоактивовану золу витримують в вапняно-гіпсовому розчині. У такому бетоні характерна присутність голчатих новоутворень, довжина яких становить 3 мкм, а діаметр близько 0,3 мкм. Хімічним способом підвищення

активності золи і піску є добавка негашеного вапна. Вона спричиняє каталітичну дію на реакційну активність поверхні золи і піску в процесі механічної обробки в диспергаторі. Крім того, введення вапна підвищує лужність бетону, що призводить до більшого утворення продуктів гідратації цементу за одиницю часу, а також усуває «вапняний голод» в цементі, що твердіє і дозволяє виявляти гідратацію цементу з найбільшою інтенсивністю[31]. Таким чином, комплекс заходів по механо-хімічній активації дозволяє більш повно використовувати масу компонентів наповнених цементних систем і регулювати їх властивості. При відносно невеликих витратах з'являється можливість забезпечити вражаючий і, що важливо, легко повторюваний в виробничих умовах результат.

При виготовленні бетонів та розчинів, золошлакові відходи використовують як заповнювач замість піску, для заміни частини цементу, а також як мікронаповнювач в асфальтобетонах, що використовуються у дорожньому будівництві.

Зазвичай золошлаки використовують в бетонах в трьох напрямках: як добавку замість частини цементу, як дрібний заповнювач замість частини піску і як мікронаповнювач (самостійний компонент в'язучої системи) [36].

Широкі можливості відкриваються при використанні золошлаків у якості пористого заповнювача в легких бетонах, а також у якості компонента, що замінює кварцовий пісок у теплоізоляційно-конструкційних бетонах. Використання золошлаків, як легкого пористого заповнювача, замість кварцового піску дозволяє не тільки знизити середню густину бетону, але й зменшити його теплопровідність, що забезпечить підвищення теплоізоляційних властивостей виробів та економію палива при експлуатації будинків [25].

На сучасному етапі золошлакові відходи ТЕС використовують при виготовленні як монолітних, так і збірних бетонних та залізобетонних конструкцій [32]. В силу певних причин у гідротехнічному будівництві золи ТЕС почали використовувати раніше, ніж в інших галузях будівництва. Цьому

сприяло те, що марка бетонів для крупних гідротехнічних споруд визначається через 180 діб, тобто у віці, коли негативний ефект дії золи вже не помітний, а міцність бетону з золою майже дорівнює міцності бетону без золи.

Введення золи у невеликій кількості сприяє зниженню водовідділення бетонної суміші [33]. Пластифікуюча і водоутримуюча здатність золи обумовлює її перспективність при використанні у складі легких бетонів. Водночас, використання золи в бетоні не рекомендується при виконанні робіт в осінньо-зимовий період методом «термосу», бо зола сповільнює процес твердіння бетону при низьких температурах.

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

Досить значного поширення набуло використання тонкодисперсної золи-винесення, яка позитивно впливає на легкоукладальність бетону, його водовідділення, якість поверхні, сульфатостійкість, стійкість до лужної та хлоридної агресії, зменшує деформації усадки та підвищує тріщиностійкість, зменшує тепловиділення та підвищує міцність бетону на пізніх етапах твердіння [22, 33].

Введення золи до сумішей для виготовлення легкого бетону підвищує їх в'язкість у статичному стані, але не впливає на умови тиксотропного розрідження при вібруванні. Суміші з золою відрізняються легкоукладальністю, добре заповнюють форму та ущільнюються під дією вібрації. Відформовані вироби з легкобетонних сумішей, що містять золу, відрізняються підвищеною структурною міцністю, що дозволяє швидке нанесення й загладжування верхнього фактурного шару при формуванні огорожуючих конструкцій та полегшує умови проведення часткового або негайного розпалублення виробів [34].

Як свідчить практика, використання в складі бетонної суміші золошлакових відходів більше 30 мас.%, зазвичай призводить до зменшення

активності цементів [34]. Для усунення цього недоліку замість вихідних відходів доцільно використовувати механо- або хімічноактивованих золошлаків.

У бетонних сумішах зола зазвичай виконує роль не тільки активної мінеральної добавки, збільшуючи загальну кількість в'язучої речовини, але й мікронаповнювача, що покращує гранулометрію піску та активно впливає на процеси структуроутворення бетону [36].

За даними [22], розглядання золи як частки в'язучої речовини є недоцільним, оскільки при зростанні кількості золи (до 30 мас.% та більше) міцність важкого бетону знижується.

За результатами досліджень [37], частка оптимальної кількості золи зменшується при збільшенні витрат цементу. Максимальна міцність бетону досягається при заміні 28...30 мас.% дрібного заповнювача золою за рахунок зниження міжзернової пористості суміші.

За даними [38], до складу важкого бетону слід додавати золошлакові відходи у кількості до 150 кг на 1 м<sup>3</sup> бетону, що підлягає ТВО, та до 100 кг на 1 м<sup>3</sup> бетонної суміші, що твердіє в нормальних умовах.

За результатами робіт [39], доцільна кількість використання золошлакових відходів повинна визначатися із умов забезпечення заданих властивостей бетону. В основу оптимізації складу бетону покладено критерій ефективності, який характеризується величиною міцності, що забезпечує одиниця маси цементу [35]. Зола дозволяє покращити гранулометрію піску, в якому відсутні дрібні фракції. Особливо доцільно її вводити у важкоукладальні бетонні суміші з малою кількістю цементу.

Для досягнення високої міцності золовмісних 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 та цементу [36]. На пізніх етапах для проявлення пуцоланової активності золи краще використовувати цементи з підвищеним вмістом аліту. Для золовмісних бетонів характерним є інтенсивний набір

міцності на пізніх етапах твердіння. За даними [37], міцність при стиску бетонів, що містять 30 мас. % золи, через 10 років в 1,4...2 рази перевищує міцність бетону у віці 3 місяців. Також відмічається, що при тривалому твердінні таких бетонів має місце нарощування міцності при розтягу та згині.

Водночас, за даними [36], при використанні золи в кількості, що перевищує витрату портландцементу, можуть бути отримані цемента та бетони, які зазвичай відрізняються не тільки низькою міцністю, але й погіршеною морозостійкістю. Ступінь зниження морозостійкості бетонів при введенні до їх складу золошлаків залежить від багатьох чинників, в тому числі від її неоднорідності.

Значне підвищення морозостійкості та інших експлуатаційних характеристик золонаповнених бетонів досягається при введенні спеціальних добавок, зокрема пластифікуючих, з використанням яких можуть бути отримані досить ефективні різновиди бетонів [39]:

З іншого боку, проблема підвищеного використання золошлакових відходів в складі бетону не є такою простою, оскільки у зв'язку з браком інформації по тривалому їх використанню разом з органічними новітніми добавками завжди існує загроза негативного впливу останніх на процеси твердіння штучного каменю, особливо в складних умовах експлуатації бетону [40].

Золошлакові відходи можна використовувати як активну мінеральну добавку не тільки в традиційних портландцементних в'язучих системах, але й у лужних. За даними [41], можливість використання їх як активного компонента лужних систем залежить перш за все від її хіміко-мінералогічного та фазового складів, від дисперсності та вмісту НВЧ. Так, здатність до самостійного твердіння притаманна лише алюмосилікатним золам, які містять у своєму складі підвищену кількість СаО та мають достатню дисперсність, причому підвищення останньої сприяє зростанню гідравлічної активності золи, яка не завжди гарантує високі міцнісні показники синтезованого штучного каменю.

Для отримання лужних золошлакових композицій, що характеризуються активністю до 90 МПа (після тепловолової обробки) та до 40 МПа (в нормальних умовах твердіння), необхідне коригування їхнього складу високоосновними добавками (портландцементний клінкер, конверторний та ваграночний шлаки).

При введенні таких добавок у складі продуктів гідратації лужних золовмісних композицій утворюються переважно гідросилікатні та гідроалюмосилікатні фази, які й забезпечують достатньо високу міцність та довговічність отриманого штучного каменю.

Основні або висококальцієві золи, що містять  $\text{CaO} > 10$  мас.%, доцільно використовувати як добавку при отриманні цементів, що здатні до розширення [78], а також для виготовлення литих будівельних розчинів [86; 87], причому в останньому випадку використовуються переважно висококальцієві золи разом із портландцементом та пластифікуючими домішками.

Згідно з даними [43], золи, що отримані при використанні технології випалювання у киплячому шарі, доцільно застосовувати у дорожньому будівництві при виготовленні різних видів дорожніх покриттів.

Висококальцієві золи за даними [41] доцільно використовувати як пластифікуючу добавку для отримання високоміцних бетонів. При помелі портландцементного клінкеру стандартами дозволяється вводити до складу цементу 15...25 мас.% низькокальцієвої золи та 25...40 мас.% висококальцієвої.

За даними [26] також можливо введення до складу цементу (без погіршення його експлуатаційних властивостей) до 40 мас.% золи-шару та золи-винесення до 60 мас.%.

Відповідно даних [42], досліджена можливість утилізації золи різної дисперсності та різного складу при виготовленні дорожніх бетонів; вивчена пуцоланова активність золи, що містить  $\text{CaO}$  від 4 до 26 мас.% і показано, що на ранніх стадіях твердіння відсутня кореляційна залежність між міцністю

бетону та активністю використаної золи; в той же час така залежність має місце на більш пізніх етапах твердіння (90 діб та більше).

За результатами досліджень [43], в разі використання висококальцієвих зол, що містять 47...54 мас.% CaO, можливе отримання бетонів для дорожнього будівництва, міцність яких на 90 добу може бути порівняна з міцністю бетонів, отриманих на основі портландцементу.

Водночас використання висококальцієвих зол з високим вмістом ангідриду потребує деякої застороги та виконання додаткових заходів, що забезпечують повну (100%) гідратацію вільного оксиду кальцію.

За даними [43] при змішуванні золи з заповнювачами (у процесі приготування бетонної суміші) не досягається повна гідратація CaO, що призводить до підвищення тепловиділення, розігрівання бетону, його розширення, розтріскування та зниження довговічності. Також зберігається загроза виникнення вторинного еtringіту на пізніх стадіях твердіння зольних цементів.

Таким чином, огляд літератури щодо використання відходів енергетики для отримання в'язучих речовин та бетонних сумішей дозволяє зазначити досить жваве зацікавлення науковців та будівельників-практиків до цієї проблеми, але на сьогодні існують поки що нерозв'язані проблеми, обумовлені як обмеженнями щодо типів золошлакових відходів, які дозволяється використовувати в складі бетонних сумішей, так і нерозв'язаними залишаються проблеми довговічності золонаповнених бетонів, особливо в разі використання сульфатної або механо-сульфатної активації золомістких композиційних в'язучих речовин [45]. Також залишається нерозв'язаним питання щодо сумісності роботи сучасних пластифікуючих добавок різного складу та механізму дії й золонаповнених в'язучих систем.

Основні або висококальцієві золи, що містять CaO > 10 мас.%, доцільно використовувати як добавку при отриманні цементів, що здатні до розширення [64], а також для виготовлення литих будівельних розчинів [72; 73], причому

в останньому випадку використовуються переважно висококальцієві золи разом із портландцементом та пластифікуючими домішками.

Згідно з даними [34–36], золи, що отримані при використанні технології випалювання у киплячому шарі, доцільно застосовувати у дорожньому будівництві при виготовленні різних видів дорожніх покриттів.

Висококальцієві золи за даними [42] доцільно використовувати як пластифікуючу добавку для отримання високоміцних бетонів. При помелі портландцементного клінкеру стандартами дозволяється вводити до складу цементу 15...25 мас.% низькокальцевої золи та 25...40 мас.% висококальцієвої.

За даними [49] також можливо введення до складу цементу (без погіршення його експлуатаційних властивостей) до 40 мас.% золи-шару та золи-винесення до 60 мас.%.

Відповідно даних [32; 33], досліджена можливість утилізації золи різної дисперсності та різного складу при виготовленні дорожніх бетонів; вивчена пуцоланова активність золи, що містить СаО від 4 до 26 мас.% і показано, що на ранніх стадіях тверднення відсутня кореляційна залежність між міцністю бетону та активністю використаної золи; в той же час така залежність має місце на більш пізніх етапах твердіння (90 діб та більше).

За результатами досліджень [34;35], в разі використання висококальцієвих зол, що містять 47...54 мас.% СаО, можливе отримання бетонів для дорожнього будівництва, міцність яких на 90 добу може бути порівняна з міцністю бетонів, отриманих на основі портландцементу.

Водночас використання висококальцієвих зол з високим вмістом ангідриту потребує деякої застороги та виконання додаткових заходів, що забезпечують повну (100%) гідратацію вільного оксиду кальцію.

За даними [35–37] при змішуванні золи з заповнювачами (у процесі приготування бетонної суміші) не досягається повна гідратація СаО, що призводить до підвищення тепловиділення, розігрівання бетону, його розширення, розтріскування та зниження довговічності. Також зберігається

загроза виникнення вторинного еtringіту на пізніх стадіях твердіння зольних цементів [38].

Таким чином, огляд літератури щодо використання відходів енергетики для отримання в'язучих речовин та бетонних сумішей дозволяє зазначити досить жваве зацікавлення науковців та будівельників-практиків до цієї проблеми, але на сьогодні існують поки що нерозв'язані проблеми, обумовлені як обмеженнями щодо типів зол, які дозволяється використовувати в складі бетонних сумішей, так і нерозв'язаними залишаються проблеми довговічності золонатованих бетонів, особливо в разі використання сульфатної або механо-сульфатної активації золомістких композиційних в'язучих речовин [39]. Також залишається нерозв'язаним питання щодо сумісності роботи сучасних пластифікуючих добавок різного складу та механізму дії й золонатованих в'язучих систем.

Загострення екологічної проблеми України потребує розробки нових ефективних технологій переробки відходів теплоенергетики, представлених золами та шлаками ТЕС, які б забезпечували максимальний ступінь їхньої утилізації та зв'язування у якісні будівельні матеріали. Вибір технології утилізації вказаних відходів залежить від таких факторів, як їхній хіміко-мінералогічний та гранулометричний склад, величина питомої поверхні, спосіб видалення тощо [11;]. Незважаючи на те, що зазначені відходи широко використовуються для виробництва в'язучих систем різного типу, таких як пуцоланові цементи золосульфатні цементи [32; 40], гіпсоцементнозольні в'язучі речовини [22; 39], зололужні цементи [25; 41], загальний об'єм їхньої утилізації залишається досить низьким. Частка золи в таких системах зазвичай не перевищує 25...50 мас.%, а виготовлення бетонних виробів на їхній основі вимагає додаткових енерговитрат на теплову обробку. В той же час багаторічний досвід використання золи як пуцоланової добавки в складі в'язучих речовин підтвердив її позитивний вплив на експлуатаційні властивості отриманого штучного каменю, зокрема має місце зниження тепла

гідратації, зв'язування портландиту у гідросилікати кальцію, збільшення ступеня гідратації аліту та підвищення кількості хімічно зв'язаної води [18].

Більш ніж 50 – річний досвід використання золи у складі в'язучих речовин дозволяє відмітити суттєві переваги бетонів, отриманих на її основі. Як правило, при правильному проектуванні складу бетону підвищений вміст золи у складі в'язучої композиції (більше 60 мас.%) забезпечує підвищення корозійної стійкості, стійкості до проникнення хлоридів, стійкості до розвитку внутрішньої корозії, при цьому також має місце зниження емісії CO<sub>2</sub> у атмосферу (тобто крім економічних переваг мають місце також екологічні).

Згідно з дослідженнями [38], можливе використання до 30 мас.% золи у складі в'язучих систем (без погіршення властивостей отриманого штучного каменю). Водночас при використанні надмірної кількості золи у складі золонатованих матеріалів може мати місце підвищення пористості та зниження швидкості набору міцності у часі. Для запобігання цього явища до складу бетонної суміші разом з підвищеною кількістю золи можуть бути введені пластифікуючі добавки з різним механізмом дії (для зниження водоцементного відношення) та комплексні добавки, що містять поряд з органічними також і неорганічні добавки [43].

При виготовленні важких бетонів дозволяється використовувати такі золошлакові відходи: для повної заміни дрібного та крупного заповнювача, часткової заміни заповнювачів та цементу, а також часткової заміни дрібного заповнювача та цементу.

Кількість золи, що використовується у складі в'язучої речовини та бетонної суміші, може бути збільшена за рахунок її активації різними способами, зокрема механічним, хімічним та механохімічним [45]. Вибір способу активації залежить від хіміко-мінералогічного складу золи, способу її отримання, а також від складу в'язучої системи, до якої цю золу вводять. Оскільки зола виконує декілька функцій при введенні її до складу бетонної суміші, то її кількість може бути підвищена не тільки завдяки використанню різних видів активації, але й за рахунок поліфункціональності, причому

введення золи не тільки до складу в'язучої речовини, але й як мікронаповнювача та дрібного заповнювача, буде сприяти утворенню більш міцної контактної зони за рахунок збільшення ступеня кристалохімічної подібності новоутворень та реліктових залишків, що не підлягають гідратації.

Водночас підвищене використання золи у складі в'язучих матеріалів (навіть разом з комплексними органо-мінеральними добавками) може негативно відобразитися на довговічності отриманих будівельних матеріалів, що може бути пов'язаним не тільки з браком в'язучої речовини, але й зі складом новоутворень, формування яких має місце в даній в'язучій системі.

## РОЗДІЛ 2

### МЕТА РОБОТИ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕНЬ

**Мета роботи:** оптимізувати склади сануючих розчинів з використанням золошлаків ТЕС для стін центрального корпусу університету

**Завдання досліджень:**

- Виконати аналітичний огляд літературних джерел з питань відходів ТЕС та її використання у будіндустрії;
- Дослідження властивостей золошлаків котлів з циркуляційним киплячим шаром;
- Підібрати склади цементних розчинів для дослідження з використанням золошлаків ТЕС;
- Обґрунтувати та підібрати найбільш доцільні добавки до розчинів, що сприятимуть створенню гідрофобної та пористої структури;
- Дослідити властивості цементних розчинів;
- Оптимізація складів розчинів на основі золошлаків ТЕС.

**Об'єкт дослідження** — склади сануючих розчинів

**Предмет дослідження** — властивості сануючих розчинів

## РОЗДІЛ 3 МЕТОДОЛОГІЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

### 3.1 Визначення характеристик вихідних матеріалів

#### 3.1.1 Цемент

У придбаного цементу визначалися наступні параметри: Тонкість помелу визначали за ДСТУ Б В.2.7-214:2009; нормальну густоту за вимогами ДСТУ Б В.2.7-185:2009; марку ДСТУ Б В.2.7-187:2009.

#### 3.1.2 Золошлаки

Для виготовлення зразків у межах даної роботи використовувався золошлаки котлів киплячого шару. Для неї визначалися наступні показники: Визначення істинної густини проведено за вимогами ДСТУ Б В.2.7-112-2010;.

#### 3.1.3 Пісок

Для приготування контрольної серії зразків був використаний річковий пісок, для якого були визначені такі характеристики: насипна густина ДСТУ Б В.2.7-112-2010; модуль крупності ДСТУ Б В.2.7-112-2010; Результати усіх випробувань вихідних матеріалів наведені у розділі 4.

#### 3.1.4 Математичне планування експерименту

За для повноцінного дослідження властивостей сануючих розчинів у роботи була реалізована матриця планування експерименту другого порядку. Умови планування експерименту наведено у таблиці 3.1, а матриця експерименту наведена у таблиці 3.2.

При плануванні експерименту вхідними параметрами були прийняти:  $X_1$  – витрати цементу, кг /м<sup>3</sup>;  $X_2$  – ступінь заміщення піску золошлаками.

Матиця планування експерименту була реалізована двічі: перший раз для оптимізації складу розчину за витратами цементу та наявністю золошлаків, вдруге – для оптимізації складів розчинів за пористістю та гідрофобністю.

Таблиця 3.1 *Умови планування експерименту*

Змінні фактори		Рівні варіювання			Інтервал варіювання
Натуральний вигляд	Кодований вигляд	-1	0	+1	
Витрати цементу, кг	X <sub>1</sub>	250	300	350	50
Ступень заміщення піску золошлаками П-ЗШ	X <sub>2</sub>	-1	0	1	0,5

Таблиця 3.1

№ досліду	Вихідні параметри		Відгук
	x <sub>1</sub>	x <sub>2</sub>	R <sub>c</sub>
1	2	3	4
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	

### **3.1.5 Підбір складу розчинної суміші**

Оскільки теоретично дуже важко підібрати склад сануючого розчину з урахуванням необхідної кількості поризуючих та гідрофобізуючих добавок, на першому етапі підбираємо склад простого будівельного розчину за методикою. Базовим приймаємо простий цементний розчин марки 150. Для цього розчину приймаємо за даними (того же попова) склад 1:4. Тобто 1 частина цементу та чотири – заповнювача.

Для виготовлення зразків приймаємо об'єм розчину у 1,5 л. Для цього беремо 1,5 л піску та після зважування і встановлення цього масу, зважуємо відповідну частину цементу.

На другому етапі оптимізований склад розчину використовуємо для підбору необхідних кількостей хімічних добавок.

**РОЗДІЛ 4**  
**ВИХІДНІ МАТЕРІАЛИ**  
**4.1 Портландцемент**

В роботі використаний портландцемент ПЦ 1-500 Н виробництва Івано-Франківського заводу Україна. Портландцемент - порошкоподібна гідралічна в'язуча речовина, здатне при змішуванні з водою тверднути на повітрі та у воді з утворенням міцного водостійкого каменю. Портландцемент ПЦ 1-500-Н відносяться до I типу цементів за речовим складом згідно ДСТУ Б В.2.7- 46: 2010. Мінералогічний склад цементу за даними заводу виробника наведено в таб. 4.1.

*Таблиця. 4.1. Мінералогічний склад клінкеру портландцементу ПЦ 1-500-Н*

Клінкерні мінерали	Тип цементу
	ПЦ 1-500-Н
Трикальційовий силікат $C_3S$	67,3
Двокальційовий силікат $C_2S$	13,5
Трикальційовий алюмінат $C_3A$	6
Чотирикальційовий алюмоферит $C_4AF$	10,4

За результатами випробувань згідно з ДСТУ Б В.2.7-187:2009 цемент відповідає марці ПЦ 1-500 Н.

**4.2 Кварцовий пісок**

В роботі використано кварцовий пісок місцевого родовища. За результатами випробувань стандартними методами згідно з ДСТУ пісок має наступні властивості: насипна густина у сухому стані – 1350 кг/ м<sup>3</sup>, модуль крупності  $M_{кр} = 1,05$ , за умістом органічних домішок відповідає вимогам ДСТУ.

### 4.3 Золошлаки

Для виготовлення зразків у межах даної роботи використовувався золошлаки котлів киплячого шару.

Таблиця 4.2 *Результати визначення істинної густини золи*

Маса об'ємоміра з водою, г	Маса об'ємоміра з золюю, г	Маса наважки золошлаку, г	Об'єм, см <sup>3</sup>	Істина густина, г/см <sup>3</sup>
372	424,2	52,2	20	2,61

Насипна густина визначалася згідно з вимогами ДСТУ. Результати випробування наведені у таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 *Результати визначення насипної густини золи*

№ дослідю	Об'єм циліндра, см <sup>3</sup>	Вага циліндра, г	Вага циліндра з золюю, г	Вага золи, г	Густина, г/см <sup>3</sup>
1	995	274	1499	1225	0.516
2	995	274	1501	1227	0.536

У подальшому за насипну густину золи-винесення приймалося середнє значення, котре становить 1230г/см<sup>3</sup>

Водопотреба золошлаків, яка визначалася згідно вимог ДСТУ Б В.2.7-232: 2010 складає - 21%.

Хімічний та речовий склад золошлаків, визначені у НДІ силікатів при КНУБА наведені в таб. 4.4

Таблиця 4.4 Елементний та хімічні склади золи-винесення

Речовий склад		Хімічний склад	
Елемент	Вміст, %	Оксид	Вміст, %
Al	21.91	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	26.89
Si	44.37	SiO <sub>2</sub>	48.95
S	6.80	SO <sub>3</sub>	7.36
K	6.99	K <sub>2</sub> O	3.90
Ca	7.94	CaO	5.17
Ti	1.02	TiO <sub>2</sub>	0.81
Fe	9.57	FeO	6.12
Zn	0.04	ZnO	0.04
Mo	0.00	MoO <sub>3</sub>	0.00
In	1.36	In <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.76
W	0.00	WO <sub>3</sub>	0.00

Як видно з таблиці в хімічному складі золошлаків не присутні оксиди радіоактивних елементів. За вмістом оксиду кальцію вони відносяться до низькокальційових, а за вмістом сірчанних оксидів до відходів з високим вмістом сірі.

#### 4.4 Хімічні добавки

В роботі використана добавка «азоліт» для створення порізованої структури сануючого розчину, яку необхідно для компенсування напружень, що виникаються в результаті утворення сполук при випаровуванні вологи.

**Азоліт** – рідка повітрявтягуюча добавка. Не вміщує хлоридів та інших корозійних компонентів. Добавка сприяє зниженню витрат води.

**Добавка «ГКЖ – 11 Н»** для створення гідрофобного шару на внутрішніх поверхнях капілярів.

Водний розчин метилсиліконата натрію (CH-Si-ONa), n=1 – 2.

Рідини ГКЖ призначені для гідрофобізуючої обробки пористих матеріалів: поверхонь з цегли, мармуру, туфу, бетону, азбоцементу, черепиці, гіпсових виробів і інших матеріалів подібного типу, як гідрофобізуюча добавка до бетону, штукатурці при проведенні ремонтних робіт житлових, громадських та промислових будівель і споруд, в нафтохімічній промисловості в якості добавки до бурових розчинів.

Водовідштовхувальна рідина ГКЖ-11Н вводяться в розчин разом з водою замішування в кількості 0,1-0,2% від ваги цементу або вапна.

## РОЗДІЛ 5

### РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

#### 5.1 Оптимізація складів розчинів за вмістом золошлаків

Планування експерименту – це комплексна процедура вибору числа дослідів й умов їх проведення, необхідних та достатніх для розв'язання поставленої задачі з необхідною точністю.

З метою досконалого вивчення особливостей впливу змінних факторів на фізико-механічні властивості розчинів з використанням золошлаків, у роботі був реалізований двофакторний план планування експерименту.

Згідно плану першу серію зразків було випробувано на міцність при стиску для визначення впливу вхідних параметрів на міцність при стиску.

Вхідними параметрами для всіх серій зразків були витрати цементу  $X_1$  та ступінь заміщення кварцового піску золошлаками  $X_2$ . Умови планування експерименту наведено у табл. 5.1.

*Таблиця 5.1 Умови планування експерименту*

Змінні фактори		Рівні варіювання			Інтервал варіювання
Натуральний вигляд	Кодований вигляд	-1	0	+1	
Витрата цементу	$X_1$	250	300	350	50
Ступінь заміщення піску П- ЗШ	$X_2$	0	0,5	1	0,5

Зразки – кубики, які були виготовлені за матрицею планування експерименту, були випробувані на стиск у марочному віці. Результати випробувань наведені у таб. 5.2

Таблиця 5.2 Результати випробування зразків розчину на стиск

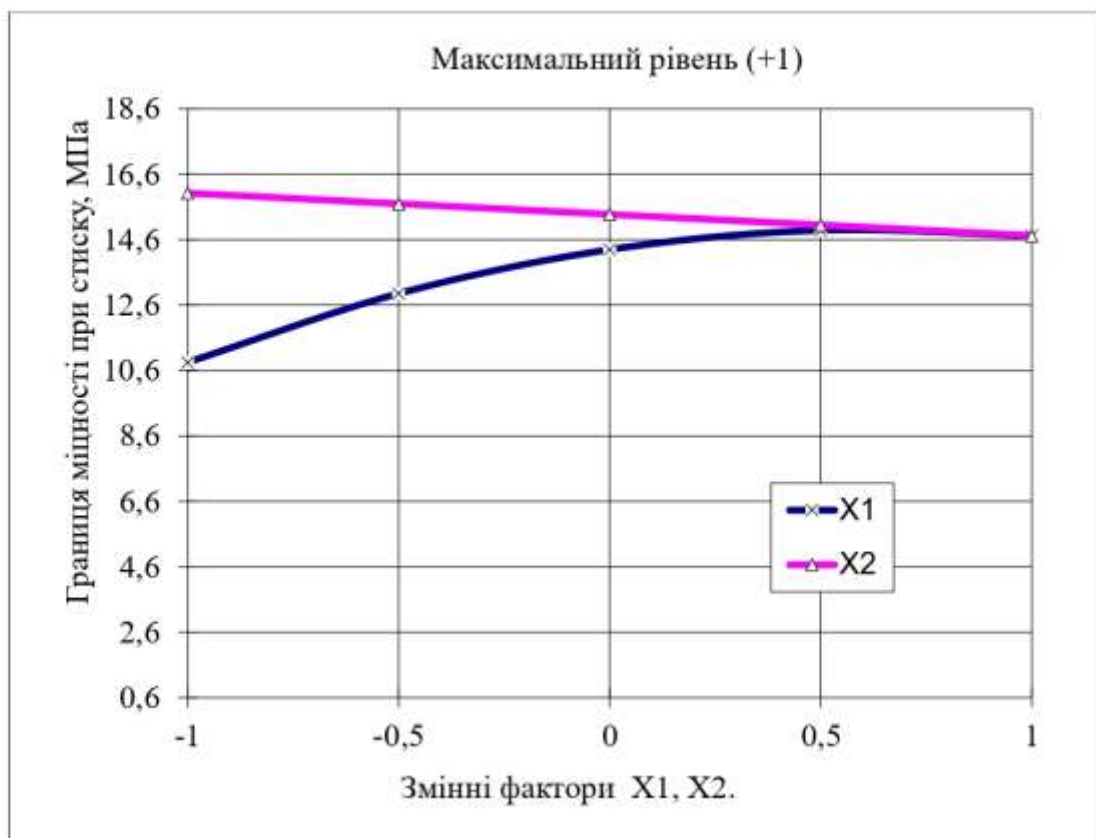
№ досліду	Вихідні параметри		В натуральних значеннях, кг		Міцність при стиску, МПа
	X1	X2	X1	X2	
1	2	3	4	5	6
1	1	1	400	1350 (ЗШ)	15,6
2	1	-1	400	1350 піску	16,4
3	-1	1	300	1350 ЗШ	10,8
4	-1	-1	300	1350 піску	11,7
5	1	0	400	675 П +675 ЗШ	14,2
6	-1	0	350	675 П +675 ЗШ	12,1
7	0	1	350	1350 ЗШ	13,6
8	0	-1	350	1350 піску	15,8
9	0	0	350	675 П +675 ЗШ	15,1
10	0	0	350	675 П +675 ЗШ	15,3
11	0	0	350	675 П +675 ЗШ	15,0

Після статистичної обробки результатів випробувань, отримаємо рівняння регресії, яке описує залежність міцності при стиску розчинів від змінення вхідних параметрів.

$$R_c = 14.98 + 1.93X_1 - 0.65X_2 - 1.51X_1^2 + 0.04 X_2^2 + 0.025X_1X_2$$

Рішення рівняння відносно вхідних параметрів дозволяє будувати графіки залежності міцності при стиску розчинів від вхідних параметрів.

На рис. 5.1. Наведено графік змінення міцності при стиску залежно від змінення вхідних параметрів на максимальному рівні параметрів у межах експерименту.



**Рис. 5.1. Змінення міцності при стиску залежно від змінення вхідних параметрів на максимальному рівні**

Аналіз графіків свідчить про те, що з збільшення витрат цементу міцність при стиску розчинів зростає. Цей феномен не потребує додаткових пояснень, тому що основним компонентом, що забезпечує міцність у цементних композиціях є саме цемент. Але з зростанням ступеня заміщення піску золошлаками міцність при стиску знижується. Це явище є зрозумілим. Золошлаки мають пористу структуру, що обумовлює зниження міцності самих зерен золошлаків. Крім того маючи пористу структуру золошлаки мають підвищену водопотребу. Ранніми дослідженнями було встановлено, що золошлаки мають водопотребу у тричі вища ніж кварцовий пісок. Підвищена водопотреба золошлаків сприяє підвищенню В/Ц відношення, що у свою чергу, викликає зниження міцності при стиску цементних композицій. Але незважаючи на це розчини мають достатню міцність при стиску, що змінюється у межах від 10,85 до 16 МПа, що складає 32%

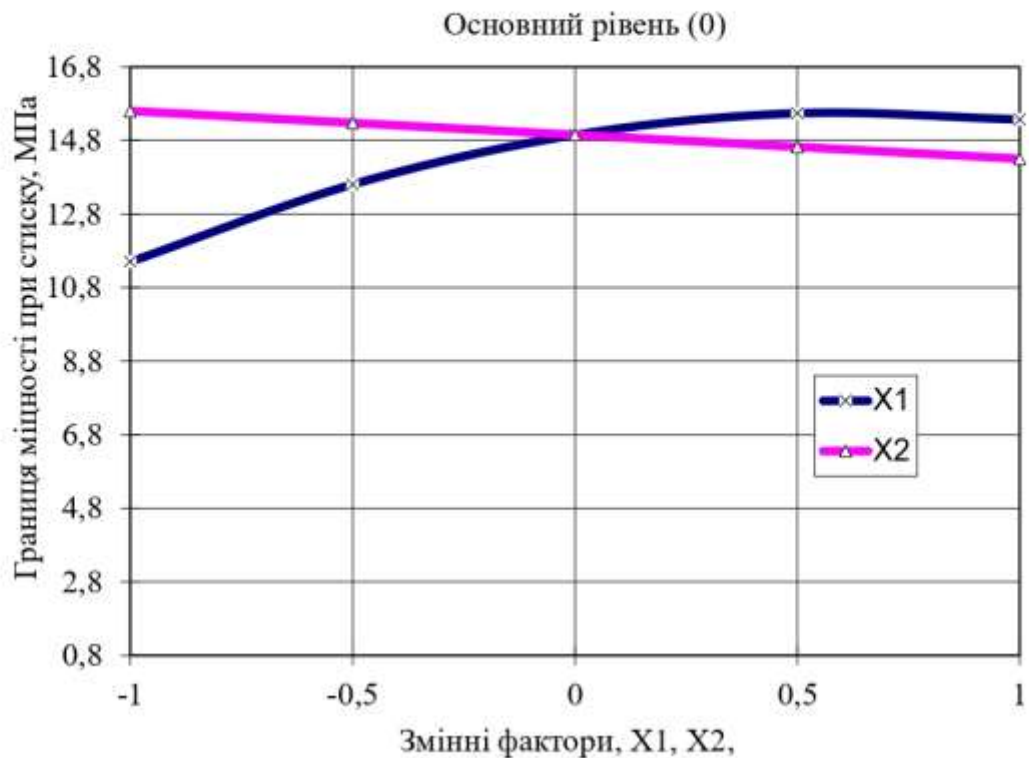


Рис. 5.2. *Зміння міцності при стиску розчинів залежно від зміння вхідних параметрів на основному рівні*

Аналіз графіків показує, що зовнішній вигляд графіків не змінено. Так же само з збільшенням витрат цементу міцність при стиску зростає. Але при максимальному значенні витрат цементу міцність при стиску розчинів складає 15,39 МПа, а при мінімальному значенні – 11,5МПа, що складає 25% зниження міцності при стиску розчинів.

Підвищення ступеня заміщення піску золошлаками призводить до зниження міцності при стиску, залежність ця носить пряmolінійний характер. При збільшенні ступеня заміщення піску золошлаками міцність при стиску знижується від 15,6 МПа до 14,3 МПа, що складає зниження міцності при стиску на всього 8,3%.

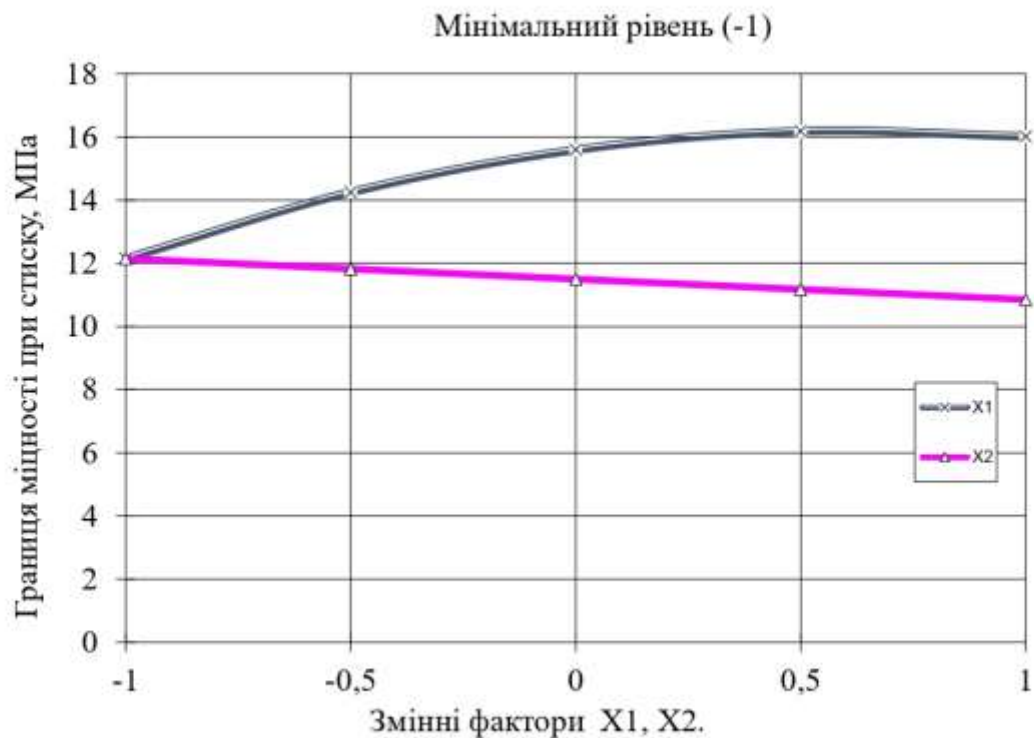
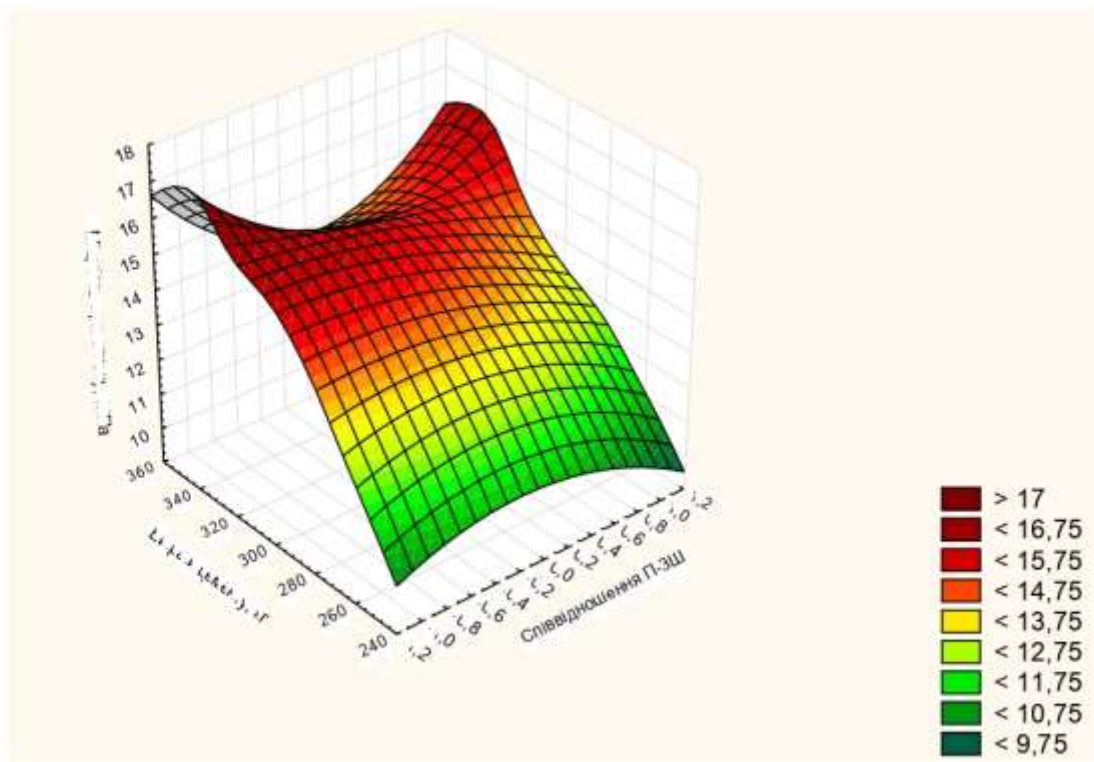


Рис. 5.3. *Змінення міцності при стиску залежно від змінення вхідних параметрів на мінімальному рівні*

Характер залежності міцності при стиску розчинів від змінення вхідних параметрів на мінімальному рівні також не змінюється. З збільшенням параметру  $X_1$  тобто витрат цементу, міцність зростає, але кінетика підвищення не така значна, як на максимальному рівні. При збільшенні витрат цементу міцність при стиску розчинів на цьому рівні параметрів, збільшується від 12,5 МПа до 16,0 МПа, що складає майже 20%, в ой же час як на основному рівні – 25%.

Змінення міцності при стиску розчинів залежно від ступеня заміщення піску золошлаками носить, як й раніше, пряmolінійний характер із зниженням міцності при стиску від 12,5 МПа до 10,85 МПа, що складає 10 % заміст 8,3% на основному рівні.



**Рис. 5.4. Ізопараметрична поверхня змінення міцності при стиску розчинів залежно від змінення вхідних параметрів**

Поверхня впливу змінення вхідних параметрів дозволяє аналізувати одночасно вплив обох вхідних параметрів на міцність при стиску розчинів. Аналіз показує, що поверхня впливу має параболічний характер. З збільшенням витрат цементу міцність при стиску розчинів зростає, як слід було очікувати. Але при мінімальному заміщенні піску золошлаками із зростанням витрат цементу інтенсивність зростання міцності знижується, тим самим показує, що ефективність використання потенціалу цементу знижується. Із зростанням ступеня заміщення піску золошлаками ефективність використання потенціалу цементу, з початку ще більше знижується, а потім ближче до повного заміщення піску золошлаками ефективність зростає. Таким чином, можемо констатувати, що витрати цементу для досягнення необхідної міцності при стиску розчинів складає 350 кгм<sup>3</sup> піску.

Змінення міцності при стиску розчинів залежно від ступеня заміщення піску золошлаками також носить параболічний характер. С початку при нульовому заміщенні міцність розчинів при стиску нижче ніж при заміщенні піску золошлаками на половину. Із зростанням ступеня заміщення міцність при стиску зростає, а при повному заміщенні дещо падає. Таким чином, слід зауважити, що оптимальним значення заміщення піску золошлаками слід вважати 0,5, тобто пісок заміщений золошлаками на половину.

На основі проведених досліджень приймаємо основний склад цементно-золошлакового розчину на 1 м<sup>3</sup> розчину.

*Таблиця 5.3 Базовий склад розчину*

<b>Витрати цементу, кг</b>	<b>Витрати піску, кг</b>	<b>Витрати золошлаків, кг</b>	<b>Витрати води, л</b>
300	675	675	250

## 5.2 Оптимізація складів сануючих розчинів

Оптимізація складів проводим математичним плануванням експерименту. Для цього реалізуємо двофакторну матрицю планування експерименту. Змінними параметрами приймаємо витрати повітрявтягувальну добавку «Азоліт» та гідрофобізуючу добавку «ГКЖ -11 Н». Вхідні параметри  $X_1$  – витрати добавки «Азоліт»;  $X_2$  - гідрофобізуюча добавка «ГКЖ – 11 Н». Умови планування експерименту наведено у таблиці 5.4, а матриця планування у таблиці 5.5.

*Таблиця 5.4 Умови планування експерименту*

Змінні фактори		Рівні варіювання			Інтервал варіювання
Натуральний вигляд	Кодований вигляд	-1	0	+1	
Витрати «Азоліту», % від маси цементу	$X_1$	0,2	0,3	0,4	0,1

Витрати «ГКЖ-11 Н», % від маси цементу.	X <sub>2</sub>	0,1	0,2	0,3	0,1
--	----------------	-----	-----	-----	-----

Таблиця 5.5 Матриця планування експерименту

№ досліду	Вихідні параметри		Відгук	
	x <sub>1</sub>	x <sub>2</sub>	R <sub>c</sub> , МПа	P, кг/м <sup>3</sup>
1	2	3	4	5
1	1	1	7,6	1100
2	1	-1	8,0	1163
3	-1	1	11,9	1536
4	-1	-1	12,3	1640
5	1	0	8,1	1122
6	-1	0	12,1	1556
7	0	1	9,8	1114
8	0	-1	10,9	1126
9	0	0	10,6	1120
10	0	0	10,4	1118
11	0	0	10,8	1126

За базовий склад розчину була прийнята рецептура наведена у таблиці 5.3. Були виготовлені зразки розчинів з використанням базового складу розмірами 7 x7 x 7 см. У розчин вносили добавки згідно умов планування експерименту. Зразки тверднули у лабораторних умовах протягом 28 діб, після чого були підвергнуті випробуванням. Контролювали змінення міцності при стиску та середню густину розчинів. Результати випробувань наведено у таблиці 5.5. Результати випробувань були оброблені статистичними методами в результаті чого були одержані рівняння регресії, які адекватно описують вплив добавок на властивості розчинів. Рішення рівнянь дозволяє будувати графіки впливу добавок на властивості розчинів.

### 5.2.1 Границя міцності при стиску

Статистична обробка даних випробувань дозволяє отримати рівняння регресії, яке адекватно описує залежність міцності при стиску залежно від витрат обох типів добавок.

$$R_c = 10,58 - 2,1X_1 - 0,32X_2 - 0,45X_1^2 - 0,22X_2^2$$

Рішення рівняння відносно змінення вхідних параметрів дозволяє будувати графіки. На рис. 5.5 наведено графіки змінення міцності при стиску розчинів залежно від витрат добавок.

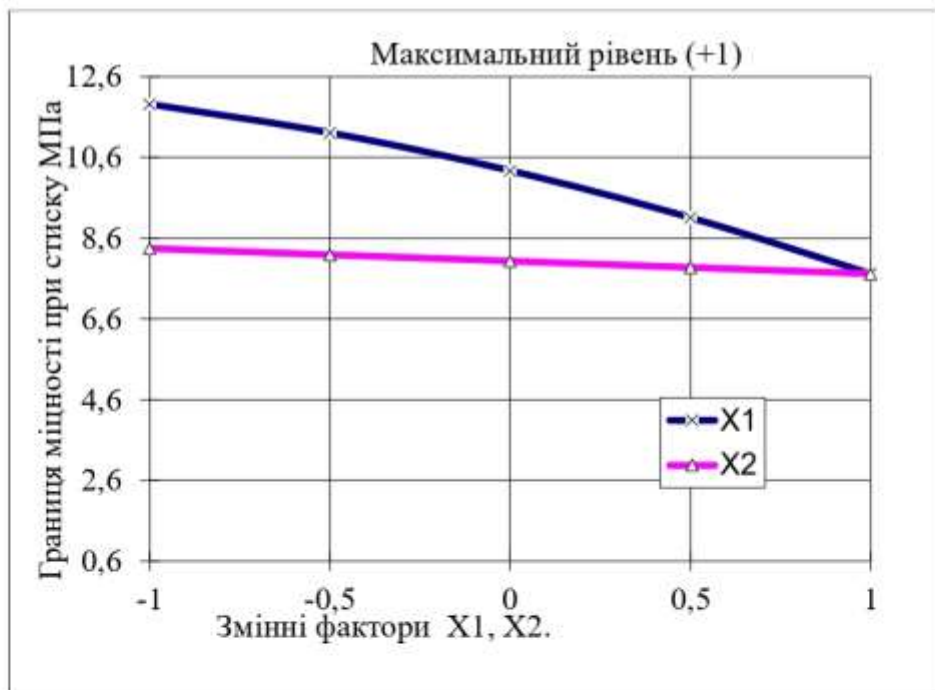
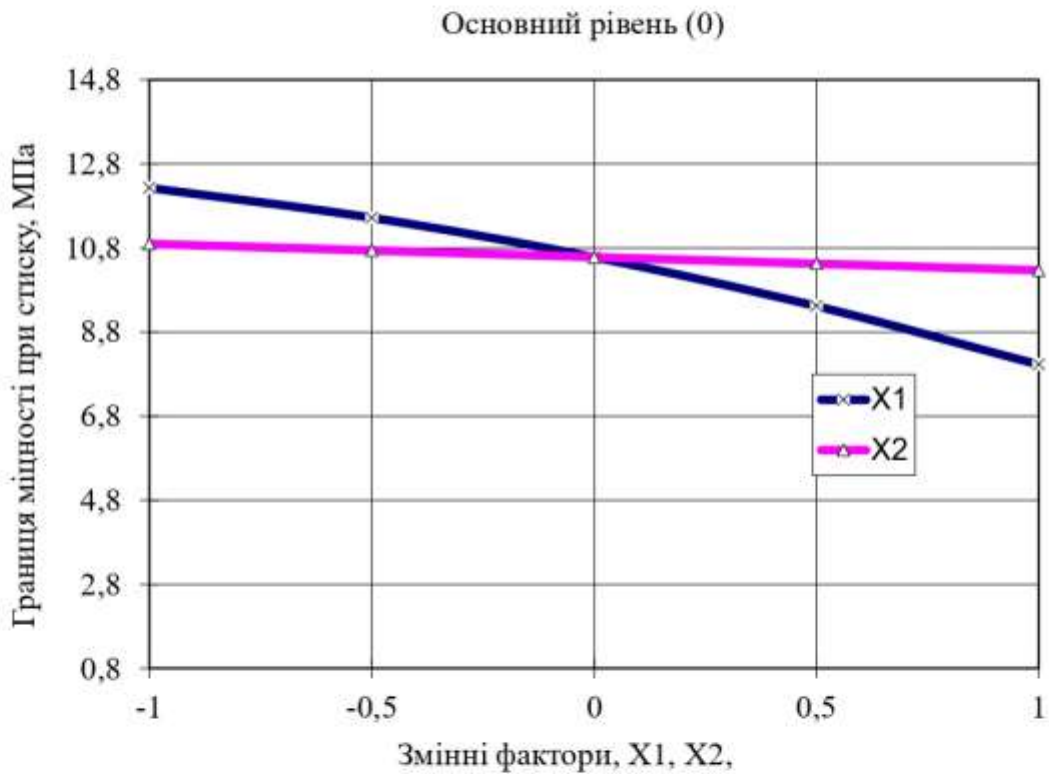


Рис. 5.5. Змінення міцності при стиску залежно від змінення витрат добавок на максимальному рівні

Аналіз графіків показує, що з збільшенням витрат добавок міцність при стиску має тенденцію до зниження. Так, при збільшенні витрат добавки «Азоліту» міцність при стиску знижується від 11,9 МПа до 7,7 МПа, що складає майже

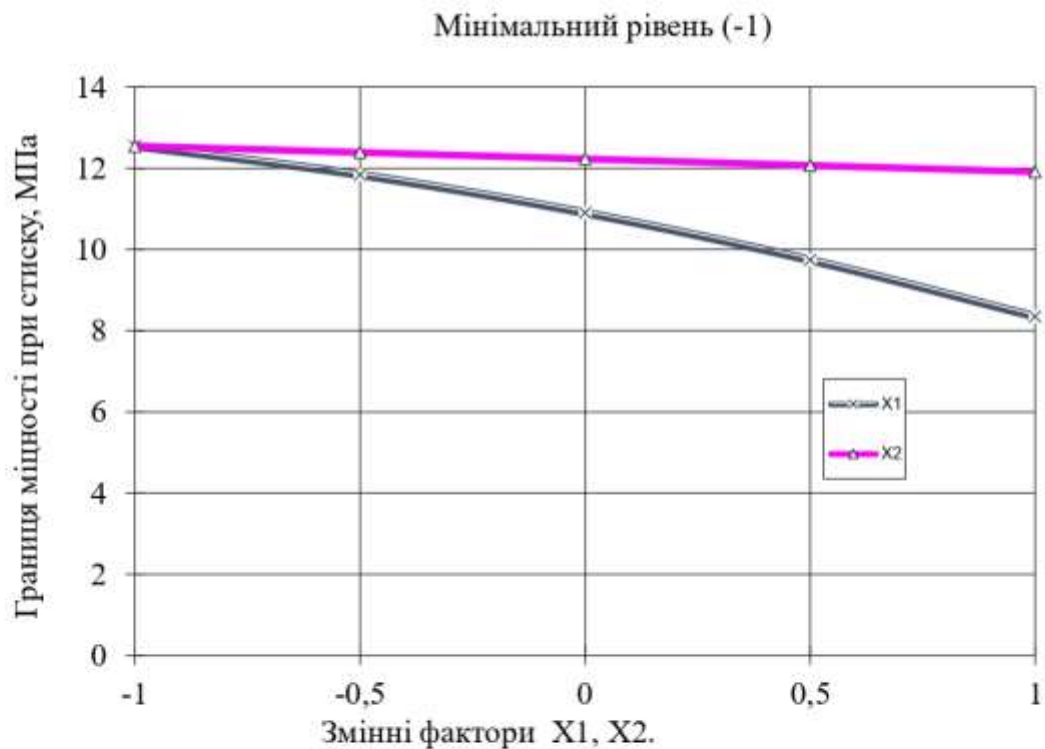
35%. При цьому слід зауважити, що саме Азоліт має більший вплив на міцність розчинів. Відомо, що добавка ГКЖ сприяє зниженню міцності цементних композитів, але при високих витратах. Очевидно, що у даному випадку витрати ГКЖ не такі великі у порівнянні з Азолітом. Крім того слід зауважити й той факт, що ГКЖ знижує кінетику тверднення цементу. Тому вплив його на міцність стає зрозумілим. Азоліт не впливає на кінетику тверднення цементу, а лише втягує повітря у суміш розчину, утворюючи велику кількість повітряних бульбашок у структурі розчину.



*Рис. 5.6. Змінення міцності при стиску розчинів залежно від змінення витрат добавок на основному рівні.*

Аналізуючи графіки змінення міцності при стиску розчинів на основному рівні змінення витрат добавок можемо констатувати, що зберігається характер впливу добавки Азоліт на міцність при стиску. Так, при

збільшені добавки міцність при стиску розчинів знижується від 12,23 МПа до 8,03 МПа, що складає 34% у порівнянні з зміненням міцності на максимальному рівні. Вплив добавки ГКЖ на міцність при стиску розчинів майже прямолінійний. Міцність при стиску знижується з збільшенням витрат ГКЖ від 10,89 МПа до 10,23 МПа, що складає всього 5,7%. Зниження міцності при стиску розчинів з збільшенням добавок можна пояснити тим, що одна з них утягує повітря у розчин, утворюючи повітряні бульбашки, тим самим знижуючи тверду частину розчинів, яка забезпечує міцність. Інша добавка сприяє зниженню кінетики тверднення цементу.

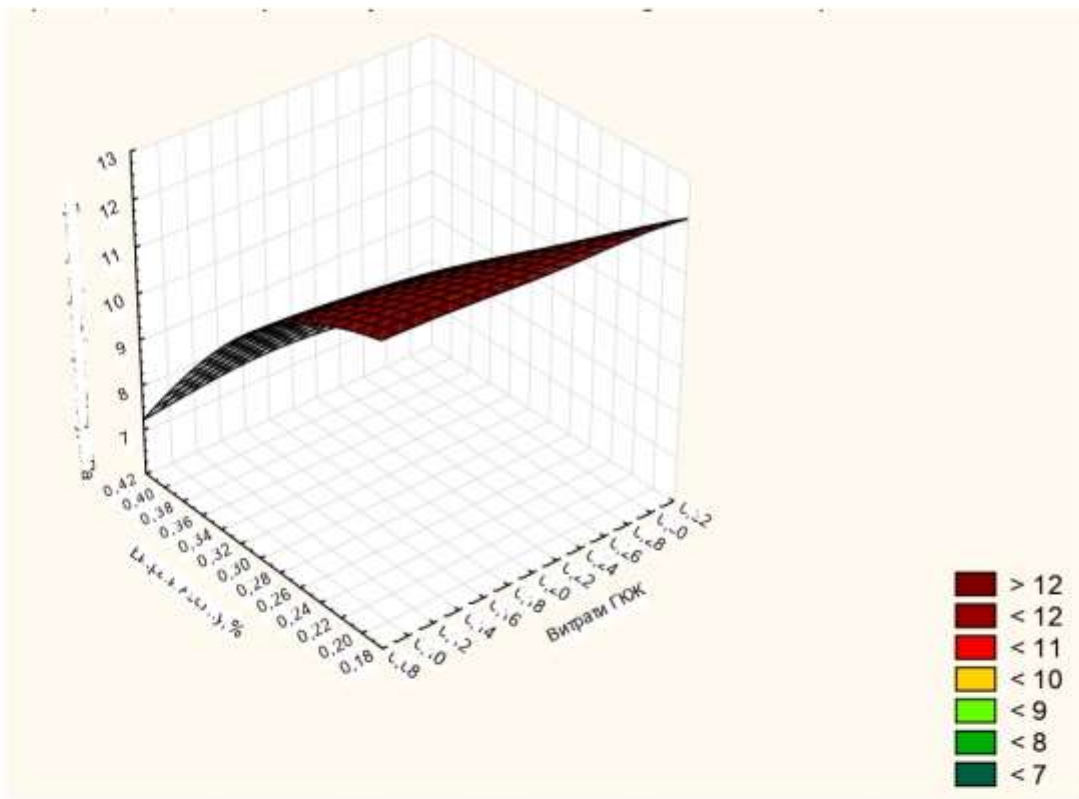


*Рис. 5.7. Змінення границі міцності при стиску розчинів залежно від витрат добавок на мінімальному рівні*

Аналіз графіків показує зниження міцності при стиску розчинів з збільшенням витрат добавок. Так, при збільшені витрат добавки Азоліт міцність при стиску знижується від 12,54 МПа до 8,34 МПа, що складає 34%.

При збільшенні же дозавки ГКЖ міцність при стиску розчинів знижується від 12,54 МПа до 11,91 МПа, що складає всього 5%.

Слід зауважити той факт, що при аналізі графіків на максимальному рівні параметрів зниження міцності при стиску розчинів при збільшенні дозавки ГКЖ складає 603%, на основному рівні 5,7%, а на мінімальному рівні 5%. Загальна тенденція до зниження впливу дозавки ГКЖ на міцність розчинів пояснюється тим, що з зниженням рівнів параметрів знижується й кількість дозавок.



*Рис. 5.8. Ізометрична поверхня впливу зміння вхідних параметрів на міцність при стиску розчинів.*

Представляє інтерес графіки зміння міцності при стиску розчинів залежно від зміння вхідних параметрів одночасно. З графіків видно, що з збільшенням витрат дозавки Азоліту міцність розчинів знижується

параболічною залежністю. Вплив змінення добавки ГКЖ на графіках практично не видно. На всіх рівнях змінення витрат добавки ГКЖ, у межах експерименту, з збільшенням витрат Азоліту, міцність при стиску розчинів знижується. Таким чином, встановлено, що на міцність практично має вплив добавка Азоліт

### 5.2.2. Середня густина розчинів

За даними європейських стандартів сануючі розчини повинні мати пористість понад 40%, а міцність 10 МПа. Для утворення пористості у розчинах використано добавка Азоліт. Внутрішня поверхня пор і капілярів у розчинах повині бути гідрофобізовані. Для чого використана добавка ГКЖ. За критерій оцінки пористості розчинів у роботі була прийнята середня густина.

На рис. 5.9. наведено графік змінення середньої густини залежно від витрат добавок.

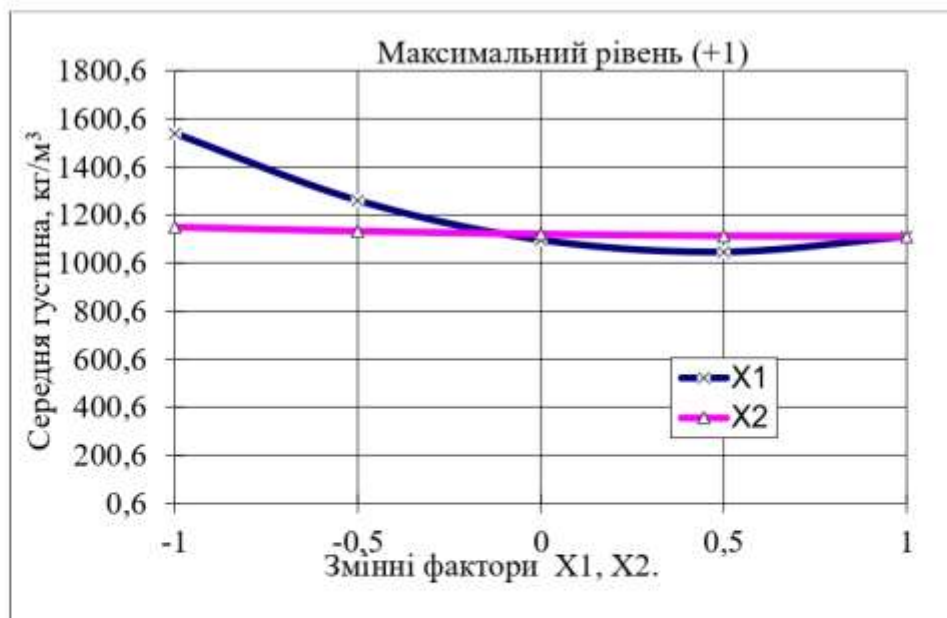
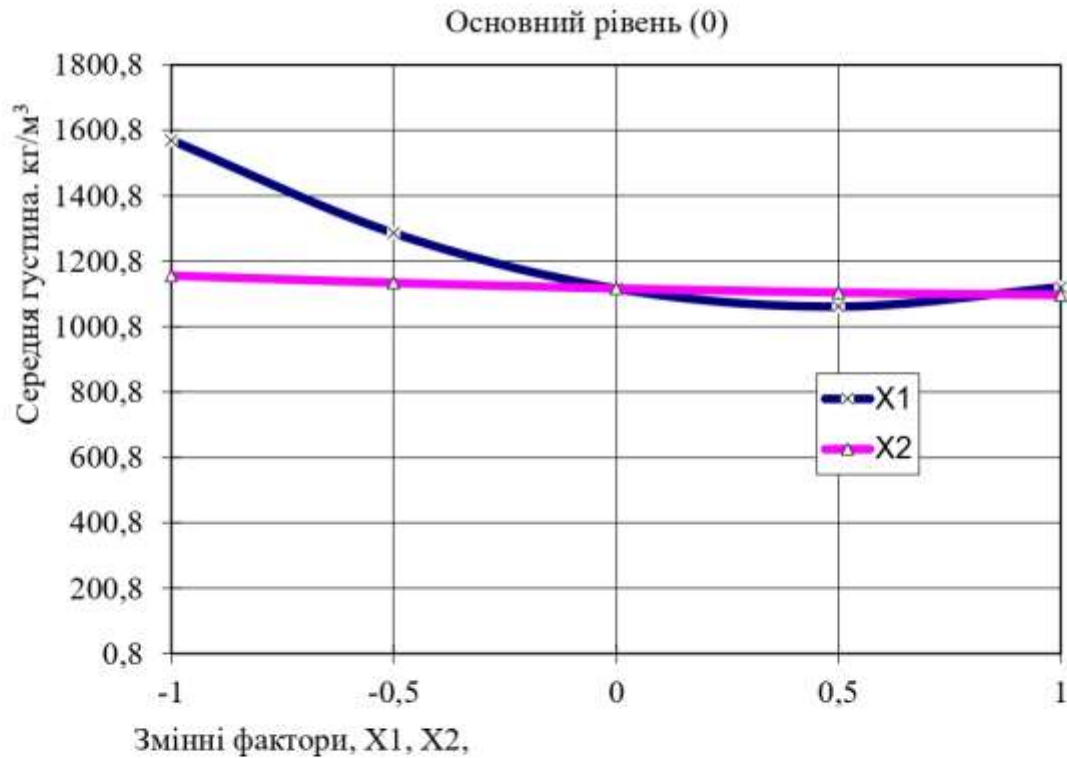


Рис. 5.9. Змінення середньої густини залежно від витрат добавок

Аналіз графіків свідчить про те, що з збільшенням витрат добавки Азоліт, середня густина розчинів знижується. Так, з збільшенням витрат добавки середня густина змінюється від  $1540 \text{ кг/м}^3$  до  $1050 \text{ кг/м}^3$ , що складає майже 32%. Добавка ГКЖ має незначний вплив на змінення середньої густини розчинів. Зниження середньої густини розчинів з збільшенням витрат добавки Азоліт пояснюється тим, що добавка втягує значну кількість повітряних бульбашок у розчину суміш. Тим самим сприяє зниженню середньої густини. Призначення добавки ГКЖ – гідрофлібізація поверхні капілярів та пор у розчині.

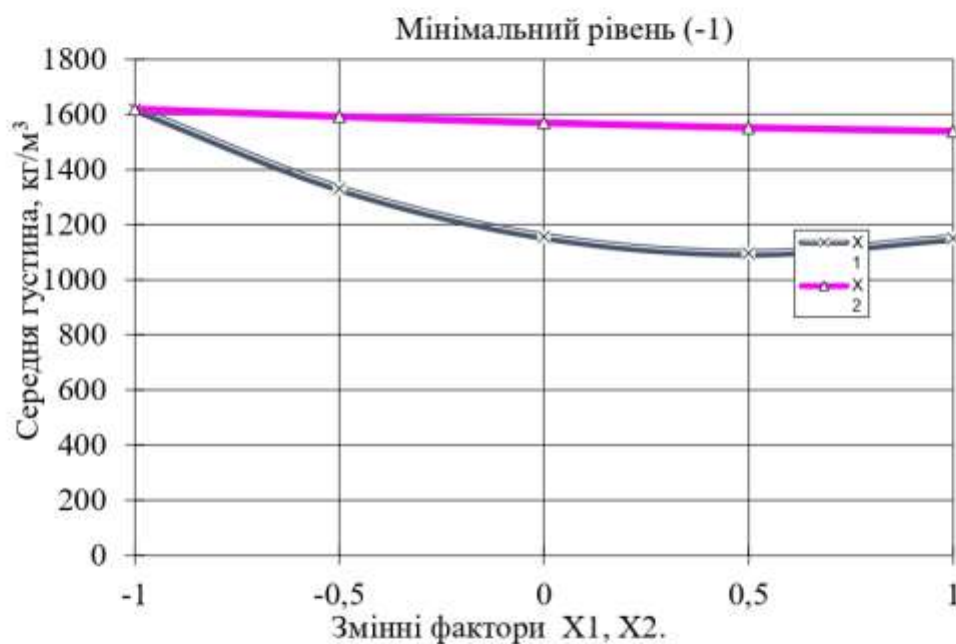
На рис. 5.10 наведено графік змінення середньої густини від змінення вхідних параметрів на основному рівні.



*Рис. 5.10. Змінення середньої густини розчинів залежно від змінення вхідних параметрів на основному рівні*

Аналіз графіків показує, що тенденція впливу змінення витрат добавки Азоліт на середню густину зберігається. Так, при зміні витрат добавки Азоліт у межах експерименту, середня густина розчинів знижується від 1570 кг/м<sup>3</sup> до 1140 кг/м<sup>3</sup>, що складає 27,4%. Цей показник нижче ніж при розгляданні впливу добавки на максимальному рівні. Як і при попередніх графіках, вплив добавки ГКЖ незначний.

На рис. 5.11 наведено змінення середньої густини розчинів залежно від змінення витрат добавок на мінімальному рівні.



*Рис. 5.11. Змінення середньої густини залежно від вхідних параметрів на мінімальному рівні*

Аналіз графіків дозволяє констатувати теж самі характерні змінення середньої густини розчинів. Так, при збільшенні витрат добавки Азоліту, середня густина розчину знижується від 1620 кг/м<sup>3</sup> до 1096 кг/м<sup>3</sup> що складає 32,0%. Як й на попередніх графіках вплив добавки ГКЖ на середню густину розчинів незначний.

Таким чином, в результаті проведених досліджень, та з урахуванням вимог до сануючих розчинів встановлюємо оптимальний склад сануючого розчину.

*Таблиця 5.6 Оптимальні склади сануючих розчинів*

<b>Витрати цементу, кг</b>	<b>Витрати піску, кг</b>	<b>Витрати золошлаків, кг</b>	<b>Витрати води, л</b>	<b>Витрати Азоліту, кг</b>	<b>Витрати ГКЖ, кг</b>
300	675	675	250	0,9	0,6
350	670	670	250	1,05	0,7

## РОЗДІЛ 6

### ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ

#### 6.1 Аналіз шкідливих і небезпечних факторів

У більшості випадків головними негативними факторами, які мають місце при виробництві залізобетонних виробів, є: шум, вібрація і забруднене навколишній мікроклімат. При цьому найбільш небезпечним для здоров'я людини є досить серйозна пило насиченість. Виділення великого обсягу пилу відбувається в процесі перевезення та дозування різного роду сипучих матеріалів і компонентів.

Основні негативні моменти, з якими стикаються працівники підприємства

Перш за все, слід зазначити, що згадуються нижче фактори присутні на абсолютно будь-яких підприємствах:

До проблем, з якими стикається робочий персонал таких підприємств можна віднести:

1. Висока концентрація пилу в арматурному цеху, у великій кількості виробляється в процесі очищення металевих елементів перед початком їх зварювання.

2. Наявність хімічно агресивних компонентів, які виникають при використанні синтетичних смол.

3. Необхідність виконання операцій ручними інструментами, що сприяє контакту рук людини з роз'їдають шкіру речовинами.

4. Висока температура і високий рівень вологості, які мають місце в безпосередній близькості до робочих камерам, в яких здійснюється затвердіння виробів.

5. Значний шум в приміщеннях, які оснащені установками безперервної роботи. Створюватися такий шум може бетономішалками, прокатними станками. Крім цього, високою гучністю володіють і формувальні і пресові цехи.

В даній дипломній роботі розглядається лише важкий бетон з використанням золи виносення в якості часткового заміщення в'язучого матеріалу, тобто технологічні процеси пов'язані з: подрібненням заповнювачів, армуванням та пропарюванням упускаються.

## **6.2 Технічні засоби і організаційні заходи із усунення дії шкідливих факторів**

### **16.1 Класифікація приміщень за рівнем електробезпеки**

Всі виробничі приміщення за рівнем електробезпеки поділяються на три класи: – приміщення без підвищеної небезпеки. Це сухі приміщення зі струму непровідною підлогою, з вологістю не вище 60%, без пилу або лише зі струмо- непровідним пилом і температурою повітря до 300С, в яких відсутня можливість одночасного дотику людини до корпусу електричної установки і металевих елементів, з'єднаних з землею;

– приміщення з підвищеною небезпекою. Для них характерним є наявність однієї з таких п'яти ознак: вологість становить >75%, наявний електропровідний пил, електропровідна підлога, температура повітря вище +35°С, існує можливість одночасного дотику до металевих предметів, з'єднаних із землею і корпусом електроустановки;

– особливо небезпечні приміщення. Вони можуть мати до 100% вологості або хімічно активне середовище, що руйнує електроізоляцію, або одночасно дві чи більше ознак, характерних для приміщення з підвищеною небезпекою.

У приміщеннях з підвищеною небезпекою допускається напруга ручних переносних світильників, місцевого освітлення виробничого устаткування та електрифікованого ручного інструменту до 42 В, а в особливо небезпечних приміщеннях – до 12 В.

### 6.3 Організація безпечної експлуатації електроустановок

Роботи на електроустановках, що діють, з урахуванням заходів безпеки,

ділять на три групи:

- із зняттям напруги;
- без зняття напруги на струмовідних частинах і поблизу них (ближче 6 м);
- без зняття напруги далеко від струмовідних частин, які знаходяться під напругою.

При виконанні робіт із зняттям напруги і без зняття останньої на струмовідних частинах і поблизу них мають виконуватися організаційні і технічні заходи.

Одним з основних організаційних заходів є оформлення наряд-допуску – це завдання на безпечне виконання робіт, оформлене на спеціальному бланку встановленої форми. Він визначає зміст, місце виконання роботи, час початку і її закінчення, умови її виконання, склад бригади і осіб, відповідальних за безпечне виконання роботи.

Головним завданням організації безпечної експлуатації електроустановок є забезпечення їх обслуговування висококваліфікованим персоналом. Існує п'ять груп з електробезпеки персоналу, який обслуговує електроустановки.

I група. Група привласнюється особам, що не мають спеціальної електротехнічної підготовки, але мають елементарне поняття про небезпеку поразки електричним струмом і про заходи електробезпеки при роботі на обслуговуваній ділянці, електроустановці. Для I групи стаж роботи з електроустановками не нормується.

II група. Особи цієї групи мусять мати елементарне технічне знайомство з електроустановками, чітко представляти небезпеку поразки

електрострумом, небезпеку при наближенні до струмоведучих частин, знати основні заходи безпеки при роботі на електроустановках, уміти надавати першу долікарську допомогу.

III група. Особи, що відносяться до цієї групи, мають: знати улаштування електроустановок і вміти їх обслуговувати; мати уявлення про небезпеку під час обслуговування електроустановок; знати загальні правила безпечної техніки, правила допуску до роботи в електроустановках до 1000 В, спеціальні правила безпечної техніки по тих видах робіт, які входять до кола обов'язків даної особи; вміти контролювати тих, хто працює з електроустановками і надавати першу долікарську допомогу.

IV група. Особи цієї групи мусять: мати знання з електротехніки в обсязі спеціалізованого профучилища; мати повне уявлення про небезпеку під час роботи на електроустановках; повністю знати ПТЕ, ПУЕ, ПБТ; знати установку настільки, щоб вільно орієнтуватися в тому, які саме елементи мають бути відключеними для безпечного виконання робіт та ін.

V група. Особи цієї групи мусять: знати всі схеми і електроустаткування своєї ділянки; знати загальну і спеціальну частини ПУЕ, ПТЕ і ПТБ; вміти організовувати безпечне виконання робіт і здійснювати нагляд за електроустановками з будь-якою напругою; навчати персонал інших груп правилам безпечної техніки; вміти надавати першу долікарську допомогу.

#### **6.4 Технічні засоби безпечної експлуатації електроустановок при нормальному режимі роботи**

Дія електричного струму на людину матиме місце лише в тому випадку, коли людина стала елементом замкнутого електричного кола, тобто доторкнулась одночасно до двох точок електричної мережі, між якими існує різниця потенціалів. У такому випадку небезпека враження людини

залежить від напруги мережі, режиму її нейтралі, якості ізоляції струмопровідних частин від землі і т.д.

За режимом роботи електричні мережі поділяють на мережі постійного і змінного струму (одно - та багатофазні). До багатофазних мереж належать трифазні мережі з ізольованою нейтраллю та глухозаземленою нейтраллю. Ізольована нейтраль – це нейтраль генератора чи трансформатора, яка ізольована від заземлювального пристрою або приєднана до нього через апарати з великим опором.

Глухозаземлена нейтраль – це нейтраль генератора чи трансформатора, яка через заземлювач має надійний контакт з землею.

1. Електрична ізоляція – це шар діелектрика або конструкція, виконана з діелектрика, яким укривається поверхня струмоведучих частин або струмоведучі частини відділяються одна від одної. Стан ізоляції характеризується її електричною стійкістю, діелектричними втратами та електричним опором. З метою запобігання пробою ізоляції необхідно здійснювати періодичний і безперервний контроль ізоляції. Періодичний контроль ізоляції передбачає вимір активного опору ізоляції у встановлені правилами терміни (1 раз за три роки), а також при виявленні дефектів.

Опір ізоляції силових і освітлювальних електричних дротів приймають із розрахунку 1 кОм/В і має бути не менше 0,5 МОм.

Електрична ізоляція може бути:

- робочою – ізоляція частин електроустановки, що забезпечує її нормальну роботу і захист від поразки електричним струмом;
- додатковою – передбаченою додатково до робочої ізоляції для захисту від поразки електричним струмом у разі пошкодження робочої ізоляції;
- подвійною – що складається з робочої і додаткової ізоляції;
- посиленою – це поліпшена робоча ізоляція, що забезпечує таку ж міру захисту від поразки електричним струмом, як і подвійна ізоляція.

2. Недоступність для випадкового дотику до струмопровідного устаткування досягають застосуванням наступного:

Огороджувальні пристрої – суцільні і сітчасті, служать для запобігання

доступу людей до електроустановок.

Блокувальні пристрої – не допускають помилок персоналу при роботі на

електроустановках. Як правило, блокувальні пристрої допускають певний порядок

включення (відключення) механізмів, виключаючи тим самим попадання людини

в зону, де можливий дотик до струмоведучих частин.

Розміщення струмоведучих частин на недосяжній висоті або в недоступному місці – забезпечує безпеку без обгороджувальних і блокувальних.

3. Мала напруга – це напруга до 42 В, яка не здатна викликати небезпечну електричну дію на людину за нормальних обставин; використовують в переносних лампах, аварійному освітленні, ручному інструменті тощо.

4. Вирівнювання потенціалів – метод зниження дотику і кроку між точками електричного ланцюга, до яких можливий одночасний дотик або на яких одночасно може стояти людина; досягають шляхом штучного підвищення потенціалу опорної поверхні ніг до рівня потенціалу струмоведучих частин, а також при контурному заземленні.

5. Захисне розділення мереж – це розділення електричної мережі на окремі електрично не з'єднані між собою ділянки за допомогою поділяючих трансформаторів.

Наводимо характеристику потенційних та небезпечних факторів, що можуть мати місце на технологічній лінії або в цеху. Передбачаємо інженерні рішення з метою попередження виробничого травматизму, нещасних випадків і забезпечення безпечних умов праці робітників. Аналіз шкідливих та небезпечних факторів і прийняті інженерні рішення зводимо в табличну форму.

Таблиця 3.1 - Потенційні шкідливі та небезпечні фактори виробництва

№	Робоча зона, технологічний процес, пост	Шкідливі та небезпечні фактори виробництва	Інженерні рішення з охорони праці та безпеки життєдіяльності
1	Обрізання кінців напруженої арматури та розпалублення виробів	Можливість травмування при обрізанні арматури; падіння бортів форми	Обрізання арматурних стержнів здійснюють робітники, які знаходяться збоку від напрямку руху обрізаних кінців. Перед виїманням виробу із форми перевіряється справність провусин для зачеплення стропів, наявність торцевих і бокових обмежувачів падіння бортів, запобіжних козирків, захисних екранів і упорів.
2	Очищення і змащення форм	Силікатний пил; шкідливі випари і можливість виникнення пожежі при приготуванні і нанесенні мастил	Пост для змащування форм обладнаний приточно-витяжною вентиляцією. Місця розміщення емностей з мастилом обладнані засобами пожежегасіння. При очищенні і змащенні форм використовуються окуляри захисні з прямою вентиляцією, фільтруючий респіратор, гумові перчатки, спецодяг із маслостійкої тканини, спеціальне взуття для захисту від сковзання по зажиреній поверхні.
3	Армування напруженою арматурою	Можливість обриву напруженої арматури; ураження електрострумом	Форми оснащуються стаціонарними або зйомними запобіжними козирками, які закривають упори для натягування арматури. Установка для нагрівання арматури огорожується, заземляється (зануляється) і оснащується сигнальними лампами, які повинні попереджувати

			<p>робітників про ввімкнення напрути. Нагріту арматуру виймають з установки після вимкнення струму. Електротермічне натягування здійснюється у брезентовому костюмі, шкіряних ботинках, гумових рукавицях, касці, а також робочі повинні стояти на гумових килимках.</p>
4	Укладання бетонної суміші	Шкідливий вплив вібрації і шуму.	<p>Бетоноукладач СМЖ-168А забезпечується: огороженням рухомих частин; встановленням на рейковій колії упорів з кінцевими вимикачами для обмеження руху; покриттям днищ бункерів, до яких кріпляться вібратори, мінераловатними плитами або пористою гумою для зниження шуму; віброізоляцією бункера, площадки обслуговування і сидіння оператора бетоноукладача, яка виконується за допомогою гумових прокладок, встановлених між цими елементами і рамою бетоноукладача</p>
5	Ущільнення бетонної суміші на віброплощині	Вібрація, шум; падіння віброщита	<p>Для зниження вібрації передбачається: установка віброплощадок на пружні опори, в якості яких використовують гвинтові сталеві пружини; влаштування робочих місць біля віброплощадок у вигляді віброізолюючих настилів. Зниження рівня шуму досягається: правильним кріпленням форм, яке виключає співударання металевих частин; використанням звукоізолюючого кожуха, бокові стінки якого виконані із сталюого листа, металевої сітки і розташованого між ними звукопоглинача. Використовуються кінцеві вимикачі тії уловлювачі, які відповідно обмежують верхнє і нижнє положення привантажувального щита</p>

6	Теплова обробка виробів	Підвищення температури і вологості повітря робочої зони	<p>Передбачаються: огороження паророзподільних устаткувань; встановлення площадок з огороженням із торців камер для роботи стропувальників; встановлення зйомник або постійних металевих драбин для спускання робочих у камери; прокладання паропроводів у закритих каналах і теплоізоляція їх на відкритих ділянках; тиск пари, яка підводиться до ямних камер, не більше 0,2 МПа; попередження витікання пари через нещільності, які утворюються кришкою і стінкою камери, використанням гідравлічного затвору; обшивка нижньої сторони кришки сталевими листами товщиною 1,5-2 мм для зниження паропроникності; піднімання кришок після відведення із камер пароповітряної суміші і при температурі в них нижче 35°C; обладнання камер системою витяжної вентиляції.</p>
---	-------------------------	---	---

### 6.5 Заходи пожежної безпеки у цеху

До заходів зниження наслідків пожежі належать:

- а) обмеження розтікання горючих рідин;
- б) зменшення інтенсивності випаровування горючих рідин;
- в) аварійний злив горючих рідин у аварійні ємності;
- г) установлення вогнеперешкоджувачів;
- д) обмеження маси небезпечних речовин при зберіганні та в технологічних апаратах;
- е) водяне зрошення технологічних апаратів;
- ж) винесення пожежонебезпечного обладнання до ізольованих приміщень;

- з) установлення в технологічному обладнанні швидкодіючих відмикаючих пристроїв;
- і) обмеження розповсюдження пожежі за допомогою протипожежних відстаней і перешкод;
- к) застосування вогнезахисних фарб та покриттів;
- л) захист технологічних процесів, обладнання та окремих приміщень установками пожежогасіння;
- м) застосування пожежної сигналізації;
- н) навчання персоналу способам ліквідації аварій та діям у разі пожежі;
- о) створення умов для найшвидшого введення в дію підрозділів пожежної охорони шляхом улаштування під'їзних шляхів, пожежних водоймищ та зовнішнього протипожежного водогону.

Технологічне обладнання за нормальних режимів роботи повинно бути пожежобезпечним, а на випадок несправностей та аварій необхідно передбачати захисні заходи, які обмежують масштаб та наслідки пожежі.

Виробництво, де є вибухопожежонебезпечні речовини й матеріали, повинно бути оснащено автоматичними засобами контролю параметрів вибухопожежонебезпечності процесу, сигналізацією граничних значень і системами блокувань, які перешкоджають виникненню аварійних ситуацій.

Технологічне устаткування, апарати й трубопроводи, в яких утворюються вибухопожежонебезпечні пари, повинні бути герметичними.

Об'ємно-планувальні та конструктивні рішення будівель промислових об'єктів повинні мінімізувати наслідки пожежі. У разі виникнення пожежі споруда, яку проектували й будували правильно, має протягом певного часу зберігати несучу здатність своїх конструкцій. Поява та поширення вогню й диму всередині будівлі мають бути обмеженими. Проектанти та будівельники повинні також ужити заходів, аби обмежити поширення пожежі на сусідні будівлі, дати можливість людям вільно залишити будівлю, а пожежно-рятувальним підрозділам - загасити пожежу.

## **6.6 Вимоги до технологічних процесів**

Вимоги до технологічного процесу повинні бути викладені в проектно-технологічній документації (проекти виконання робіт, технологічний процес).

Технологічні процеси з приготування цементобетонних сумішей мають виконуватись відповідно до правил технічної експлуатації обладнання, що використовується, машин та механізмів, з дотриманням вимог, що забезпечують захист працюючих від впливу небезпечних та шкідливих факторів.

Розміщення обладнання повинно забезпечувати безпеку та зручність його обслуговування та можливість евакуації працюючих. Обладнання, яке створює підвищений рівень шуму, необхідно розташовувати в окремих

приміщеннях або поміщати в звукоізолюючі кожухи. Робочі місця операторів (у шумних приміщеннях) повинні бути розташовані у звукоізолюючих кабінах. Пульти управління повинні розміщуватись у приміщенні, зручному та безпечному для спостереження за обладнанням технологічного процесу.

Робочі місця повинні відповідати вимогам ДСТУ ГОСТ 12.2.061, бути забезпечені засобами для прибирання, а також аптечками з необхідним складом медикаментів та нейтралізуючих речовин. У небезпечних зонах, а також на обладнанні повинні бути встановлені знаки безпеки згідно з ГОСТ 12.4.026, ДСТУ ISO 6309 та огорожі згідно з ГОСТ 12.2.003.

Безпека процесу приготування цементобетонних сумішей має забезпечуватися:

- автоматизацією та механізацією технологічних операцій;
- герметизацією обладнання;
- веденням процесів відповідно до технологічного регламенту;
- використанням, при можливості, нешкідливих речовин.

Процеси приготування цементобетонних сумішей повинні бути організовані таким чином, щоб виключити забруднення навколишнього середовища (повітря, ґрунту та водойм) шкідливими речовинами та відходами від виробництва. Такі відходи повинні бути знешкоджені відповідними засобами.

До обслуговування обладнання, яке застосовується для приготування цементобетонних сумішей, допускаються професійно підготовлені робітники не молодше 18 років, які мають кваліфікаційне посвідчення на право управління відповідним обладнанням.

#### **6.7 Аналіз шкідливих і небезпечних факторів, які діють на працюючих**

При виробництві будівельних розчинів на працюючих, можуть впливати такі небезпечні та шкідливі фактори:

запиленість повітря – так як на виробництві використовуються дрібнодисперсні матеріали (цемент) існує небезпека потрапляння їх у повітря і утворення пилоповітряної суміші, котра при потраплянні в організм людини може спричинювати негативні наслідки;

випаровування хімічних добавок – під час виготовлення будівельних розчинів з використанням добавок існує можливість їх випаровування та потрапляння до дихальних шляхів;

недостатнє освітлення робочого місця – так як виробництво знаходиться у приміщенні існує можливість шкідливого впливу на працюючих недостатнього освітлення робочих місць;

електричний струм – оскільки робота пов'язана з обладнанням, котре працює від електромережі існує небезпека ураження працюючих електричним струмом.

Пил - основний шкідливий фактор на багатьох промислових підприємствах, обумовлений недосконалістю технологічних процесів.

Наявність пороху в повітрі робочих приміщень зумовлена характером та організацією технологічного процесу, ступенем герметичності устаткування, наявністю або відсутністю вентиляційних установок, ефективністю їх роботи.

Заходи щодо боротьби з пилом різноманітні і, як правило, повинні вживатись у комплексі. Їх можна поділити за характерними, ознаками та спрямованістю:

- скорочення утворення пилу;
- зменшення запиленості приміщень;
- ліквідація пилоутворення від устаткування;
- обмеження поширення пилу у приміщенні.

До заходів, завдяки яким скорочується утворення пилу, належать: раціоналізація технологічних процесів, мокрі способи обдирання та шліфування виливок, зволоження переробних матеріалів і підтримання чистоти приміщень та устаткування. Знижує пилоутворення і використання прогресивних технологічних процесів та устаткування (формування методом пресування, термомеханічні й механічні види зварювання, електрохімічне очищення виливок).

Заходами, які ліквідують пилоутворення та обмежують поширення пилу у приміщенні, є герметизація устаткування, влаштування місцевої вентиляції.

Якщо санітарно-технічні заходи щодо зниження пилу у робочій зоні не дають достатнього ефекту, необхідно застосовувати індивідуальні засоби захисту.

### **6.8 Вимоги безпеки при використанні добавок**

Добавки для бетонів і розчинів повинні мати стійкість до зовнішнього впливу. Після закінчення гарантійного терміну зберігання добавки повинні бути випробувані в бетоні і розчині. Добавка вважається придатною до

застосування, якщо її ефективність не змінилася. Слід зберігати в умовах, передбачуваних технічною документацією на них. Водні розчини добавок повинні зберігатися у закритій тарі, порошкоподібні і кристалічні продукти – в умовах, що запобігають їх зволоженню.

Добавки, що були заморожені, після відтавання повинні зберігати свій позитивний ефект і не погіршувати властивостей бетонної і розчинової суміші, бетону і розчину. Добавки, що після заморожування не зберігають своїх властивостей, повинні транспортуватися і зберігатися за позитивної температури.

Місткості для рідких добавок, при зберіганні яких можливе їх заморожування, розшарування або випадання осаду, повинні бути обладнані системами обігрівання і перемішування.

Маслянисті кремнійорганічні продукти повинні зберігатися у тарі виготовлювача у закритому складському приміщенні: ті, що містять у своєму складі водень, – за температури від 0 °С до плюс 30 °С окремо від кислот і лугів; інші – за температури від мінус 25 °С до плюс 30 °С.

Добавки для бетонів і розчинів не повинні бути джерелом забруднення води, фунту і повітря. За санітарно-гігієнічними і радіаційними параметрами повинні відповідати вимогам ДБН В.1.4-2.01, ОСП 72/80.

Добавки не повинні виділяти у навколишнє середовище шкідливих хімічних речовин у кількостях, що перевищують гранично-допустимі концентрації (ГДК), що встановлені Міністерством охорони здоров'я України.

Технологічні схеми введення добавок у бетони і розчини повинні забезпечувати повернення відходів у місткості для робочого розчину добавок.

Забороняється скидати або зливати у водоймища санітарно-побутового використання і в каналізацію добавки, їх розчини, емульсії, а також відходи, що утворюються при промиванні тракту зберігання, подавання і дозування добавок.

Роботу з добавками слід виконувати згідно з вимогами СНиП III-4, нормативної документації на добавки конкретного виду і цього стандарту.

Добавки повинні відповідати вимогам санітарно-гігієнічної і радіаційної безпеки. Застосування добавок у бетоні і розчині повинне бути погоджене з санітарними службами Міністерства охорони здоров'я України.

До роботи з добавками допускаються особи віком після 18 років, які пройшли медичне обстеження і відповідний інструктаж із безпеки праці. Особи, що працюють із добавками, повинні проходити періодично медичні огляди.

При роботі з добавками необхідно запобігати попаданню їх у очі, на шкіру і в їжу. Робітники працюючі з добавками, повинні бути забезпечені засобами індивідуального захисту.

Не слід допускати до роботи з приготування розчинів добавок і емульсій із них осіб, що мають пошкодження шкіри, а також повік і очей. Забороняється приймати їжу в приміщеннях для зберігання добавок або приготування їх водних розчинів, емульсій, суспензій. При проектуванні складів, вузлів із приготування водних розчинів добавок, бетонів і розчинів із добавками слід дотримуватися вимог чинних норм проектування в частині санітарної, вибухової, вибухопожежної і пожежної безпеки.

При роботі з добавками всі приміщення повинні бути обладнані вентиляцією, що забезпечує стан повітря робочої зони.

Речовини, що відносяться до 2-го і 3-го класів небезпеки, слід зберігати герметично закритими. Місця зберігання таких добавок, приміщення для їх приготування і дозування повинні бути обладнані припливно-витяжною вентиляцією місцевого призначення.

Обов'язковим є щомісячне вологе прибирання приміщень. Особливої обережності слід дотримуватися при роботі з добавками, що містять у своєму складі азот і хром.

Пожежо- і вибухонебезпечні продукти повинні зберігатися в цистернах, резервуарах і металевих бочках у виробничих чи допоміжних приміщеннях біля зовнішніх стін, що відгороджені від основного виробництва неспалимою перегородкою.

Забороняється зберігати в одному місці добавки, що здатні виділяти у зовнішнє середовище пожежо- і вибухонебезпечні продукти, разом з солями, легкозаймистими газами і рідинами, органічними і горючими матеріалами, речовинами на спиртовій основі, їдкими, вибуховими і радіоактивними речовинами. Будівництво складів для таких продуктів, їх розміщення, протипожежне забезпечення повинне проводитися згідно з чинними нормами і правилами проектування.

При роботі з пожежо- і вибухонебезпечними продуктами забороняється курити, застосовувати відкритий вогонь, повинна бути виключена можливість короткого замикання та іскріння в електроустаткуванні. Приміщення повинні бути забезпечені відповідними протипожежними засобами.

Забороняється застосовувати електропрогрівання бетону з добавками, що виділяють газ.

У приміщеннях, де проводиться робота з добавками, повинні бути вивішені правила безпеки праці при роботі з добавками, які використовуються у виробництві.

## **6.9 Освітлення робочих місць**

Штучне освітлення поділяється в залежності від призначення на робоче, аварійне, евакуаційне та охоронне. Розрізняють такі системи штучного освітлення: загальне, місцеве та комбіноване.

Система загального освітлення призначена для освітлення всього приміщення, вона може бути рівномірною та локалізованою. Загальне рівномірне освітлення встановлюють у цехах, де виконуються однотипні роботи невисокої точності по усій площі приміщення при великій щільності робочих місць. Загальне локалізоване освітлення встановлюють на поточних лініях, при виконанні робіт різноманітних за характером на певних робочих місцях, при наявності стаціонарного затемнюючого обладнання, та якщо треба створити спрямованість світлового потоку.

Місцеве освітлення призначається для освітлення тільки робочих поверхонь, воно може бути стаціонарним (наприклад, для контролю за якістю продукції на поточних лініях) та переносним (для тимчасового збільшення освітленості окремих місць, або зміни напрямку світлового потоку при огляді, 98 контролі параметрів, ремонті). Світильники місцевого освітлення повинні бути зручними у користуванні, а, головне, безпечними при експлуатації. Категорично забороняється застосовувати лише місцеве освітлення, оскільки воно створює значну нерівномірність освітленості, яка підвищує втомленість зору та призводить до розладу нервової системи. Таке освітлення на виробництві є допоміжним, до загального.

Комбіноване освітлення складається з загального та місцевого. Його передбачають для робіт I—VIII розрядів точності за зоровими параметрами, та коли необхідно створити концентроване освітлення без утворення різких тіней. Для штучного освітлення цеху планується використати систему загального освітлення. Головними джерелами світла для промислового освітлення є лампи розжарювання та газорозрядні лампи різноманітних типів. Кожен із типів ламп має свої недоліки та переваги.

Лампи розжарювання (ЛР) належать до джерел світла теплового випромінювання, їх світлова віддача складає 10... 15 лм/Вт. Вони створюють безперервний спектр випромінювання, який найбільш багатий жовтими та червоними (тобто інфрачервоними) променями та бідніший в зоні синіх та зелених спектрів випромінювання, ніж спектр природнього світла неба, що погіршує розрізнення кольорів. У цих ламп низький коефіцієнт корисної дії, малий термін служби (до 1000 годин), висока температура на поверхні колби (250...300°C). Водночас вони мають деякі переваги: у них широкий діапазон потужностей і типів порівняно з газорозрядними лампами, незалежність експлуатації від навколишнього середовища (вологості, зашленості і т.д.), простота світильників та компактність.

На підприємствах для освітлення застосовують різноманітні види ламп розжарювання: вакуумні (В), газонаповнені (Г), газо-наповнені біоспіральні (Б) та ін.

Газорозрядні лампи (люмінесцентні, ртутні, високого тиску дугові типу ДРЛ та ін.) випромінюють світло близьке до природнього, поверхня колби цих ламп холодна, вони більш економні, дозволяють створювати високу освітленість. Такі лампи випускаються в асортименті. За спектром їх випромінювання передача кольорів має велике значення для промисловості, оскільки дає можливість визначити дійсну якість продукції, здійснювати контроль сировини, напівфабрикатів та готових виробів.

Люмінесцентні лампи в 2,5...3 рази економніші від ламп розжарювання, працюють протягом 5-10 тис. годин, їх світловіддача становить 30...80лм/Вт. Недоліки освітлювальних установок із газорозрядними лампами (пульсація світлового потоку, осліплююча дія, шум дроселів, великі первинні витрати на закупівлю та монтаж) компенсуються їх економністю в процесі тривалої експлуатації, а також їх незамінністю при необхідності виконання робіт із розрізненням кольорів. Пульсація світлового потоку газорозрядних ламп не сприймається оком, але небажана, оскільки є причиною виникнення стробоскопічного ефекту. В пульсуючому світлі виникає викривлення зорового сприйняття стану рухомих та обертальних об'єктів, а це вже є небезпечним фактором. Ослаблення пульсації досягається підключенням паралельно працюючих ламп на різні фази трьох-фазної мережі, або застосуванням високочастотного постачання освітлювальної установки. Засліплювання змінює сприйняття спектрального складу світлового випромінювання. Тому захист від блискучості таких світильників обов'язковий. Не дозволяється застосовувати відкриті газорозрядні лампи.

Зараз виготовляють такі види газорозрядних ламп, які розрізняються за спектром: лампи денного світла (ЛД) мають блакитний колір, за спектром випромінювання вони близькі до розсіяного світла чистого неба; лампи денного світла з покращеною передачею кольорів (ЛДЦ), вони близькі до ламп

ЛД, але мають кращу передачу кольорів теплих відтінків, у тому числі зовнішнього вигляду людини; люмінесцентні лампи типу ЛЄ найбільш близькі до спектру природнього сонячного світла; лампи білого кольору ЛБ дають випромінення з меншим вмістом синьо-фіолетових променів, світло у них трохи фіолетове, нагадує світло неба, вкритого хмарами, що освітлюються сонцем; лампи холодно-білого світла ЛХБ, ЛХЄ дають кращу передачу світла, ніж лампи ЛБ та ЛД; лампи тепло-білого світла ЛТБ дають світло рожево-білого відтінку.

У виробничих приміщеннях підприємств доцільно застосовувати люмінесцентні лампи білого світла - ЛБ. Вони найбільш економні та дають світло теплих тонів.

Лампи ЛТБ можна застосовувати в приміщеннях для відпочинку. Там, де необхідно проводити суворий контроль якості продукції, належить застосовувати лампи ЛДЦ.

Люмінесцентні лампи треба застосовувати насамперед там, де недостатнє природнє освітлення (приміщення з вікнами, що затіняються будівлями, деревами або виходять на північ, експедиції, підвальні приміщення тощо).

Для комбінованого освітлення краще застосовувати лампи ЛБ. Лампи ДРЛ (дугові ртутні) належать до ламп високого тиску. Вони економні, світлова віддача майже 75...100 лм/Вт. Такі лампи застосовують для освітлення в цехах при виконанні грубих робіт та робіт середньої точності, при загальному нагляді, а також для зовнішнього освітлення місць навантаження, вивантаження і в цехах великої висоти та площі. Для штучного освітлення цеху по виготовленню бетонних тротуарних виробів найкраще підійдуть люмінесцентні лампи білого світла.

## **6.10 Вимоги безпеки при роботі з електричним струмом**

Виконання робіт підвищеної небезпеки проводяться виключно із застосуванням засобів індивідуального захисту та безпосередньо під наглядом відповідального виконавця та керівника робіт із дотриманням інструкції з охорони праці.

До роботи на електроустановках допускаються особи не молодші 18 років, які пройшли інструктаж та та навчання з безпечних методів праці, перевірку знань правил безпеки. Регулювальникам та іншим працівникам, які мають постійний контакт з електроприладами підвищеної напруги до 1000В необхідно мати кваліфікаційну групу з електробезпеки не нижче III.

На виробничій дільниці застосовуються такі засоби безпечної експлуатації електроустановок, як захисне заземлення, захисне занулення.

**Основними мірами по захисту від ураження електричним струмом є:**

- забезпечення недоступності струмоведучих частин для випадкового доторкання;
- використання ізоляції струмоведучих частин;
- використання методів колективного захисту від ураження електричним струмом:
  - захисного заземлення, занулення та автоматичного відключення;
  - періодична перевірка опору заземлення;
  - контроль та профілактика пошкоджень ізоляції.

## **ВИСНОВКИ**

1. Досліджені властивості сануючих розчинів з точки зору міцності при стиску. Встановлено, що найбільший вплив на міцність при стиску розчинів має витрати цементу.
2. Досліджені властивості золошлаків ТЕС як заповнювач для сануючих розчинів. Встановлено, що пориста структура золошлаків сприяє зниженню середньої густини сануючих розчинів;
3. Оптимізовані склади цементно - золошлакових розчинів для використання як базовий склад для подальшої оптимізації до сануючих розчинів.
4. В результаті досліджень підібрані найбільш оптимальні добавки для утворення необхідної структури сануючих розчинів.
5. Оптимізовані склади сануючих розчинів з точки зору пористості та гідрофобності структури.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Федун О. В., Дубровський В. А. "Проблеми і технології утилізації твердих побутових відходів." – Київ: Інститут екології, 2021.
2. Гуменюк С. С., Руденко Т. О. "Управління відходами виробництв: теорія та практика." – Львів: ЛНТУ, 2021.
3. Шидловський А. К. Паливно-енергетичний комплекс України на порозі третього тисячоліття / А. К. Шидловський М. П. Ковалка. – К.: УЄЗ, 2001. – 400 с
4. Дворкін Л.Й. Використання техногенних продуктів у будівництві: Навч. Посібник, Для студ. вищ. навч. Закл. ,які навч. За напрямком «Будівництво» /Л.Й. Дворкін, К.К. Пушкарьова, О.Л. Дворкін та інші.- Рівне: НУВГП, 2009.- 339 с.
5. Demchyna, B., L. Vozniuk, and M. Surmai. "Scientific foundations of solving engineering tasks and problems." (2021). Вдосконалення системи поводження з відходами теплових електростанцій Електронний ресурс: Режим доступу:  
<http://donntu.edu.ua/russian/strukt/kafedrs/oc/konk/Prjimer20oformlenjija%20raboty%20na%20konkurs.pdf>
6. Sokolovskaya, O. "Scientific foundations of modern engineering/Sokolovskaya O., Ovsiannykova L. Stetsiuk V., etc– International Science Group." Boston: Primedia eLaunch 528 (2020).
7. «ASTM C 168 Standard Terminology Relating to Thermal Insulation»
8. Kalafat, K., L. Vakhitova, and V. Drizhd. "Technical research and development." International Science Group. – Boston : Primedia eLaunch, 616 p. (2021).
9. Березюк, О. В., and М. С. Лемешев. "Визначення параметрів машин для поводження з твердими відходами: монографія." Omni Scriptum (2020).
10. Kornylo, I., O. Gnyr, and M. Lemeshev. "Scientific foundations in research in Engineering." (2022).
11. Kornylo, I., O. Gnyr, and M. Lemeshev. "Scientific foundations in research in Engineering." (2022).
12. Wójcik, Waldemar, and Małgorzata Pawłowska, eds. Biomass as Raw Material for the Production of Biofuels and Chemicals. Routledge, 2021
13. Лемішко, К. К. Переробка промислових техногенних відходів виробництва. Академія технічних наук України, 2018.
14. Гончар, С. В. Композиційні бетони спеціального призначення. Харківський національний університет міського господарства імені ОМ Бекетова, 2019

15. Boiko, T., et al. Theoretical foundations of engineering. Tasks and problems. Vol. International Science Group, 2021.
16. Лемешев М. С. Будівельні вироби з використанням промислових відходів Вінниччини / М. С. Лемешев // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. – 2017. – № 41. – С. 123 – 127
17. Cherepakha, D. Industrial waste and its processing. Харківський національний університет міського господарства імені ОМ Бекетова, 2020.
18. Лемешев М. С. Ніздрюваті бетони з використанням промислових відходів / М. С. Лемешев, О. В. Березюк // Перспективні інновації в науці, освіті, виробництві та транспорті '2017 : матеріали міжнародної науково-практичної Інтернет-конференції. – Москва : SWorld, 2017. – 7 с.
19. Лемішко, К. К., М. Ю. Стаднійчук, and М. С. Лемешев. "Використання промислових відходів енергетичної та хімічної галузі в технології виготовлення будівельних виробів." (2019).
20. Черепакха, Д. В. Металонаповнений бетон для виготовлення елементів систем антикорозійного захисту. Інститут проблем природокористування та екології НАН України, 2021
21. Khrystych, O. "Technological parameters of the radiation resistant concrete production." Scientific Works of Vinnytsia National Technical University 1 (2020).
22. Лемешев, М. С., Сівак, К. К., Стаднійчук, М. Ю. (2021). Сучасні підходи комплексної переробки промислових техногенних відходів. Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві, 31(2), 37-44.
23. Beresjuk, O., et al. Theoretical and scientific foundations in research in Engineering. Vol. 1. International Science Group, 2022.
24. Сорока, С. В. "Комплексне використання техногенних відходів промисловості для виготовлення будівельних виробів." Прикладні науково-технічні дослідження: 22-26. (2019).
25. Stadniychuk, M., Modified multi-component fast-hardening construction composites. Національний університет "Львівська політехніка", 2021.
26. Лемешев М.С. Металонасыщенные бетоны для защиты от электромагнитного излучения // Вісник ОДАБА. 2013. № 33. С. 253-256.
27. Stadnijtschuk, M. Composite materials using metal sludge. Харківський національний університет міського господарства імені ОМ Бекетова, 2020

28. Постовий, П. В. Стіновий композиційний будівельний матеріал спеціального призначення. Diss. Сборник научных трудов SWorld, 2011.
29. Березюк, О. В., М. С. Лемешев, and С. В. Королевська. "Математичне моделювання прогнозування обсягів продукування будівельних відходів в різних країнах світу." Вісник Вінницького політехнічного інституту 3 (2021): 41-46.
30. Лемешев, М. С., et al. "Перспективи використання техногенної сировини при виробництві композиційних в'язучих." Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. № 2: 36-45. (2022).
31. v'Bellmann, F. Activation of blast furnace slag by a new method [Text] / F. Bellmann, J. Stark // Cement and Concrete Research. 2009. Vol. 39. Iss. 8 – pp. 644–655.
32. Лемешев М. С., Сівак К. К., Стаднійчук М. Ю. - "Сучасні підходи комплексної переробки промислових техногенних відходів" (2021).
33. Лемішко К. К. - "Сучасні підходи до переробки промислових техногенних відходів виробництва" (2022).
34. Коваленко А. В., Левицький В. М. "Енергетичні технології України: стан та перспективи розвитку." – К.: НТУУ "КПІ", 2022. – 350 с.
35. Кузьміна Н. О. "Використання відходів в будівництві: Теоретичні та практичні аспекти." – Львів: ЛНУ ім. І. Франка, 2021. – 400 с.
36. Кравченко, І., Шевченко, Т. "Основи інженерної діяльності та ефективного управління відходами." – Харків: ХНУМГ імені О. М. Бекетова, 2022.
37. Савицький О., Тарасюк Л. "Сучасні методи у вирішенні конкретних інженерних задач." – Київ: Видавництво "Наука і техніка", 2023.
38. Мельник В. О. "Теплова ізоляція будівель: Наукові основи та практика." – Одеса: Одеський національний політехнічний університет, 2020.
39. Федун О. В., Дубровський В. А. "Проблеми і технології утилізації твердих побутових відходів." – Київ: Інститут екології, 2021.
40. Гуменюк С. С., Руденко Т. О. "Управління відходами виробництв: теорія та практика." – Львів: ЛНТУ, 2021.
41. Ломакін В. А., Петрова А. В., "Наукові основи та практичні аспекти проектування сучасних будматеріалів із вторинних сировин." – Черкаси: Черкаський державний технологічний університет, 2022.
42. Кривенко О. В. "Сучасні дослідження в галузі використання техногенних продуктів у будівництві." – Київ: ДУТ, 2021.
43. Сидоренко, І. В., & Кривошапко, Г. М. (2020). "Використання вторинних сировин та техногенних відходів у будівельних матеріалах."

Вісник Житомирського державного технологічного університету, 1(94), 45-50.

44. Шевчук, О. О., & Лисенко, В. В. (2018). "Екологічні аспекти перетворення техногенних відходів у будівельні матеріали." Науковий вісник НЛТУ України, 28(2), 209-215.
45. Кравченко, Є. О. (2021). "Сталий розвиток будівельної галузі та комплексне використання відходів." Економіка та управління: проблеми, рішення, 2(6), 108-113.
46. Мельник, О. Є., & Петрів, С. В. (2019). "Техногенні відходи як сировинна база для виготовлення будівельних виробів." Науковий вісник будівництва, 45, 78-83.
47. Яремчук, С. О. (2020). "Перспективи використання відходів промисловості в будівельних технологіях." Будівництво України, 3, 26-30.
48. Сидоренко, О. І., та Піскун, І. В. "Математичне моделювання процесів утворення відходів у містах України." Екологічні науки 2 (2020): 15-23.
49. Кравченко, Р. А., та Шевченко, Н. С. "Прогнозування обсягів відходів на основі математичного моделювання." Вісник Житомирського Державного Університету 6 (2022): 57-63.
50. Левченко, Т. В., та Задорожний, В. О. "Системи моніторингу та прогнозування будівельних відходів: математичний підхід." Наукові записки Таврійського національного університету 1 (2023): 22-30.
51. Ушерів-Маршак А.В. Хімічні та мінеральні добавки в бетон / О.В. Ушерів-Маршак. - Харків: Колорит, 2005. - 280 с.
52. Грищенко, В. П., та Поліщук, В. М. "Моделювання екологічних наслідків відходів будівництва в умовах України." Екологічний вісник 4 (2021): 50-58.
53. Будівельне матеріалознавство / [Кривенко П.В., Пушкарьова К.К., Барановський В.Б. та ін.]; під ред. П.В. Кривенка. – К.: ТОВ УВПК «ЕксОб», 2006. – 704/
54. Дослідження золи-виношення як компонента сухих будівельних сумішей: матеріали ІV науково-практ. семінару [„Структура, властивості та склад бетону”], (Київ, 2007 р.) / Л.І. Дворкін, Ю.В. Гарницький, І.М. Риженка – Київ, 2007. – С. 47-53. Кривенко П.В. Золощелочные вяжущие / П.В. Кривенко, А.Г. Рябова // Цемент. – 1990. – № 11. – С.14-16.
55. Цементні бетони з мінеральними наповнювачами / [Дворкін Л.І., Соломатов В.І., Вировий В.М., Чуднівський С.М.]. - К.: Будівельник, 1991. - 136 с.

56. Дубровський, А. О., та Коваль, Л. М. "Методи математичного моделювання в управлінні відходами: досвід України." Вісник Сумського державного університету 5 (2022): 12-20.
57. Комплексне використання відходів паливно-енергетичної промисловості для отримання композиційних матеріалів з покращеними експлуатаційними характеристиками: матеріали конфер. ["Енергозберігаючі технології. Застосування відходів промисловості в будівельних матеріалах та будівництві"], (Київ, 2004 р.) / К.К. Пушкарьова, О.А. Гончар, В.В. Павлюк. - К., 2004. – С. 96-103.