

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

**Пояснювальна записка**

до кваліфікаційної магістерської роботи

на тему: **«ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ВАЖКИХ БЕТОНІВ НА  
ОСНОВІ МОДИФІКОВАНИХ ПУЦОЛАНОВИХ ЦЕМЕНТІВ»**

Виконав:	Сергій ЩЕРБАК
студент 6 курсу групи 601БТ	
спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія» за ОП «Технології будівельних конструкцій, виробів і матеріалів»	
Керівник	Расул Ахмеднабієв
Завідувач кафедри	Олександр СЕМКО
Рецензент	Андрій ЯЛОВЕГІН

**Полтава 2025**

## ЗМІСТ

	стр.
ВСТУП.....	3
I АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ВИКОРИСТАННЯ ЗОЛОШЛАКОВИХ ВІДХОДІВ У БУДІВНИЦТВІ .....	5
1.1 Фізико-хімічні та технологічні аспекти утворення золошлакових відходів.....	5
1.2 Класифікація золошлакових відходів за різними критеріями	14
1.3 Основні напрямки використання золошлакових відходів при отриманні гідравлічних в'язучих речовин та бетонів .....	24
II МЕТА РОБОТИ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕНЬ .....	37
III МЕТОДИ ВИПРОБУВАНЬ.....	38
IV ВИХІДНІ МАТЕРІАЛИ .....	41
4.1 Портланд цемент.....	41
4.2 Щебінь.....	41
4.3 Кварцовий пісок.....	41
4.4 Зола-винесення.....	42
4.5 Хімічні добавки.....	43
V РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ... ..	42
3.1 Модифіковані пуцоланові цементи та важкі бетони на їхній основі.....	45
VI ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ .....	67
6.1 Аналіз шкідливих та безпечних факторів .....	67
6.2 Технічні засоби та організаційні заходи з усунення дії шкідливих факторів .....	68
6.3 Організація безпечної експлуатації електроустановок.....	69
ВИСНОВКИ.....	77
ЛІТЕРАТУРА .....	78

## ВСТУП

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 полі-функціональності. 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 поргладцементу, 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.

## **I. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ВИКОРИСТАННЯ ЗОЛОШЛАКОВИХ ВІДХОДІВ У БУДІВНИЦТВІ**

### **1.1. Фізико-хімічні та 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 °С), 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 °С). 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 золовловлюючими 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 приямок 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 тужавлення 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 паливні 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
Вашно 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 бітумінізованого вугілля сухим способом;

2 – теж саме, але отримана мокрим способом;

3 – зола, отримана при випалюванні палива у киплячому шарі з попередньою десульфiризацією (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 органовмісні 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.

Гідравлічна 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 Класифікація золошлакових відходів за різними критеріями**

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 С 618 під узагальненою назвою "мінеральні добавки" [26].

За даними [13] 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 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; середньоплавкі - 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 [9].

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 [9; 27], 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 ( $S = 200 \dots 400$  м<sup>2</sup>/кг) і грубодисперсні ( $S < 200$  м<sup>2</sup>/кг), а залежно від насипної густини – на легкі ( $\rho_n < 800$  кг/м<sup>3</sup>); середньої густини ( $\rho_n = 800 \dots 1000$  кг/м<sup>3</sup>) та важкі ( $\rho_n > 1000$  кг/м<sup>3</sup>).

Відповідно ГОСТ 25818-91, «Зола-уноса теплових електростанцій для бетону», золи залежно від хімічного складу поділяють на типи:

- кислі (К) – антрацитові, кам'яновугільні та буровугільні, що містять CaO до 10 мас.%;

- основні (О) – буровугільні, що містять CaO більше 10 мас.%.  
 Основними показниками, за якими визначають придатність золи до

використання при виготовленні будівельних матеріалів різного призначення, є: вміст CaO, MgO (до 5 мас.%), сульфурних сполук у перерахунку на SO<sub>3</sub> (3...5 мас.%); вміст лужних оксидів (до 3 мас.%), втрати при прожарюванні (10...25 мас.%), питома поверхня золи (250...300 м<sup>2</sup>/кг) та залишок на ситі №008 (15...30 мас.%).

До того ж чинним стандартом не враховується мінералогічний склад золи та вміст скловидної фази, тобто ті показники, які переважно й визначають пуцоланові та гідравлічні властивості золи.

Відомі у світі класифікації золи 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 (SiO<sub>2</sub>+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) > 70 мас.%, а для 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 [20; 28 - 31]. За стандартом [30] золи запропоновано ділити на три категорії за вмістом CaO (низьким, середнім, високим) (табл. 1.2).

Таблиця 1.2

**Класифікація золи за вмістом оксиду кальцію**

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

За вищенаведеним стандартом не введено також додаткових вимог до фізичного та хімічного складу золи, за винятком втрат при прожарюванні: для золи типу F не більше 8 мас.%, СІ < 6 мас.%, СН <12 мас.% та СН <6 мас.% для типу С.

Концепція поділу золи за кількістю СаО не є новою, оскільки наявність останнього має значний вплив як на хімічний, так і на мінералогічний склад золи, в тому числі на проявлення гідравлічних та пуцоланових властивостей при введенні її до складу бетонної суміші.

McCarthy G.I. зі співавторами [31] запропонували поділити золи на три групи за вмістом СаО від 10 до 20 мас.%, оскільки наявність останнього впливає на природу та властивості алюмосилікатної фази золи, а також на склад кристалічної фази.

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) [20; 31].

Висококальцієві золи містять поряд з аморфізованою фазою алюмосилікат-ного складу також кальційвмісні кристалічні продукти, такі як  $C_2S$ ,  $C_3A$ ,  $C_3A \cdot CaSO_4$ ,  $CaSO_4$ ,  $CaO$  [20].

Вміст різної кількості СаО впливає як на зміну складу скловидної фази й складу новоутворень, що кристалізуються, так і на проявлення гідравлічних 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.

Низькокальцієві золи розглядаються як дійсні пуцоланові речовини з незначним проявленням гідравлічних властивостей.

Водночас висококальцієві золи здатні до проявлення не тільки пуцоланових, але й гідравлічних властивостей за рахунок наявності у їх складі силікатних, алюмосилікатних та сульфатних сполук кальцію [20; 29; 31].

Суттєвою характеристикою золи, як активної мінеральної добавки, є її пуцоланова та гідравлічна активності. *Пуцоланова активність* пов'язана з хімічною взаємодією оксидів силіцію та алюмінію з гідроксидом кальцію, який виділяється при гідролізі клінкерних мінералів, з утворенням гідросилікатів та гідроалюмінатів кальцію. При цьому скловидна фаза сприяє гідратації золи, а кристалічна є практично інертною. *Гідравлічна активність* золи пов'язана з наявністю у її складі таких сполук як вільне вапно або ангідрит, що здатні до реакції з водою з утворенням водостійкого штучного каменю без введення додаткових активізаторів.

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 покласти 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.

Згідно з даними [32] для золи, що не містить вільний карбон, проаналізовано співвідношення між оксидами у золі та відмічено зменшення суми оксидів ( $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$ ) при збільшенні кількості СаО. Також можливе зменшення суми названих оксидів при збільшенні кількості  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ .

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

Таблиця 1.3

#### 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 [32];

- за вапняним індексом, що визначається як відношення вмісту оксидів кальцію до суми інших оксидів [31].

Для золи “киплячого шару” проявлення гідравлічних 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 золи, також обумовлює деяке проявлення пуцоланової активності. Досить активним компонентом є ангідрит  $\text{CaSO}_4$ , який екзотермічно реагує з водою. За даними [33] існуючі випробування золи на пуцоланову активність (за ASTM 618) є не досить коректними, оскільки

отримані результати не завжди відповідають її поведінці у бетоні (особливо при тривалому твердінні).

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

Таким чином, класифікація золівмісних 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 [31] для золи 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 золи (з точки зору проявлення її гідравлічної активності у бетоні під час його твердіння). Зміни хімічної активності золи за рахунок різного вмісту  $\text{CaO}$  приводять до відповідної зміни величини вапняного індексу, і у такій формі даний показник може бути використаний для оцінки реакційної здатності золи при її введенні у бетонну суміш.

В [34] запропонована методика оцінки гідравлічної активності золи, що базується на результатах мікрокалориметричних досліджень високодисперсної золи. Активність золи визначається за величиною змочування у полярних та неполярних рідинах, питомої поверхні та інших характеристик, що дозволяють оцінити рівень вільної енергії золи.

При класифікації золи (крім урахування наявності кількості  $\text{CaO}$ ) також слід акцентувати увагу на вмісті НВЧ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  та величині співвідношення оксидів  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ .

Запропонована авторами [32] класифікація золи за вищевказаними критеріями (тобто показниками хімічного та мінералогічного складів) наведена у табл. 1.4.

Таблиця 1.4

**Класифікація золи за даними [29]**

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

Крім головних оксидів, що визначають склад та структуру золи, 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.

Наприклад, при використанні золи як компонента портландцементних в'язучих систем потрібно враховувати вміст у її складі лужних оксидів ( $\text{R}_2\text{O} < 1,5$  мас.%), оскільки при наявності реакційноздатного заповнювача можливе виникнення внутрішньої лужної корозії бетону, що призведе до розширення та руйнування бетону [33].

Також відома залежність між відношенням  $\text{K}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3$  та процентним вмістом аморфних алюмосилікатів. Оскільки останні беруть участь у пуцоланових реакціях, то автори запропонували це відношення, помножене на 10, використовувати як пуцолановий потенціальний індекс (ППІ) [32].

Згідно з результатами випробувань [31; 35; 36] застосування висококальцієвих зол сприяє збільшенню міцності бетону, але може негативно відбитися на його сульфатостійкості та призвести до розвитку лужної корозії.

При дослідженні сульфатостійкості бетонів на основі золи [37] запропоновано фактор сульфатостійкості  $R$ , який дорівнює:

$$R = \frac{CaO - 5}{Fe_2O_3} \text{ (оксиди беруть у мас.\%)}$$

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

Metha P.K. [38; 39] при дослідженні сульфатостійкості золомістких цементів відмічав, що агентом, 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.

За даними [37] 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 сульфат-ні розчини будуть перетворюватися в еtringіт, призводячи до розширення бетону.

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

За даними [29] 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 [29].

За вимогами «АС1 232» золи, що містять <15 мас.%. СаО, підвищують сульфатостійкість бетонів, а золи, що містять >15 мас.% СаО, перед їх використанням повинні бути попередньо досліджені згідно існуючим методикам [39]. У [40] запропонована класифікація золошлакової сировини, що базується на встановленні зв'язку між речовинним та фазовим складом, а також процесами твердіння золи у складі в'язучих речовин. Головним показником класифікації запропоновано використовувати коефіцієнт основності, формула якого для золи виглядає наступним чином:

$$K_{осн} = \frac{(CaI + 0,93 MgO + 0,6R_2O) - (0,55Al_2O_3 + 0,35Fe_2O_3 + 0,7SO_3 + 1,27CO_2)}{0,93SiO_2}$$

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

За величиною коефіцієнта основності виділено 4 групи золошлакової сировини: високо-, середньо-, низькокальцієві та алюмосилікатні шлаки й золи. Крім того, кожна група поділена на дві підгрупи з різним співвідношенням оксидів  $Al_2O_3/SO_3$  (високо- та низькосульфатні).

Згідно з цією класифікацією виділені висококальцієві сульфатні золи ( $K_{осн}=1...2,4$ ;  $Al_2O_3/SO_3=1,1...2,2$ ), що містять фази, здатні до гідратаційного твердіння ( $CaSO_4$ ,  $C_2S$ , СаО, шлакове скло геленітового складу) та не потребують введення активаторів при використанні їх як в'язучих речовин.

Висококальцієві низькосульфатні золи ( $Al_2O_3/SO_3=2,5...7,7$ ), як правило, потребують використання сульфатної активації.

Виділення в окрему групу середньокальцієвих зол ( $K_{осн}=0,4...1$ ) пов'язано з необхідністю використання сульфатної або лужноземельної активації.

Лужноземельна активація особливо є ефективною для золи з  $K_{осн}<1$ , використання якої доцільно як гідралічної добавки до цементу при умові обов'язково додаткового подрібнення до питомої поверхні більше  $300 \text{ м}^2/\text{кг}$ .

Таким чином, цей показник по суті визначає необхідність лужноземельної активації золи і відображає направленість конструктивних процесів твердіння. Порівняння відомих підходів до класифікації золошлакової сировини свідчить про відсутність єдиного критерію оцінки якості, який враховував би характеристики її складу, структури та властивостей, особливо при застосуванні останньої як добавки або як компонента сумішей при виготовленні будівельних матеріалів, що твердіють внаслідок протікання процесів гідратації або твердофазового спікання.

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

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

### **1.3. Основні напрямки використання золошлакових відходів при отриманні гідралічних в'язучих речовин та бетонів**

Контроль за виробництвом та утилізацією продуктів спалювання вугілля є крупною економічною та екологічною проблемою. Щорічно утворюється досить значний об'єм цих продуктів, який поступається тільки об'єму виготовлення нерудних будівельних матеріалів [41]. Так, за статистичним аналізом, наведеним в роботі [42], щорічний рівень світового отримання золошлакових відходів складає 370 млн т, проти об'єму доменного гранульованого шлаку – 35 млн т, силікофьюму – 2 млн т. Однак, як виявлено

О.Е.Манз [43], лише третина вказаного об'єму відходів енергетики використовується в галузі будівельних матеріалів.

Найбільша кількість золи утворюється в країнах СНД, США, КНР, Індії, Великобританії [9]. Рівень використання золошлакових відходів змінюється від 1 до 30% загальної кількості. Недостатньо широке використання золи у промисловості будівельних матеріалів зумовлено не тільки її низькою якістю, але й відсутністю технічних умов та відповідних методів випробування.

Нормативні вимоги до дисперсності золошлакових відходів, як правило, відображаються показником питомої поверхні. Так, для кислих зол питома поверхня повинна бути не менше 150...300 м<sup>2</sup>/кг залежно від їх виду за показниками якості [11]. За даними [9] золи українських ТЕС представлені тонкодисперсними порошками з розмірами частинок переважно сфероїдальної форми від 20 до 60 мкм і середньою питомою поверхнею 260...380 м<sup>2</sup>/кг.

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

При виготовленні бетонів та розчинів зола-винесення використовується як заповнювач замість піску, для заміни частини цементу, а також як мікронаповнювач в асфальтобетонах, що використовуються у дорожньому будівництві.

Дослідженнями встановлено, що використання золи ТЕС як добавки при виготовленні важких бетонів дозволяє економити біля 10% цементу [3].

Широкі можливості відкриваються при використанні золи-винесення як пористого заповнювача в легких бетонах, а також як компонента, що замінює кварцовий пісок у теплоізоляційно-конструкційних бетонах.

Використання золи-винесення 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 [10].

При виробництві цементу золу-винесення використовують як складову частину сировинної суміші для виготовлення портландцементу, як гідравлічну добавку при його помелі та як компонент сировинної суміші при виробництві вапняновмісних гідравлічних в'язучих речовин [10].

Досить цінними є золи з підвищеним вмістом СаО, оскільки вони зменшують долю карбонатного компонента у сировинній суміші та знижують витрату палива при випалюванні клінкеру. Найбільш доцільно використовувати золи ТЕС на цементних заводах, що працюють за сухим способом виробництва.

Як добавку до цементу використовують суху золу-винесення та золу гідровидалення, а також золошлакову суміш з відвалів ТЕС.

Згідно з даними [42; 44] ефективність використання золи залежить як від характеристик вихідних матеріалів (золи й цементу), так і від правильного підходу до вибору напрямку її використання.

Зазвичай золу використовують у бетонах у трьох напрямках: як добавку замість частини цементу, як дрібний заповнювач замість частини піску і як мікронаповнювач (самостійний компонент в'язучої системи) [9].

На сучасному етапі золи ТЕС використовують при виготовленні як монолітних, так і збірних бетонних та залізобетонних конструкцій [43–45]. 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 [46]. 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.

Оптимальний вміст золи у складі важких, легких та ніздрюватих бетонів встановлюється шляхом підбору складу конкретних бетонних сумішей при умові забезпечення необхідних показників їхньої якості.

З метою гарантування корозійної стійкості ненапруженої арматури при виготовленні залізобетонних конструкцій, що експлуатуються в неагресивних середовищах, вміст кислої золи у складі бетонної суміші не повинен перевищувати вміст портландцементу. При цьому мінімальні витрати портландцементу повинні відповідати вимогам.

Водночас за вимогами [47] бетони з використанням золи та золошлакових сумішей не дозволяється використовувати для конструкцій, що армовані термічно зміцненою сталлю, яка іноді здатна до корозійного розтріскування.

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 [48; 49].

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 швидко нанесення й загладжування верхнього фактурного шару при формуванні

огороджуючих конструкцій та полегшує умови проведення часткового або негайного розпалублення виробів [20].

У Великобританії введено у дію стандарт BS 3892, який розповсюджується на золю-винесення для використання у в'язучих матеріалах та бетонах; У США вимоги до золи-винесення регламентовані стандартами ASTM C 618 та ASTM C 183.

В Україні з 1.01.1997 р. діє стандарт ДСТУ Б В. 2.7-46-96, наближений до європейського стандарту ENV-197, згідно з яким зола-винесення відноситься до промислових пуцоланів і класифікується як окремий вид.

Відповідно до діючого стандарту України ДСТУ Б.А 1.1.- 26 виділяються наступні види золовмісних цементів: портландцемент з добавкою золи-винесення ПЦ П-3 (6...20 мас.% золи), композиційні портландцементи ПЦ П/А-К і ПЦ П/Б-К (вміст золи обмежується 20 мас.%); пуцоланові цементи ПЦЦ IV/А та ПЦЦ IV/Б (вміст золи відповідно 21...35 та 36...55 мас.%) та композиційні цементы КЦ V/А і КЦ V/Б (вміст золи відповідно 10...20 та 20...40 мас.%).

Згідно з вимогами ДСТУ при виготовленні важких бетонів дозволяється використовувати такі золошлакові відходи:

- крупнозернисту суміш із щільною шлаковою складовою для повної заміни дрібного та крупного заповнювача;
- середньозернисту суміш із щільною шлаковою складовою для часткової заміни заповнювачів та цементу;
- дрібнозернисту суміш для часткової заміни дрібного заповнювача та цементу.

Головна оцінка якості таких сумішей стандартом передбачена тільки за величиною насипної густини, наприклад, для отримання важких бетонів класів В15...В25 слід використовувати відходи з насипною густиною більше 1400 кг/м<sup>3</sup>, а для отримання бетонів класів В30...В40 – з насипною густиною більше 1600 кг/м<sup>3</sup>.

Чинні обмеження кількісного використання золи у складі бетонної суміші пов'язані переважно з наявністю у її складі підвищеної кількості сірчанних сполук та лужних оксидів, які можуть спровокувати розвиток корозії арматури. Так, при виготовленні залізобетонних конструкцій загалом в складі бетонної суміші дозволяється вміст золи не більше 30 мас.% (від маси цементу).

Як свідчить практика, використання в складі бетонної суміші золи-винесення більше 30 мас.% зазвичай призводить до зменшення активності цементів [52]. Для усунення цього недоліку замість вихідної золи доцільно використовувати механо- або хімічноактивовану золу [23–25].

За результатами досліджень [26], на практиці зола може бути використана у невеликій кількості замість портландцементу (без погіршення властивостей бетону) для отримання матеріалів міцністю на 28 добу 25...35 МПа. 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 [27].

Використання золи у складі композиційних цементів значно знижує тепловиділення, що є суттєвим фактором при їх використанні під час бетонування масивних споруд. Експериментально також встановлено, що зола будь-якого типу помітно підвищує сульфатостійкість розчинів та бетонів, особливо при використанні портландцементного клінкера з високим вмістом С<sub>3</sub>А [24].

За даними [28], 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 [29], частка оптимальної кількості золи зменшується при збільшенні витрати цементу. Максимальна міцність бетону досягається при заміні 28...30 мас.% дрібного заповнювача золою за рахунок зниження міжзернової пористості суміші.

За даними [30], до складу важкого бетону слід додавати золу 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 [9; 42], доцільна кількість використаної золи 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 [47]. 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 тверднення росту міцності бетону сприяє наявність лугів у складі клінкеру, що прискорює хімічну взаємодію золи та цементу [27]. На пізніх етапах для проявлення пуцоланової активності золи краще використовувати цементи з підвищеним вмістом аліту [45].

Для золовмісних бетонів характерним є інтенсивний набір міцності на пізніх етапах тверднення. За даними [29], 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 [27], при використанні золи в кількості, що перевищує витрату портландцементу, можуть бути отримані цементи та бетони, які зазвичай відрізняються не тільки низькою міцністю, але й погіршеною морозостійкістю. Ступінь зниження морозостійкості бетонів при введенні до їх складу золи 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 [32–35]:

-низькоенергоємні з низьким тепловиділенням (при використанні портланд-цементу до 150 кг на 1м<sup>3</sup> бетонної суміші);

- високоміцні (з високим модулем пружності), межа міцності при стиску яких на 3 добу становить 10...15 МПа, а на 28 добу – 40 МПа;

- довговічні та хімічностійкі бетони до дії зовнішнього середовища [36].

З іншого боку, проблема підвищеного використання золи в складі бетону не є такою простою, оскільки у зв'язку з браком інформації по тривалому використанню золи разом з органічними новітніми добавками завжди існує загроза негативного впливу останніх на процеси твердіння штучного каменю, особливо в складних умовах експлуатації бетону [36–38].

Золи можна використовувати як активну мінеральну добавку не тільки в традиційних портландцементних в'язучих системах, але й у лужних. За даними [28; 39; 40], можливість використання золи 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 тепловологої обробки) та до 40 МПа (в нормальних умовах твердіння), необхідне коригування їхнього складу високоосновними добавками (портландцементний клінкер, конверторний та ваграночний шлаки) [29].

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 [44].

Згідно з дослідженнями, [1; 2] збільшення кількості утилізованої золи (до 70 мас.%) в складі лужних в'язучих систем досягається за рахунок їх модифікації штучними цеолітами, які можуть бути синтезовані на основі вищевказаної золи.

Такий підхід дозволив авторам запропонувати комплексну технологію переробки відходів теплоенергетики, яка дозволяє отримувати бетони класу В40 з покращеними експлуатаційними характеристиками [41].

Слід зазначити, що вищенаведена інформація по використанню відходів енергетики для отримання цементів та бетонів відноситься тільки до золи-винесення. Відсутність стандартів на інші види золошлакової сировини, в тому числі висококальцієві золи, ускладнює позитивне вирішення проблеми їх утилізації при отриманні якісних будівельних матеріалів [42].

Основні золи, що містять CaO більше 30 мас.%, при виготовленні будівельних розчинів та бетонів слід використовувати як компонент в'язучої системи. При цьому у складі золи обмежується тільки вміст сульфурних сполук (у перерахунку на SO<sub>3</sub>), який не повинен перевищувати 3 мас.%, виходячи з міркувань збереження арматури. Водночас залишається відкритим питання щодо зниження довговічності отриманого бетону внаслідок неповної гідратації вільного CaO та зберігається загроза виникнення вторинного еtringіту на пізніх стадіях твердіння зольних цементів [21].

Основні або висококальцієві золи, що містять CaO > 10 мас.%, доцільно використовувати як добавку при отриманні цементів, що здатні до розширення [34], а також для виготовлення литих будівельних розчинів [32; 33], 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 [32] 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.% висококальцевої.

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

Відповідно даних [42; 43], 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 [44; 45], в разі використання висококальцевих 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 висококальцевих зол з високим вмістом ангідриду потребує деякої застороги та виконання додаткових заходів, що забезпечують повну (100%) гідратацію вільного оксиду кальцію.

За даними [35–47] 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 [48].

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 золонаповнених бетонів, особливо в разі використання сульфатної або механо-сульфатної активації золомістких композиційних в'язучих речовин [49]. Також залишається нерозв'язаним питання щодо сумісності роботи сучасних пластифікуючих добавок різного складу та механізму дії й золонаповнених 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 [42; 46; 52], золосульфатні цементи [42; 50], гіпсоцементнозольні в'язучі речовини [42; 49], зололужні цементи [35; 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 пуцо-ланової 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 гідросілікати 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) (рис.1.1).

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 золонаповнених 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.

## II. РОЗДІЛ

### МЕТА РОБОТИ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕНЬ

**Мета роботи:** дослідження властивостей пуцоланових цементів та бетонів на їх основі.

**Завдання досліджень:**

- Виконати аналітичний огляд літературних джерел з питань відходів ТЕС та їх використання у будіндустрії;
- Дослідження властивостей золи винесення котлів з циркуляційним киплячим шаром;
- Дослідити властивості пуцоланових цементів на основі золи винесення котлів з циркуляційним киплячим шаром;
- Підбір складів бетонів на пуцоланових цементах;
- Дослідження властивостей бетонів на основі пуцоланових цементів;
- Оптимізація складів бетонів на основі пуцоланових цементів;.

**Об'єкт дослідження** — пуцоланові цементы та бетони на їх основі

**Предмет дослідження** — властивості пуцоланових цементів та бетонів на їх основі

## **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 Щебінь**

Для дослідів використовувався гранітній щебінь фракцій 5-10мм Кременчуцького родовища. Випробування проведені за вимогами ДСТУ Б В.2.7-71-98;

##### **3.1.3 Зола винос**

Для виготовлення зразків у межах даної роботи використовувався зола винесення Старобешівської ТЕС. Для неї визначалися наступні показники: Визначення істинної густини проведено за вимогами ДСТУ Б В.2.7-112-2002; водопотреба золошлаків виконано за вимогами стандартів.

##### **3.1.4 Пісок**

Для приготування контрольної серії зразків був використаний річковий пісок, для якого були визначені такі характеристики: насипна густина ДСТУ Б В.2.7-112-2002 [21]; модуль крупності ДСТУ Б В.2.7-112-2002; Результати усіх випробувань вихідних матеріалів наведені у розділі 4.

### 3.2 Математичне планування експерименту

Планування дослідження здійснювалося на основі плану Бокса-Бенкена трифакторного планування експерименту. Оцінка вагомості лінійної регресії здійснювалася на основі критерію Фішера. Нижче можна побачити план експерименту

Таблиця 2.3. Ступені варіації змінних факторів

Рівень	Змінні фактори		
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>
максимальний	1	1	1
мінімальний	-1	-1	-1
середній	0	0	0

Таблиця 2.4. План трифакторного планування експерименту

№	x <sub>1</sub>	x <sub>2</sub>	x <sub>3</sub>	x <sub>1</sub> <sup>2</sup>	x <sub>2</sub> <sup>2</sup>	x <sub>3</sub> <sup>2</sup>	x <sub>1</sub> x <sub>2</sub>	x <sub>1</sub> x <sub>3</sub>	x <sub>2</sub> x <sub>3</sub>
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1	1	1	1	1	1	1	1	
2	-1	1	1	1	1	1	-1	-1	1
3	1	-1	1	1	1	1	-1	1	-1
4	-1	-1	1	1	1	1	1	-1	-1
5	1	1	-1	1	1	1	1	-1	-1
6	-1	1	-1	1	1	1	-1	1	-1
7	1	-1	-1	1	1	1	-1	-1	1
8	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	1
9	1	0	0	1	0	0	0	0	0
10	-1	0	0	1	0	0	0	0	0
11	0	1	0	0	1	0	0	0	0
12	0	-1	0	0	1	0	0	0	0
13	0	0	1	0	0	1	0	0	0
14	0	0	-1	0	0	1	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0

У якості змінних факторів було обрано: кількість цементу; час ущільнення; кількість добавки пластифікатору.

### 3.3 Підбір складу бетонної суміші

Оскільки теоретично дуже важко підібрати склад для бетону з певним значенням стійкості до замочування і висушування, то для встановлення оптимального складу в даній роботі було використано рекомендації тематичної літератури.

Враховуючи дані, що наведені у попередньому розділі за проектний клас майбутнього бетону було обрано В25. Проводимо підбір складу бетону: Визначають В/Ц відношення, яке забезпечує отримання бетону заданої міцності при використанні цементу певної активності.

### 3.3 Методика виготовлення зразків

Спочатку відбувалося дозування вихідних компонентів (щебню, цементу, піску та золи-винос Старобешівської ТЕС) на електронних лабораторних вагах відповідно до складів. Потім відбувалося приготування до замісу бетонозмішувача (був вибраний примусовий спосіб перемішування). Вологою ганчіркою протиралися його внутрішні поверхні для того, щоб нівелювати витрати води замішування на змочування стінок.

У працюючий змішувач всипалися сухі компоненти (щебінь попередньо був промитий, для відокремлення пиловидних домішок). Потім компоненти перемішувалися певний час, котрий був однаковим в усіх випадках, без присутності води.

Вода та пластифікатор вводилися сумісно. Після їх введення суміш перемішувалася до досягнення однорідної консистенції, котра отримувалася приблизно через 3 хв.

Зі свіже приготованої бетонної суміші формувалися. Потім зразки ущільнювалися на лабораторній віброплощадці. Час ущільнення варіювався відповідно до коефіцієнта ущільнення 0,98.

## РОЗДІЛ 4 ВИХІДНІ МАТЕРІАЛИ

### 4.1 Портландцемент

В роботі використаний портландцемент ПЦ 1-500 Н виробництва Haldeberg цемент Україна Криворізького заводу. Портландцемент - порошкоподібна гідравлічна в'язуча речовина, здатне при змішуванні з водою тверднути на повітрі та у воді з утворенням міцного водостійкого каменю. Портландцемент ПЦ I-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 I-500-Н

Клінкерні мінерали	Тип цементу
	ПЦ I-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 Щебінь

В роботі використаний гранітний щебінь фракції 5-10 мм кременчуцького родовища. Насипна густина щебню  $1360 \text{ кг/м}^3$ , істинна густина -  $2,67 \text{ г/см}^3$ , густина у гранули в цементному тісті  $2,62 \text{ г/см}^3$ , пористість – 47,6%

### 4.3 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 –  $1350 \text{ кг/м}^3$ , модуль крупності  $M_{кр} = 1,05$ , за умістом органічних домішок відповідає вимогам ДСТУ.

#### 4.4 Зола винесення

Для виготовлення зразків у межах даної роботи використовувався зола винесення Старобешівської ТЕС.

Таблиця 4.2

**Результати визначення істинної густини золи**

Маса об'єктоміра з водою, г	Маса об'єктоміра з золою, г	Маса наважки золошлаку, г	Об'єм, $\text{см}^3$	Істина густина, $\text{г/см}^3$
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**

№ досліду	Об'єм циліндра, $\text{см}^3$	Вага циліндра, г	Вага циліндра з золою, г	Вага золи, г	Густина, $\text{г/см}^3$
1	995	274	766	492	0.516
2	995	274	786	512	0.536

У подальшому за насипну густину золи-винесення приймалося середнє значення, котре становить  $0.526 \text{ г/см}^3$ , або  $516 \text{ кг/м}^3$

Водопотреба золи-винесення, яка визначалася згідно вимог ДСТУ Б В.2.7-232: 2010 складає - 51%.

Хімічний та речовий склад золи-винесення, 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 золи-винесення не присутні оксиди радіоактивних елементів. За вмістом оксиду кальцію вони відносяться до низькокальційових, а за вмістом сірчанних оксидів до відходів з високим вмістом сірі.

#### 4.5 Добавки

В роботі використані наступні добавки:

група сульфат-вміщуючи добавок: «С-3», «Melment F-10»

група без сульфатних добавок: «Dynamon SR2» «Melflux 1641 F»

**C-3** - добавка виготовляється шляхом багатоступінчастого синтезу сполук целюлози. Суперпластифікатор містить наступні речовини:

- сульфовані поліконденсати - до 82-84%;
- натрієвий сульфат - 8-10%;
- вологу, загальним обсягом не більше 10%.

**MELMENT F10** - Хімічний склад: сульфирований порошковий продукт поліконденсації на основі меламіну, отриманий методом розпилювальної сушки.

Технічні дані: форма - білий порошок; насипна щільність - 450-750 г / л; втрати при нагріванні - макс. 4,0 мас.%; 20% розчин при 20 ° C має рН = 9,0-11,4

Суперпластифікатор MELMENT F 10 оптимізований для пластифікації і зменшення витрати води для сумішей на основі цементу і гіпсу.

Дозіровка 0,2-1,5 мас.% від маси в'язучого.

**MELFLUX 1641 F** - хімічний склад: порошковий продукт, отриманий методом розпилювальної сушки на основі модифікованого поліефіркарбоксілата. Технічні дані: форма - жовтуватий порошок; насипна щільність - 400-600 г / л; втрати при нагріванні - макс. 2,0 мас.%; 20% розчин при 20 ° C має рН = 6,5-8,5. Особливості: - високоефективний диспергатор; - знижує усадку; - ефективний в широкому діапазоні температур

Дозіровка 0,05-0,5 мас.% від маси в'язучого

**Dynamon SR2** - добавка на основі модифікованого акрилового полімеру, спеціально розроблена для виробництва товарного бетону.

Система Dynamon SR заснована на технології DPP (Designed Performance Polymer - полімер з проєктованими характеристиками), новому хімічному процесі, який може моделювати властивості добавки у відповідності зі специфічними характеристиками, якими повинен володіти бетон.

## РОЗДІЛ V

### РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

#### 5.1. Модифіковані пуцоланові цементи та важкі бетони на їхній основі

Розробка багатокомпонентних в'язучих систем є одним з пріоритетних напрямків будівельного матеріалознавства, що розглядаються на світовому рівні. Підвищення ефективності використання таких цементів пов'язане з впровадженням поліфункціональних хімічних добавок, які дозволяють вирішити цілу низку технічних питань, але технологія їхнього застосування потребує вивчення сумісності добавок між собою та всебічної оцінки їхнього впливу на властивості отриманого штучного каменю.

Крім того, впровадження пуцоланових цементів у виробництво для отримання модифікованих бетонів, що придатні для використання в монолітному будівництві, потребує вивчення вибіркової дії хімічних добавок залежно від виду пуцоланового компонента та його вмісту в складі в'язучих композицій, особливо якщо використовується пуцоланова добавка у вигляді золи-винесення.

Для розробки модифікованих пуцоланових в'язучих систем використано пуцолановий цемент, що містить до 55 мас.% золи Ладижинської ТЕС. Для покращення реологічних властивостей бетонної суміші як пластифікуючі добавки використано добавки різного складу та механізму дії, зокрема на основі сульфованих нафталінформальдегідних поліконденсатів – «С-3» (ТУ 6-36-020-4229-625-90), сульфованих меламінформальдегідних поліконденсатів – «Melment F-10», поліакрилатів – «Dynamon SP2» (ТУ У В.2.7-24.6-02498197-385-2004) та полікарбоксилатів – «Melflux 1641 F».

Ефективність дії добавок оцінювали при випробуванні бетонної суміші, склад якої наведено у табл. 5.1.

Таблиця 5.1

**Базовий склад бетонної суміші**

Витрата компонентів, кг/ м <sup>3</sup>				Значення ОК відразу після замішування, см
цемент	пісок	щебінь фракції, мм		
		5...10	10...20	
350	750	340	780	19

Експериментальні дослідження виконано у відповідності з планом двофакторного тривіневого експерименту (табл. 4.2). За фактори, що змінюються, прийнято вміст золи у складі пуцоланового цементу ( $X_1$ ) та витрату відповідної пластифікуючої добавки ( $X_2$ ).

Таблиця 5.2

**Інтервали варіювання змінних факторів**

Фактори, вид		Рівні варіювання			Інтервал варіювання		
кодований	натуральний	нижній	середній	верхній			
		-1	0	+1			
$X_1$	Вміст золи у складі пуцоланового цементу, мас.% від маси цементу	21	38	55	17		
$X_2$	Витрата пластифікуючої добавки, мас.% від маси цементу	група сульфат-вміщуючих добавок	«С-3»	0,5	0,75	1,0	0,25
			«Melment F-10»	0,2	0,85	1,5	0,65
	група сульфатних добавок	без-	«Dynamon SR2»	0,8	1,15	1,5	0,35
			«Melflux 1641 F»	0,05	0,275	0,5	0,225

Ефективність системи «пуцолановий цемент – зола – пластифікуюча добавка» була оцінена за наступними критеріями, що прийняті як функції відгуку:

- зниження водопотреби бетонної суміші ( $\Delta W$ , %);

- збереження легкоукладальності бетонної суміші протягом 2 год ( $\Delta OK$ , см);
- величина міцності бетону на стиск у віці 3 діб ( $R_3$ , МПа);
- міцність бетону при стиску після 28 діб твердіння ( $R_{28}$ , МПа);
- міцність бетону на пізніх етапах твердіння ( $\Delta R_{180}$ , %);

В результаті обробки планів та відповідних їм експериментальних даних за методом найменших квадратів отримано рівняння регресії, що адекватно описують залежність показників якості бетону (як критеріїв оптимізації системи) від змінних факторів. При проведенні порівняльного аналізу за аналог розглянуто склад бетонної суміші на основі портландцементу без добавки золи ПЦ I-500-Н. Технічні характеристики аналогу (бетонної суміші та отриманого бетону на її основі) наведені в табл. 5.3.

Таблиця 5.3

**Характеристика вихідної бетонної суміші та отриманого на її основі бетону**

Показники						
бетонної суміші					бетону	
водопотреба W		значення ОК, см			міцність при стиску $R_{ст}$ , МПа, у віці	
		відразу після замішування	через 15 хв	через 2 год	3 доби	28 діб
л/м <sup>3</sup>	В/Ц					
233	0,67	19	18	10	17	27,3

**Водопотребу бетонних сумішей** визначали як кількість води, що необхідна для забезпечення значень ОК відразу після замішування їх на рівні 19 см. Результати експериментів наведено в табл. 5.4.

Таблиця 5.4

**Зміна водопотреби пластифікованих бетонних сумішей на основі  
пуцоланових цементів відносно контрольного складу**

Тип і витрата пластифікатора ( $X_2$ ), мас.% від маси цементу		Зменшення водопотреби ( $\Delta W$ ), % при вмісті золи в складі цементу ( $X_1$ ), мас.%		
		21	38	55
«С-3»	0,5	24,76	26,05	29,91
	0,75	24,51	24,47	31,37
	1,0	24,68	28,97	28,97
«Melment F-10»	0,2	10,73	19,31	21,03
	0,85	19,82	21,59	24,12
	1,5	20,21	22,36	33,52
«Dynamon SR2»	0,8	27,77	32,49	24,33
	1,15	29,49	33,16	31,20
	1,5	32,06	30,77	26,91
«Melflux 1641 F»	0,05	9,18	16,48	24,64
	0,275	27,64	29,94	32,36
	0,5	25,88	31,46	30,60

На підставі отриманих даних розраховані рівняння та побудовані ізопараметричні діаграми (рис. 5.1 – 5.4), що дозволяють визначити водоредукуючий ефект, тобто залежність зміни водопотреби пластифікованих бетонних сумішей від вмісту золи у складі цементу і витрати пластифікуючих добавок різних типів.

Аналіз залежностей, наведених на рис. 5.1, 5.2 вказує на те, що водопотреба бетонної суміші практично лінійно зменшується при збільшенні витрати сульфат- вмісних пластифікаторів та вмісту золи у складі пуцоланового цементу.

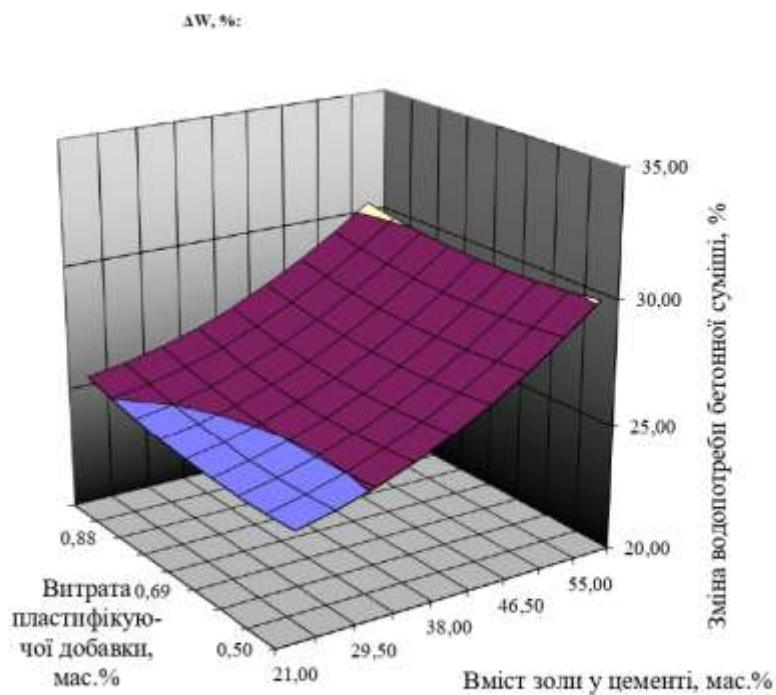


Рис. 5.1. Ізопараметрична діаграма зміни водопотреби бетонної суміші залежно від витрати добавки «С-3» та вмісту золи в складі цементу

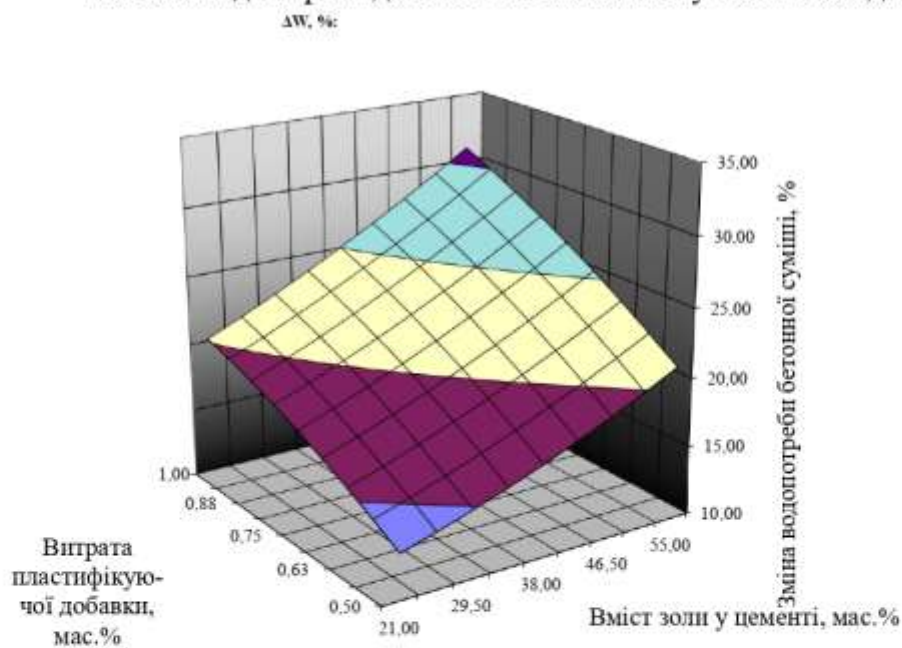


Рис. 5.2. Ізопараметрична діаграма зміни водопотреби бетонної суміші залежно від витрати добавки «Melment F-10» та вмісту золи в складі цементу

Таким чином, максимальне зниження водопотреби при використанні сульфат- вмісних добавок досягається при їх максимальному дозуванні (до 1 мас.% у разі використання добавки «С-3» та до 1,5 мас.% - «Melment F-10»).

Характер досліджених залежностей принципово змінюється при використанні пластифікуючих добавок, що відносяться до групи безсульфатних (рис. 5.3, 5.4).

Водоредукуючий ефект при використанні безсульфатних пластифікуючих добавок має параболічну залежність і досягає максимальної позначки при їх середній витраті: біля 1,2 мас.% від маси цементу при додаванні пластифікатора «Dynamon SR2» і біля 0,34 мас.% - при введенні «Melflux 1641 F».

Збереження легкоукладальності бетонних сумішей у часі ( $\Delta OK$ , см) визначали за різницею між значеннями осадки конуса ( $OK$ ) бетонних сумішей, які випробували відразу після їх замішування і через 2 год витримування в лабораторних умовах, за формулою:

$$\Delta OK = OK_{п} - OK_{д}$$

де  $OK_{п}$  – значення  $OK$  бетонних сумішей, визначене відразу після їх замішування, яке підтримувалося на постійному рівні – 19 см;

$OK_{д}$  – значення  $OK$  бетонних сумішей, визначене через 2 год після їх замішування (см) .

Результати експериментів наведено в табл. 5.5. За отриманими результатами розраховані рівняння регресії і побудовані ізопараметричні діаграми (рис. 5.5 – 5.8), які дозволяють визначити залежність зміни легкоукладальності пластифікованих бетонних сумішей протягом 2 год від кількості золи в складі цементу і витрати вищевказаних пластифікуючих добавок.

Так, аналіз графічних залежностей (рис. 5.5, 5.6) дозволяє зазначити, що сульфатвмісні пластифікуючі добавки («С-3» і «Melment F-10») забезпечують необхідний рівень життєздатності бетонної суміші, тобто збереження її

легкоукладальності (зменшення ОК не більше ніж на 5 см протягом 2 год) на всій дослідженій ділянці, що відповідає вмісту золи від 21 до 55 мас. %.

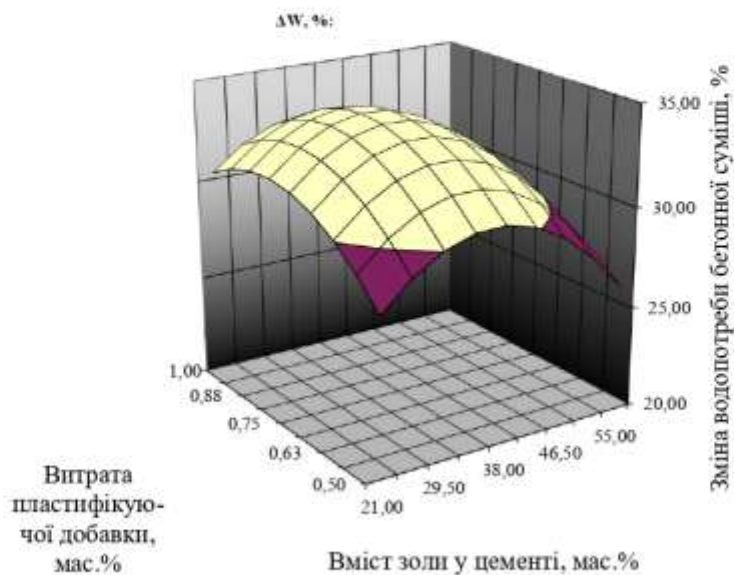


Рис. 5.3. Ізопараметрична діаграма зміни водопотреби бетонної суміші залежно від витрати добавки «Дупамон SR2» та вмісту золи в складі цементу

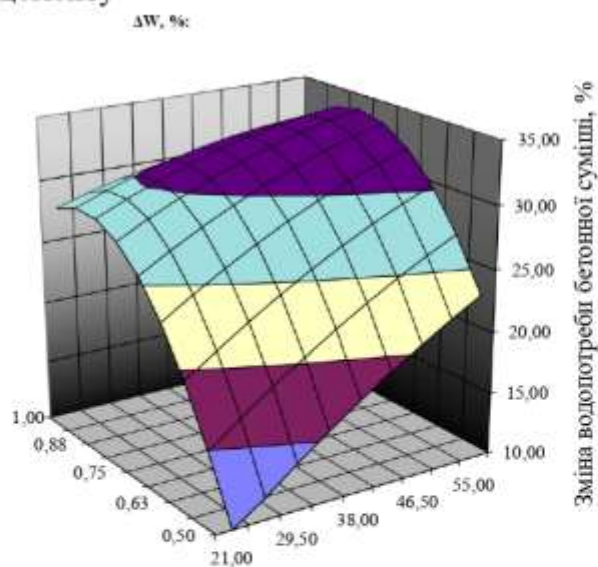


Рис. 5.4. Ізопараметрична діаграма зміни водопотреби бетонної суміші залежно від витрати добавки «Melflux 1641 F» та вмісту золи в складі цементу

Таблиця 5.5

**Зміна легкоукладальності пластифікованих бетонних сумішей на основі пуцоланових цементів протягом 2 год**

Тип і витрата пластифікуючої добавки ( $X_2$ ), мас.% від маси цементу		Зменшення рухомості ( $\Delta OK$ ), см залежно від вмісту золи в складі цементу ( $X_1$ ), мас.%		
		21	38	55
«С-3»	0,5	5	4	4
	0,75	7	4	4
	1,0	11	9	4
«Melment F-10»	0,2	4	6	3
	0,85	4	4	4
	1,5	6	4	2
«Dynamon SR2»	0,8	4	4	4
	1,15	2	3	3
	1,5	4	2	6
«Melflux 1641 F»	0,05	7	7	8
	0,275	3	4	6
	0,5	5	5	7

Водночас, враховуючи необхідність забезпечення мінімальної водопотреби, краща легкоукладальність суміші досягається при збільшенні кількості золи в складі в'язучої речовини. При цьому кількість суперпластифікуючої добавки може бути як мінімальною, так і максимальною. На відміну від вищезазначеного, в разі використання безсульфатних пластифікуючих добавок («Dynamon SR2» і «Melflux 1641F») майже відсутній їх негативний вплив на рухомість дослідженої бетонної суміші (рис. 5.7, 5.8).

Так, наприклад, незалежно від витрати поліакрилатної добавки (в регламентованих межах) рухомість бетонних сумішей на основі пуцоланових цементів через 2 год після приготування не знижується більше ніж на 5 см.

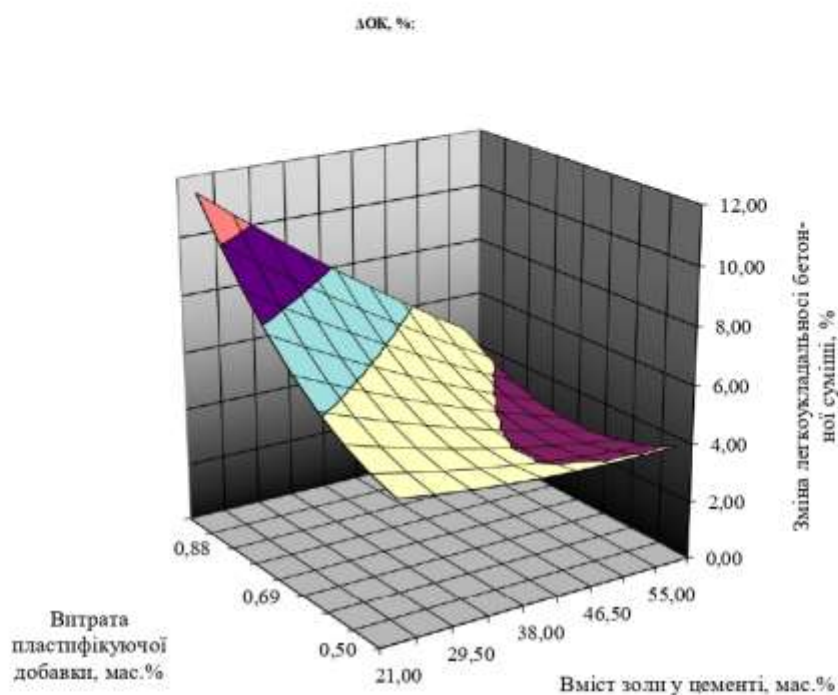


Рис. 5.5 Ізопараметрична діаграма зміни легкоукладальності (ΔОК) бетонної суміші через 2 год після замішування залежно від витрати пластифікуючої добавки «С-3» та вмісту золи в складі цементу

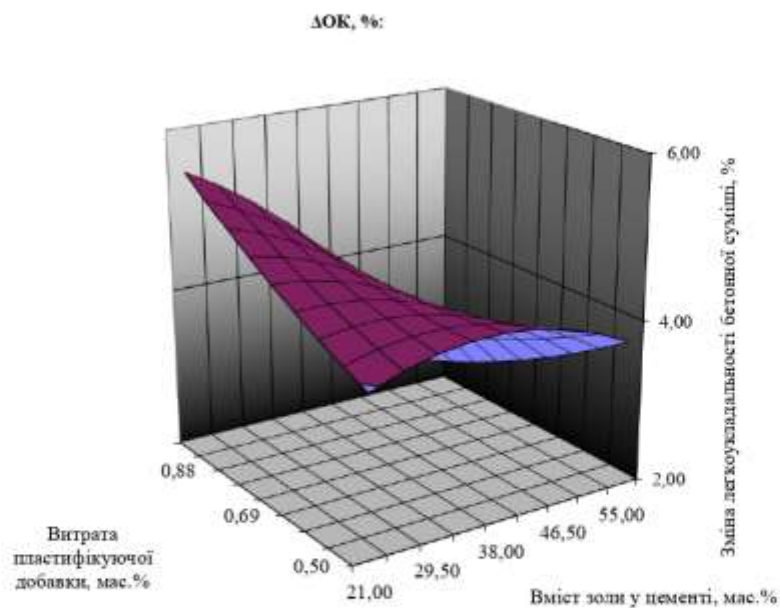


Рис. 5.6. Ізопараметрична діаграма зміни легкоукладальності (ΔОК) бетонної суміші через 2 год після замішування залежно від витрати добавки «Melment F-10» та вмісту золи в складі цементу

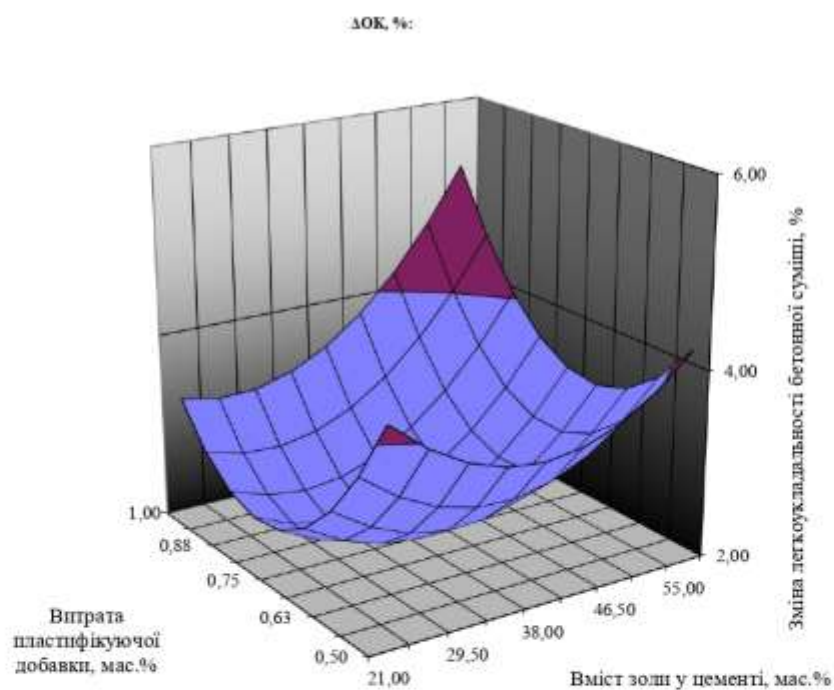


Рис. 5.7. Ізопараметрична діаграма зміни легкоукладальності (ΔОК) бетонної суміші через 2 год після замішування залежно від витрати пластифікуючої добавки «Dynamon SR2» та вмісту золи в складі цементу

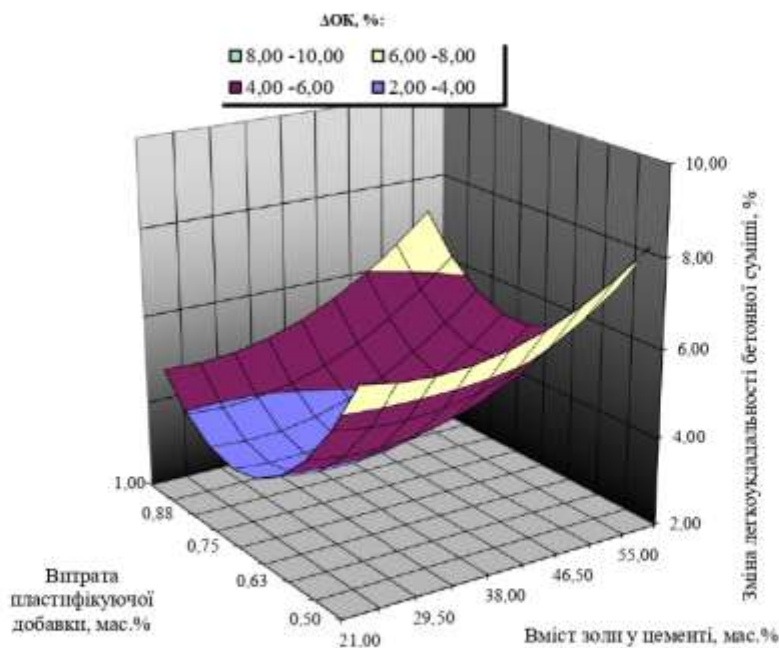


Рис. 5.8. Ізопараметрична діаграма зміни легкоукладальності ( $\Delta OK$ ) бетонної суміші через 2 год після замішування залежно від витрати добавки «Melflux 1641F» та вмісту золи в складі цементу

До того ж слід також зазначити, що при введенні пластифікованого пуцоланового цементу до бетонної суміші (за критерієм збереження її легкоукладальності) спостерігається наявність оптимуму, тобто мінімальне зменшення ОК, яке досягається при середніх витратах пластифікуючої добавки та вмісту золи в складі цементу близько 35 мас. %.

**Рання міцність бетону.** Ранню міцність бетону ( $R_3$ , МПа) визначали після 3 діб твердіння зразків в нормальних умовах. Результати експериментів наведено в табл. 4.6. За отриманими результатами розраховані рівняння регресії і побудовано ізопараметричні діаграми (рис. 4.9 та 4.10), які дозволяють визначити залежність міцності бетону при стиску на ранніх етапах твердіння ( $R_3$ ) від вмісту золи у складі цементу і витрати пластифікуючих добавок різних типів.

Виявлені закономірності свідчать про практично однаковий характер залежності ранньої міцності бетону при стиску від зазначених факторів.

Найголовнішим є те, що пластифікація бетонної суміші добавками всіх розглянутих типів дозволяє використовувати пуцоланові цементи, що містять до 55 мас.% золи, і забезпечують при цьому 50% приріст міцності порівняно з контрольним складом.

Однак треба відмітити, що в разі використання безсульфатних типів пластифікуючих добавок показники ранньої міцності  $R_3$ , що перевищують значення міцності контрольного складу в межах 50%, можна отримати при одночасному вмісті золи в складі цементу в межах 35 мас.% і середній витраті пластифікуючих добавок, наприклад, витрата «Dynamon SR 2» не повинна перевищувати 1,2 мас.%, а «Melflux 1641 F» – 0,34 мас.% від маси цементу (рис. 5.10, а, б). Як було показано, саме ці межі витрат безсульфатних суперпластифікаторів забезпечують одночасно мінімальну водопотребу бетонної суміші (рис. 5.3, 5.4) і максимальну її життєздатність (рис. 5.7, 5.8). На противагу цьому, при використанні добавок сульфатвмісної групи спостерігається інша тенденція зміни ранньої міцності бетону (рис.5.9, а, б).

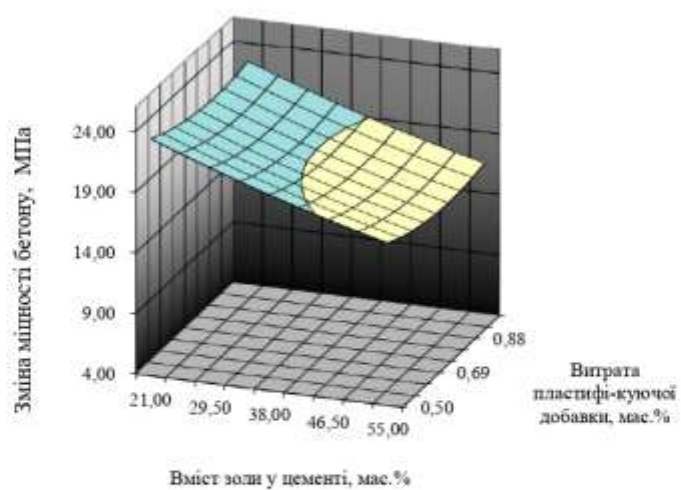
Так, забезпечення показників ранньої міцності бетону  $R_3$  на рівні контрольного складу (не менше 17 МПа) при високому вмісті золи в цементі (до 55 мас.%) є можливим за умови мінімальних витрат добавки «С-3» (не більше 0,55 мас.% від маси цементу) (рис.5.9, а). При цьому зменшення витрати пластифікатора такого типу приводить до пропорційного збільшення водопотреби бетонної суміші (рис. 5.1), що негативно впливатиме на довговічність бетону.

Таблиця 5.6

**Міцність бетону на основі пластифікованих пуцоланових цементів (після 3 діб твердіння)**

Тип і витрата добавки ( $X_2$ ), мас.% від маси цементу		Міцність бетону ( $R_{3,}$ ), МПа при вмісті золи в складі цементу ( $X_1$ ), мас.%		
		21	38	55
«С-3»	0,5	23,6	20,7	16,7
	0,75	20,9	19,6	16,3
	1,0	23,5	17,6	16,8
«Melment F-10»	0,2	14,3	15,1	9,8
	0,85	21,2	16,6	15,0
	1,5	16,5	17,0	13,1
«Dynamo n SR2»	0,8	21,9	15,4	28,4
	1,15	24,8	17,9	10,7
	1,5	22,1	18,2	5,9
«Melflu x 1641 F»	0,05	14,0	13,1	11,5
	0,275	20,5	16,4	12,7
	0,5	16,2	16,5	13,2
без добавок (для порівняння)		14,4	10,2	5,9

Слід також зазначити, що вплив витрати пластифікуючої добавки «Melment F-10» на ранню міцність бетону (рис. 5.9 б) практично ідентичний впливу пластифікатора «Melflux 1641 F» (рис. 5.10 б). Так, границю максимальних значень ранньої міцності бетону (до 25,5 МПа) на основі цементу з вмістом золи в межах 47 мас.% може бути забезпечена при витратах пластифікуючих добавок в межах середніх значень.



б)

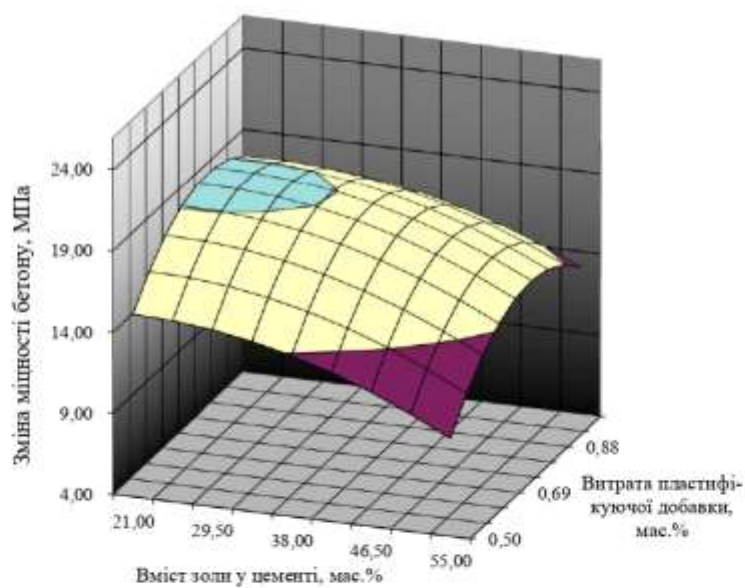
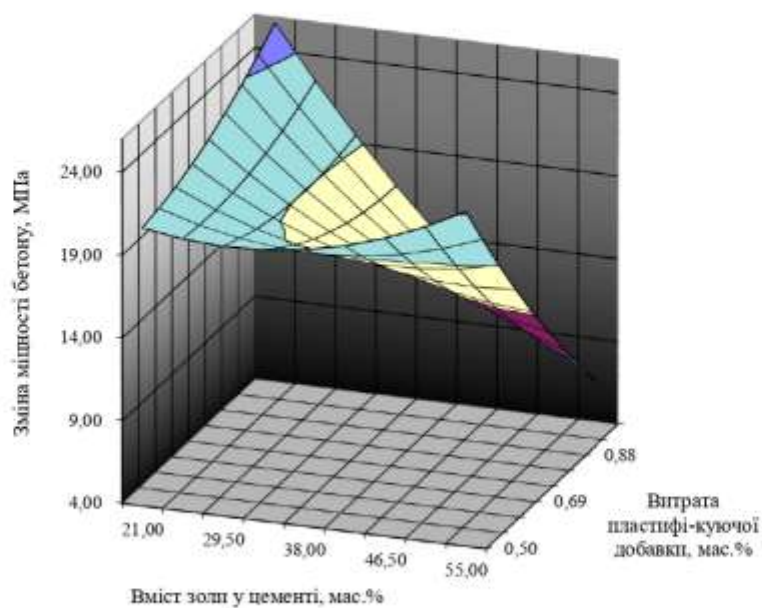


Рис. 5.9. Ізопараметричні діаграми зміни ранньої міцності бетону залежно від вмісту золи в складі цементу та витрати добавок «С-3» (а), «Melment F-10» (б)

а)



б)

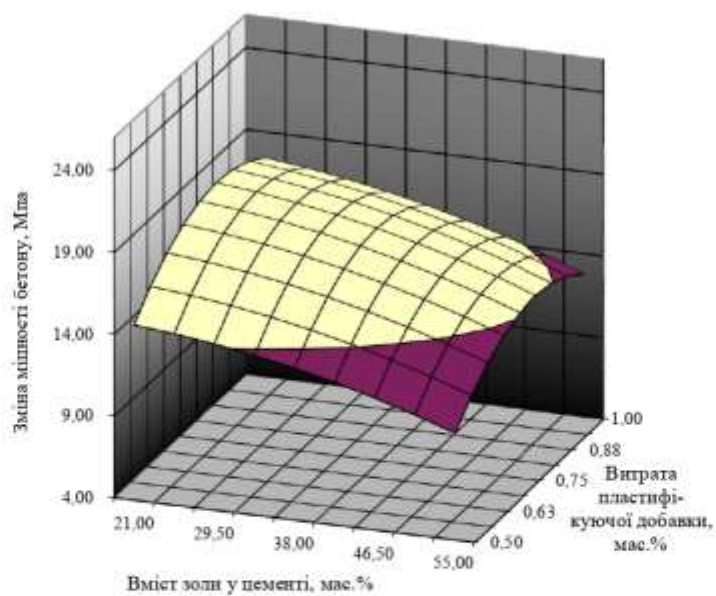


Рис. 5.10. Ізопараметричні діаграми зміни ранньої міцності бетону залежно від вмісту золи в складі цементу та витрати добавок «Dynamon SR2» (а) та «Melflux 1641 F» (б)

Наприклад, відповідно до рис. 4.9, б, для «Melment F-10» ці витрати становлять 0,85 мас.% від маси цементу.

**Міцність бетону в проектному віці.** За проектний вік прийнято вважати 28 діб твердіння бетону в нормальних умовах. Результати експериментів наведено в табл. 5.7. За отриманими результатами розраховані рівняння регресії та побудовані ізопараметричні діаграми (рис. 5.11 та 5.12), що відображають залежність міцності бетону при стиску в проектному віці ( $R_{28}$ ) від вмісту золи в складі цементу та витрати пластифікуючих добавок різних типів.

Аналіз наведених діаграм дозволяє зазначити, що в проектному віці міцність при стиску бетонів на основі пуцоланових цементів ( $R_{28}$ ) може регулюватися за рахунок вибору відповідного типу пластифікатора. При використанні пластифікатора «С-3» значення  $R_{28}$  тим більше, чим менша витрата добавки (рис. 5.11, а).

Аналіз отриманих даних (рис. 5.11, а) дозволяє зазначити, що отримання бетону міцністю 35...40 МПа після 28 діб твердіння досягається при використанні золи в кількості 21...40 мас.%. Використання добавки «Melment F-10» в кількості 1...1,5 мас.% для модифікації пуцоланового цементу, що містить до 55 мас.% золи, дозволяє отримати бетони міцністю 30...35 МПа після 28 діб твердіння.

Слід ще раз підкреслити, що така залежність зафіксована для бетону прийнятого складу з витратою цементу  $350 \text{ кг/м}^3$  за ДСТУ Б В.2.7-69-98. Водночас, застосування пластифікатора «Дунамон SR2» у межах від 1,15 до 1,37 мас.% у складі бетонної суміші (при вмісті золи від 23 до 35 мас.% у складі цементу) сприяє отриманню бетону, міцність якого в проектному віці досягає 40...45 МПа (рис. 5.12, а).

При використанні пластифікаторів типу «Melment F-10» і «Melflux 1641F» загальним є те, що збільшення міцності бетону в проектному віці від 25...30 МПа до 30...35 МПа досягається при збільшенні витрат добавок до

максимальних значень: для «Melment» - від 0,9 до 1,5 мас.% (рис. 5.10, в) і для «Melflux» - від 0,22 до 0,5 мас.% від маси цементу (рис. 5.12 б). У загальному випадку, отримані результати свідчать про те, що сумісне використання пуцоланового цементу із вмістом золи від 23 до 35 мас.% та пластифікуючої добавки дозволяє збільшити проектну міцність бетону при стиску до 65% порівняно з контрольним складом на основі бездобавочного цементу ПЦ І-500 (табл. 5.7). Область максимальних значень міцності бетону  $R_{28}$ , (до 45 МПа) забезпечується при використанні добавки поліакрилатного типу «Dynamon SR2».

Таблиця 4.7

#### Міцність бетону на основі пуцоланових цементів у проектному віці

Тип і витрата пластифікуючої добавки ( $X_2$ ), мас.% від маси цементу		Міцність бетону в проектному віці, $R_{28}$ , МПа, при вмісті золи в складі цементу ( $X_1$ ), мас.%		
		21	38	55
«C-3»	0,5	40,4	36,5	34,2
	0,75	37,7	35,4	35,1
	1,0	39,9	33,3	33,3
«Melment F-10»	0,2	25,8	26,0	22,3
	0,85	33,2	29,0	23,6
	1,5	27,0	33,0	34,6
«Dynamon SR2»	0,8	35,1	31,5	28,4
	1,15	38,5	39,9	32,1
	1,5	37,9	39,1	28,7
«Melflux 1641 F»	0,05	21,8	22,1	27,7
	0,275	29,2	29,7	29,6
	0,5	28,3	35,6	33,8
Без пластифікуючої добавки		23,0	20,6	14,6

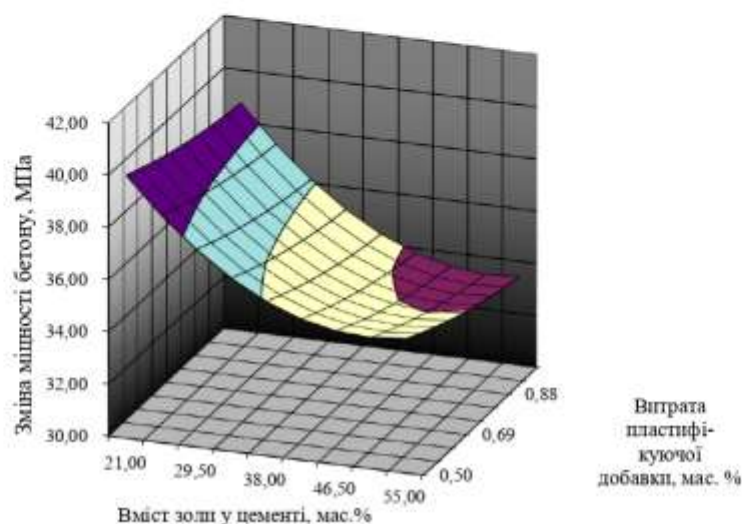
**Зміна міцності на пізніх етапах твердіння бетонів ( $\Delta R_{180}$ , %)** на основі пуцоланових цементів після 180 діб порівняно з їх міцністю в проектному віці розрахована за формулою:

$$\Delta R_{180} = \frac{R_{180} - R_{28}}{R_{28}} \cdot 100\%$$

де  $R_{28}$  – міцність бетону при стиску в проектному віці, тобто після 28 днів твердіння (МПа);

$R_{180}$  – міцність бетону при стиску після 180 днів твердіння (МПа).

а)



б)

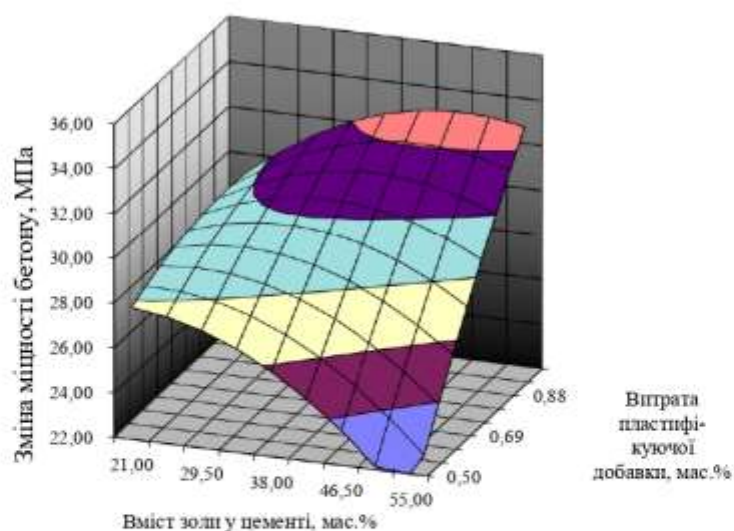
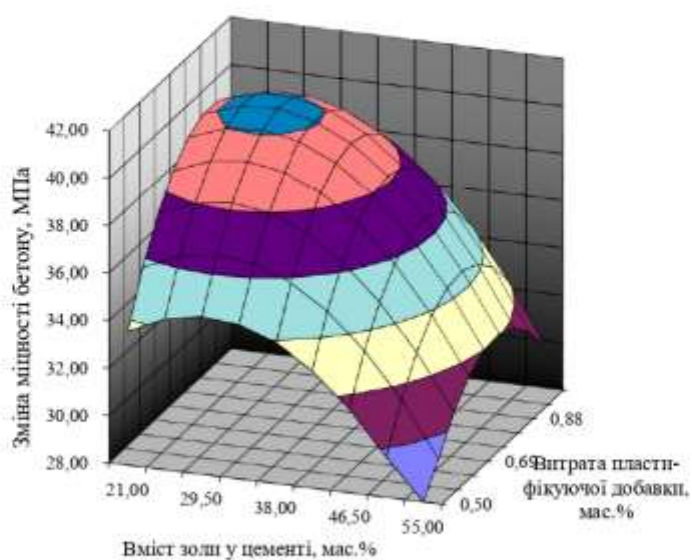


Рис. 5.11. Ізопараметричні діаграми зміни міцності при стиску бетону в проектному віці залежно вмісту золу в складі цементу та від витрати добавок: а) «С-3»; б) «Melment F-10»

а)



б)

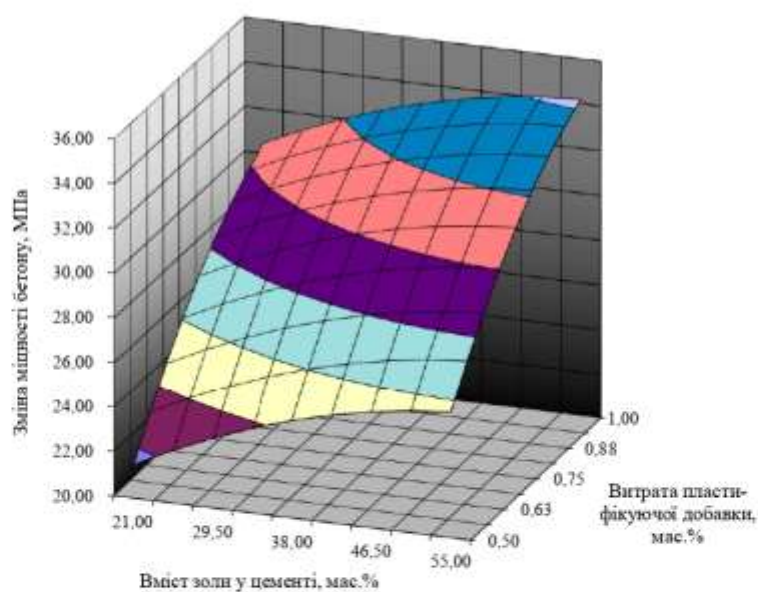


Рис. 5.12. Ізопараметричні діаграми зміни міцності при стиску бетону в проектному віці залежно від вмісту золи в складі цементу та від витрати добавок: а) «Dynamon SR2»; б) «Melflux 1641F».

На рис. 5.13 наведені залежності зміни міцності бетонів при стиску в часі від вмісту золи в складі цементу при використанні різних типів пластифікуючих добавок в кількостях, що забезпечують найвищі значення  $\Delta R_{180}$ .

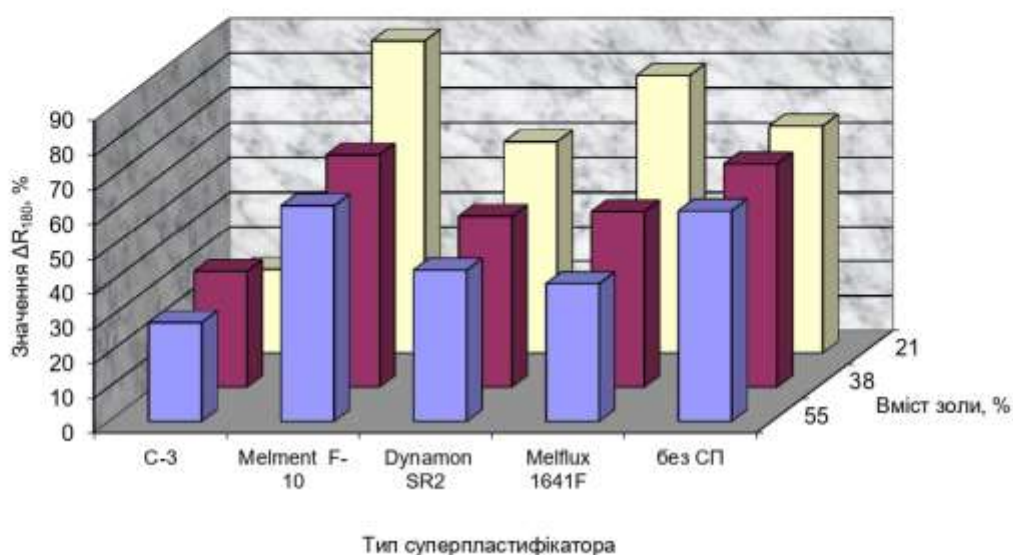


Рис. 5.13. Залежність показника приросту міцності бетонів на стиск після 180 діб твердіння ( $\Delta R_{180}$ ) від хімічної природи і витрати пластифікуючої добавки при різному вмісті золи в складі цементу

Отримані результати свідчать про те, що після досягнення проектного віку резерв для розвитку міцності бетону залежить як від вмісту золи в складі пуцолано-вого цементу, так і від витрати та хімічної природи пластифікуючої добавки.

Окремо слід підкреслити, що підвищення вмісту золи в складі пуцоланового цементу призводить до зменшення зазначеного резерву, що вочевидь, пов'язано з проявленням пластифікуючого ефекту при введенні золи до бетонної суміші. Так, значення  $\Delta R_{180}$  непластифікованого бетону на основі пуцоланового цементу, що містить 21, 38 та 55 мас.% золи становлять 66, 65 і 61% відповідно (рис. 5.13).

Закономірно, що в загальному випадку резерв для розвитку міцності бетону додатково зменшується і в разі використання суперпластифікуючих добавок в складі бетонної суміші. В результаті мінімальними значеннями  $\Delta R_{180}$  характеризуються бетонні суміші з найбільшими витратами пластифікуючої добавки та золи. Так, наприклад, значення  $\Delta R_{180}$  бетону на основі цементу, що містить 21, 38 та 55 мас.% золи в складі пуцоланового цементу, пластифікованого поліакрилатною добавкою, складають 61,1%, 49,6% і 43,7%, відповідно. Вплив вмісту золи на значення  $\Delta R_{180}$  пластифікованих бетонів повинно розглядатися невід'ємно від хімічної природи використаної добавки.

Так найменшою залежністю цього показника від складу пуцоланового цементу характеризуються бетони, пластифіковані добавкою «С-3», найбільшою – добавкою полікарбоксилатного типу.

Результати дослідження кінетики набору міцності бетонів у часі свідчать про розвиток процесів структуроутворення в пуцолановій в'язучій системі, що є передумовою для отримання довговічного штучного каменю.

Так, міцність при стиску бетону на основі пластифікованого цементу, що містить 21, 38 та 55 мас.% золи й поліакрилатну добавку у кількості 1,15 мас.% від маси цементу, після 3 діб твердіння досягає, відповідно, 85, 65 і 35% значень міцності непластифікованого аналога на основі ПЦ І-500-Н, а після 180 діб тверднення відносна міцність підвищується, відповідно, до 93, 83 і 57%.

Виявлені закономірності можуть пояснюватися тим, що, з одного боку, з підвищенням до певної межі витрати золи й пластифікуючої добавки знижується водопотреба бетонної суміші, внаслідок чого прискорюються процеси структуро-утворення на початкових етапах тверднення бетону. З іншого боку, морфологія золи визначає сповільненість процесів структуроутворення пуцоланового цементу на ранніх стадіях та їх поступовий розвиток у часі. Таким чином, за обраним критерієм оцінки

( $\Delta R_{180}$ ) бетони на основі пластифікованого пуцоланового цементу є довговічними - приріст міцності при стиску штучного каменю після 180 діб твердіння порівняно з міцністю бетону в проектному віці становить від 20 до 80 % і залежить як від витрати та хімічної природи пластифікуючої добавки, так і від вмісту золи в складі пуцоланового цементу.

## 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 ПБТ; 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.

### **6.3 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 ізолюваною нейтраллю та глухозаземленою нейтраллю. Ізолювана нейтраль – це нейтраль генератора чи трансформатора, яка ізолювана 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 провущин 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 скозання по зашнуреній поверхні.
3	Армування напруженою арматурою	Можливість обриву напруженої арматури; ураження електричним струмом	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

			робітників про ввімкнення напруги. 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.
4	Укладання бетонної суміші	Шкідливий вплив вібрації і шуму.	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
5	Ущільнення бетонної суміші на віброплощадці	Вібрація, шум; падіння віброщита	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 співударяння 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

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 паро проникності; піднімання кришок після відведення із камер пароповітряної суміші і при температурі в них нижче 35°C; обладнання камер системою витяжної вентиляції.</p>
---	-------------------------	---	--

#### 6.4 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;
- є) 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.

## ВИСНОВКИ

1. Результати сприятимуть вирішенню проблеми утилізації паливних зол і шлаків та отриманню ефективних будівельних матеріалів і виробів.
2. Показано, що при визначенні реакційної здатності золи доцільно враховувати ефективність її активації за допомогою коефіцієнта ефективності активації золи.
3. Встановлено взаємозв'язок процесів структуроутворення та властивостей штучного каменю залежно від складу та способів активації золи. У разі використання активованої кислої золи спостерігається підвищення міцності бетонів на їх основі.
4. Досліджено фізико-механічні властивості пуцоланових цементів та бетонів на їх основі, встановлені особливості процесів структуроутворення штучного каменю. Показано, що використання золошлакових відходів як компонента бетонів, дозволяє розширити сировинну базу, зменшити потребу в природних ресурсах.
5. Використання розроблених технічних рішень дає змогу зберігати природні ресурси, знизити витрати палива та енергії, ефективно вирішувати проблеми охорони довкілля, знижуючи викиди вуглекислого газу.