

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

## **Пояснювальна записка**

до кваліфікаційної магістерської роботи

на тему: «**Використання матеріалів на основі  
бурових шламів з цементом та полімерними  
добавками для влаштування дорожнього  
одягу**»

Виконав: А.Н. Вардересян

студент групи 601-БТм

спеціальності 192 – будівництво

та цивільна інженерія,

ОП «Технології будівельних

конструкцій, виробів і матеріалів»

Керівник О.В. Демченко

Завідувач кафедри О.В. Семко

Рецензент

Полтава 2026

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1 ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД .....	7
1.1 Призначення бурових розчинів .....	7
1.2 Властивості бурових розчинів .....	9
1.3 Аналіз складу бурових розчинів.....	13
1.4 Бурові розчини на водній основі .....	15
1.5 Бурові розчини на нафтовій основі .....	20
1.6 Класифікація бурового шламу .....	23
1.7 Дослідження складу бурового шламу.....	24
1.8 Методи переробки і утилізації бурового шламу.....	26
1.9 Досвід використання бурових шламів у будівництві.....	29
1.10 Висновки .....	32
РОЗДІЛ 2 ТЕОРЕТИЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ТА МЕТА РОБОТИ.....	33
2.1 Мета роботи та задачі дослідження.....	33
2.2 Теоретичне обґрунтування.....	34
РОЗДІЛ 3 МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ .....	35
3.1 Визначення характеристик вихідних матеріалів .....	35
3.1.1 Цемент .....	35
3.1.2 Буровий шлам .....	35
3.2 Математичне планування експерименту .....	35
3.3 Підбір складу шламоцементної суміші.....	36
3.4 Методика виготовлення зразків.....	38

3.5 Випробування .....	39
РОЗДІЛ 4 ХАРАКТЕРИСТИКА ВИХІДНИХ МАТЕРІАЛІВ .....	41
4.1 Цемент .....	41
4.2 Буровий шлам .....	42
РОЗДІЛ 5 АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ .....	44
1.1 Результати визначення міцності зразків бурового шламоцементу .....	44
1.2 Залежність міцності від цементу, води і добавки .....	46
1.3 Залежність середньої густини від води, добавки і цементу .....	56
1.4 Вплив середньої густини на міцність зразків .....	64
1.5 Залежність міцності і середньої густини бурового шламоцементу в абсолютно сухому і водонасиченому стані .....	65
5.5 Висновки .....	68
РОЗДІЛ 6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ .....	70
6.1 Забезпечення належних умов праці для робітників .....	70
6.2 Вимоги до засобів індивідуального захисту .....	73
6.3 Вимоги до працівників щодо використання засобів індивідуального захисту .....	74
6.4 Безпека під час будівництва шарів основи автомобільних доріг .....	75
6.5 Безпека під час улаштування верхніх шарів дорожнього покриття .....	76
6.6 Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях .....	78
6.7 Безпека від ураження електричним струмом .....	78
ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ДОСЛІДЖЕННЯ ...	81
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ .....	82

## ВСТУП

Утилізація відходів буріння є невід'ємною частиною розробки свердловин. Практика нейтралізації бурових відходів в Україні часто ігнорується або виконується з порушеннями технологічних норм, що є характерною рисою сучасної нафтогазової галузі. Комерційні структури, прагнучи максимізувати прибутки, свідомо нехтують обов'язковими процедурами утилізації, що призводить до значного негативного впливу на екологічну ситуацію в регіонах видобутку. Особливу небезпеку становлять бурові стічні води: їх потрапляння до водних об'єктів спричиняє шкоду навіть територіям, значно віддаленим від місць проведення робіт. Отже, питання комплексного поводження з буровими відходами залишається критично актуальним та вимагає негайного посилення державного регулювання та контролю.

У військовий час нафтогазова промисловість формує хребет сучасної економіки. Енергетична незалежність країни є невід'ємною складовою економічного благополуччя і необхідною умовою для розвитку держави. Тому проблема забезпечення нафтогазовими ресурсами є досить актуальною.

Особливо важливим аспектом у розвитку нафтогазової сфери в Україні є залучення до розробки ресурсів іноземних компаній. В Україні на даний час не маємо можливості відкривати поклади нафти і газу, а теж війна не дає перспективи швидкого залучення для іноземних інвесторів на території України. В свою чергу, потенційні українські інвестори потерпають від складної системи податків та постійного руйнування об'єктів державою агресором, тому, нафтовидобувні компанії прагнуть одержати максимально можливу вигоду від розробки природних ресурсів, часто нехтуючи якісною екологічною експлуатацією свердловин.

Великі компанії фактично мають монополію на видобування нафти й газу. Користуючись своїм положенням, нафтовидобувні організації отримують ліцензії на буріння значної кількості свердловин. Як наслідок, відсутність конкуренції провокує недбалу розробку родовищ. Популярним серед компаній-

монополістів є принцип «зняття вершків». Очевидно, що при подібному стані речей, про якісну розробку свердловин не може бути й мови.

В Україні належний стан екологічного аспекту розробки свердловин викликає сумніви. Гостро постає питання утилізації відходів буріння, а саме бурового шламу. Це великотоннажний продукт, який накопичується у великій кількості і має в своїй структурі небезпечні реагенти, що згубно впливають на довкілля. Програми по утилізації бурових шламів повинні впроваджуватися на рівні держави. Для цього необхідний конструктивний діалог влади та компаній, що займаються розробкою родовищ. Паралельно із впровадженням заохочень і спрощень для нафтогазових компаній, повинна посилюватися система контролю і сертифікації за розробкою родовищ. Також є актуальним питання створення конкурентного ринку в нафтогазовій сфері.

Враховуючи сучасний стан доріг в Україні, напрям переробки бурового шламу для будівництва автошляхів є перспективним. До того ж, багато дослідників займаються розробленням технологій, що передбачають використання бурового шламу в будівництві.

## РОЗДІЛ 1

### ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД

#### 1.1 Призначення бурових розчинів

Бурові розчини забезпечують ефективне, безаварійне буріння. Використання складних систем колоїдних розчинів, їх приготування, регулювання властивостей за допомогою домішок реагентів завжди знаходяться в центрі уваги інженерів.

Сучасний етап технології буріння почався з середини XIX ст. Він обумовлений розвитком нафтової промисловості.

У розвиток сучасних уявлень про бурові розчини значний внесок зробили вчені України, Росії, США, Англії та інших країн, імена яких відомі нафтовикам у всьому світі. Вітчизняним інженерам та науковцям більш відомі вчені, які працювали у цій галузі різних країнах зокрема в Україні та Азербайджані (Бачеріков О.В., Гукасов М.А., Єсьман Б.Й., Жуховицький С.Ю., Круглицький М.М., Левченко А.Т., Мислюк М.А., Мірзаджанзаде А.Х., Мітельман Б.І., Мовсумов А.А., Мукук К.В., Питель С.А., Просьолков Ю.М., Ребіндер П.А., Розенгафт А.Г., Рязанов Я.О., Семенаш А.І., Скальська У.Л., Тесленко В.Н., Тигаренко Н.Х., Шищенко Р.І., Яремійчук Р.С. та інші), і менше — вчені з далекого зарубіжжя (Cray K.F., Crowley. M.D., Evans Bill Rodjers I., Walker R.E. та інші)

Протягом тривалого часу буріння здійснювалось ударним способом и застосовувалося для будівництва водяних колодязів. Очищення забою від вибуреної породи виконувалася періодично, за допомогою інструменту, що нагадує ківш.

Тільки на початку нинішнього століття стали застосовувати роторний спосіб буріння, що забезпечує безперервне очищення забою свердловини від добутої породи і винесення залишків на поверхню безпосередньо в процесі буріння. Буровий інструмент (долото) спускається на забій на колоні бурильних труб, що забезпечує його обертання. Всередину бурильної колони закачується буровий

розчин, який, витікаючи через відповідні отвори в долоті, очищає свердловину від породи і охолоджує бурильний інструмент, а потім піднімається на поверхню по кільцевому простору в середині між бурильними трубами та стінками свердловини, захоплюючи з собою вибурені залишки - шлам. Цей спосіб буріння став називатися роторно-гідравлічним. У різних варіантах він знаходить широке застосування і в наш час.

Слід зазначити, що ідея закачування води всередину колон бурильних труб з'явилася ще в середині позаминулого століття (орієнтовно у Франції в 1845 р), проте тоді реалізація цієї технології в ударному бурінні не отримала широкого розповсюдження.

Таким чином, основне призначення бурового розчину - безперервне очищення свердловини від шламу і видалення його з робочого простору інструмента, який руйнує породу. Витрата бурового розчину і швидкість його закачування в насадку долота повинні забезпечувати максимальну ефективність руйнування породи. Разом з тим циркулюючий буровий розчин охолоджує долото і колону бурильних труб, запобігаючи тим самим передчасний знос бурильних труб [18]. За інформацією з [17], крім очищення від шламу свердловини та процесу охолодження робочого інструменту, бурові розчини також використовують для виконання наступних важливих функцій.

#### 1. Гідростатична роль бурового розчину

Ці функції базуються на густині (масі) рідини та її структурно-механічних властивостях:

- a) Контроль пластового тиску: створення протитиску на пласти, що запобігає неконтрольованому виходу газу, нафти або води в порожнину свердловини (профілактика газонафтоводопроявів).
- b) Підтримка стійкості стовбура: забезпечення механічної цілісності стінок свердловини, особливо в інтервалах залягання пухких або слабкозв'язаних гірських порід.

- с) Полегшення ваги обладнання: зменшення фактичного навантаження на гак та талеву систему завдяки виштовхувальній силі розчину (ефект Архімеда), що діє на бурильну колону.

## 2. Функції формування фільтраційної кірки

Ці завдання реалізуються завдяки здатності розчину створювати на стінках свердловини та у порах породи тонкий, міцний і малопроникний захисний шар:

- а) Ізоляція стінок: мінімізація проникнення рідкої фази розчину (фільтрату) у породи, що оточують стовбур.
- б) Зміцнення породи: підвищення структурної зв'язності нестійких відкладів за допомогою кольматації (закупорювання) пор частинками розчину.
- с) Покращення умов ковзання: зниження коефіцієнта тертя між стінками свердловини та поверхнею бурильних або обсадних труб, що полегшує спуско-підіймальні операції.

3. Фізико-хімічні функції (обумовлені фізико-хімічною взаємодією компонентів бурового розчину з породами, що складають стінки свердловини, з пластовими водами, а також з бурильним інструментом):

- а) збереження стійкості стінок свердловини, незважаючи на вплив фільтрату бурового розчину;
- б) захист бурового обладнання від корозії і абразивного руйнування;
- в) збереження природної проникності продуктивних горизонтів при їх розробці;
- г) збереження необхідних технологічних властивостей розчину;
- д) полегшення процесу буріння породи.

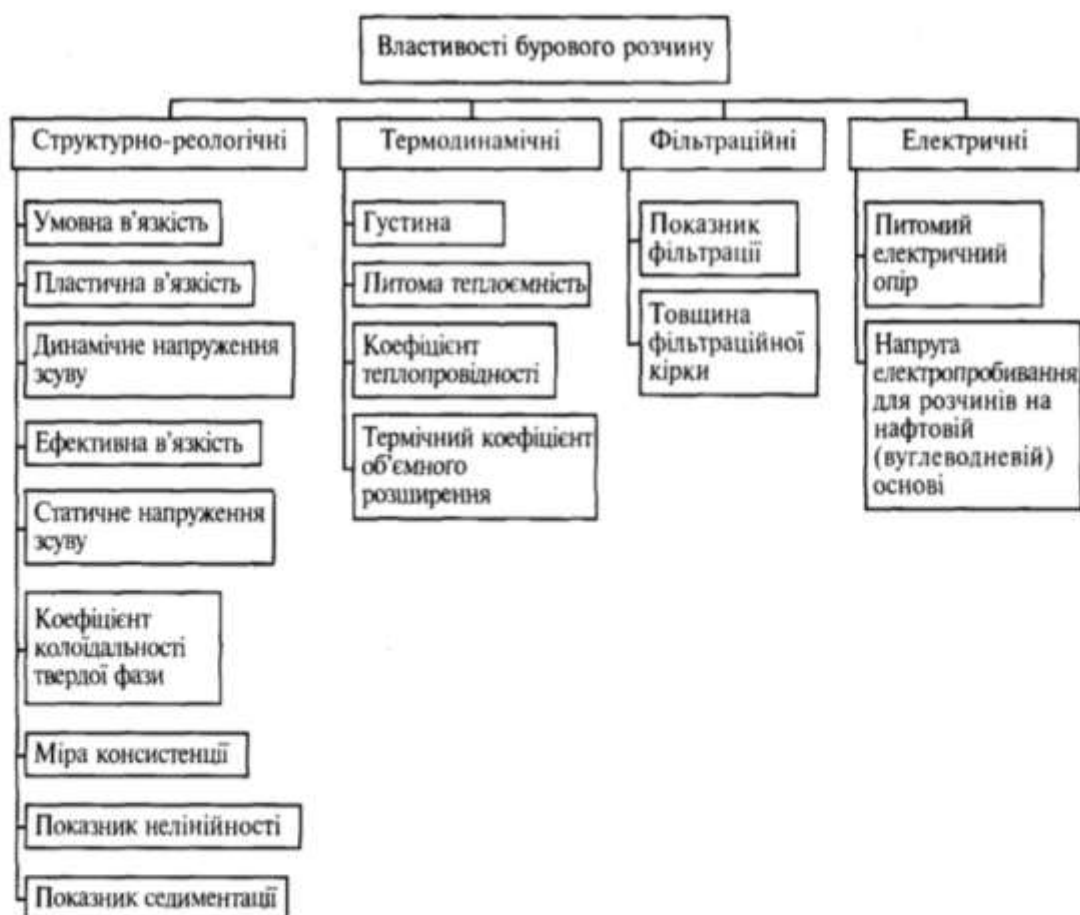
## 1.2 Властивості бурових розчинів

Успіх буріння свердловин в значній мірі залежить від складу і властивостей бурових розчинів, які повинні забезпечувати безпеку і безаварійність ведення робіт при високій швидкості буріння і якісній розробці продуктивного пласта. Застосування бурових розчинів з регульованими властивостями потребує

значних коштів, але в кінцевому результаті це призводить до економії часу на роботи, а також мінімізації аварій та ускладнень [13].

Регулювання властивостей бурового розчину пов'язано з різними впливами в процесі буріння свердловин. Це досягається підбором оптимальних складів бурових розчинів, використанням спеціальних добавок-реагентів або наповнювачів. Залежно від глибини буріння свердловин різного діаметру, температури, геологічного розташування розроблюваних порід значно змінюються умови буріння навіть для одного родовища. Тому приготування якісного складу бурового розчину для кожної конкретної свердловини пов'язано з необхідністю визначення основних властивостей в процесі проектування [9]. Згідно з класифікацією [11], властивості бурових розчинів поділяють на структурно-реологічні, термодинамічні, фільтраційні та електричні.

Рис. 1.1 Структурна схема властивостей бурового розчину

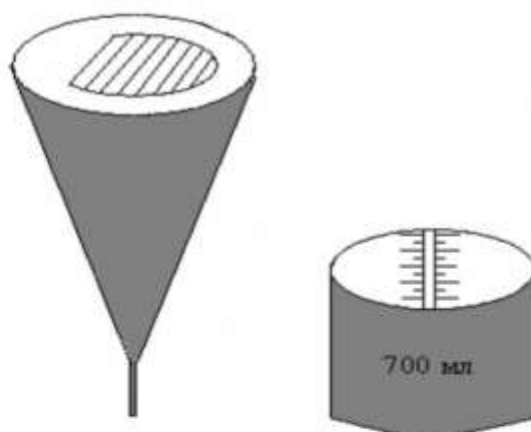


Ефективність застосування бурових розчинів залежить від їх основних властивостей, до яких відносяться щільність, умовну в'язкість, статичну напругу зсуву.

Щільність коливається від  $0,7 \text{ кг/м}^3$  для природних газів, до  $2400 \text{ кг/м}^3$  для обважнених бурових розчинів. Зі збільшенням глибини свердловини щільність бурового розчину регулюється таким чином, щоб гідростатичний тиск перешкоджав проникненню флюїдів з тріщин гірських порід в свердловину. Однак гідростатичний тиск стовпа бурового розчину повинен бути нижче тиску розриву порід, при якому в пластах утворюються тріщини, що поглинають буровий розчин. У той же час потрібно контролювати зменшення тиску на забій свердловини полегшує процес руйнування порід [30].

Умовною в'язкістю характеризуються енергетичні витрати на циркуляцію бурового розчину. Умовна в'язкість бурового розчину визначається за допомогою конусної лійки Марша (див. рисунок 1.2) [11].

Рис. 1.2 Конусна лінійка Марша



Процедура вимірювання умовної в'язкості передбачає використання вертикально встановленого віскозиметра. Спершу через фільтрувальну сітку в прилад заливають  $700 \text{ см}^3$  досліджуваної рідини. Після цього відкривають зливний отвір, одночасно запускаючи відлік часу. Секундомір зупиняють у момент, коли об'єм розчину в мірній ємності досягне позначки  $500 \text{ см}^3$ . Для отримання достовірного показника випробування проводять тричі, обчислюючи

середнє арифметичне. Важливо, щоб розбіжність між замірами не перевищувала 2 секунди. [9].

Незважаючи на те, що умовна в'язкість вельми абстрактна величина, яку не можна використовувати в гідравлічних розрахунках, вона постійно контролюється в процесі буріння. Практично намагаються підтримувати умовну в'язкість бурового розчину як нижчою. Зазвичай ця величина не перевищує 30 с. для розчинів щільністю до  $1,4 \text{ г/см}^3$  і 45 с. для розчинів щільністю вище  $1,4 \text{ г/см}^3$ . [5]

Статичне напруження зсуву характеризує міцність на зсув (зріз) тиксотропної структури, яка виникає в буровому розчині в стані спокою. Відомо, що припинення циркуляції призводить до того, що в ньютонівській рідині, незалежно від її в'язкості, тверді частинки осідають під дією гравітаційних сил. У неньютонівських рідинах швидкість осідання частинок залежить і від в'язкості, і від різниці напружень, які створюються структурою гелю та гравітаційними силами, що діють на тверді частинки в буровому розчині [43]. Згідно [12], для визначення статичного напруження зсуву при нормальній температурі використовується прилад СНЗ-2 (див. рисунок 1.3).

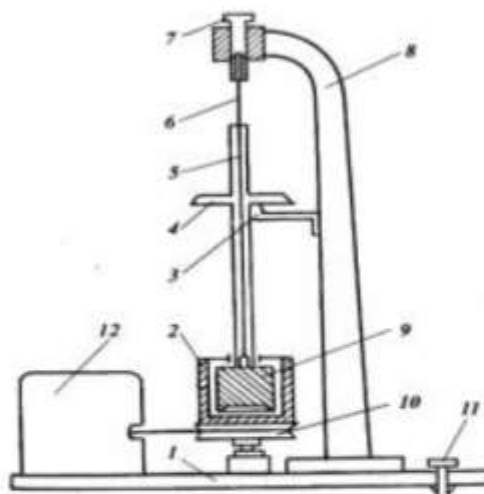


Рис. 1.3 Прилад СНЗ-2:

- 1 - основа; 2 - зовнішній циліндр; 3 - кронштейн; 4 - диск зі шкалою; 5 - трубка; 6 - пружна нитка; 7 - підвіска; 8 - стійка; 9 - підвісний циліндр; 10 - столик, що обертається; 11 - регулювальний гвинт; 12 – електродвигун.

Конструкція вимірювального пристрою СНЗ-2 передбачає наявність електропривода, що приводить у рух зовнішній циліндр. Обертання відбувається з фіксованою частотою 0,2 оберти на хвилину, що дозволяє точно фіксувати момент руйнування структури розчину. Перед заповненням зовнішнього циліндра буровим розчином шляхом обертання крутильної головки встановлюють лімб на поділці «нуль». Перед вимірюванням статичного напруження зсуву буровий розчин інтенсивно перемішується для зруйнування його структури, і лише після цього ним заповнюють зовнішній циліндр. Після перебування розчину в спокої від 1 до 10 хв вмикають двигун і фіксують найбільший кут закручування нитки, який досягається протягом 1 хв виміру [21,12].

### **1.3 Аналіз складу бурових розчинів**

Вітчизняний і зарубіжний досвід показує, що тільки висока якість бурових розчинів дозволяє найбільш повно використовувати технічні можливості бурових інструментів, збільшити термін їх служби, підвищити швидкість буріння, поліпшити якість розкриття продуктивних пластів, скоротити витрати на боротьбу з ускладненнями і знизити вартість буріння в цілому [40].

За своєю природою бурові промивальні рідини належать до гетерогенних систем. Це означає, що вони мають неоднорідну будову і складаються з декількох фаз, кожна з яких володіє власними фізико-хімічними характеристиками. У такій системі виділяють дисперсну фазу (дрібно подрібнені частинки) та дисперсійне середовище (безперервну рідку основу). [17].

Для досягнення високих техніко-економічних показників буріння потрібно дотримуватися відповідності вибраного типу бурового розчину до умов буріння. Рекомендовані типи бурових розчинів, відповідно до складу порід, що розробляються, наведені в таблиці 1.1 [1,37].

Хімічні реагенти застосовуються для приготування і обробки бурових розчинів з метою надання їм необхідних властивостей, а також для зміни в'язкості, міцності структури і водовіддачі [8,45].

Таблиця 1.1

## Вибір типу бурового розчину

Породи		Буровий розчин	
Тип порід	Характеристика	Тип	Реагенти для регулювання параметрів
Піщаники, вапняки, доломіти	Ущільнені, високостійкі, малочутливі до дії фільтратів бурових розчинів	Бурові розчини різних типів з добавками, що сприяють руйнуванню порід	Не потребує реагентів
Піщаники, вапняки, доломіти з прошарками глин, аргілітів, мергелів, алевролітів	Малостійкі, здатні до набухання, до руйнування аргілітів і алевролітів	Бурові розчини з інгібуючими, закріплюючими, властивостями, зокрема хлоркалієві, хлоркальцієві, - вапняні, силікатні, нафтоемультсійні та РНО	NaOH, NH <sub>4</sub> OH, CaCl <sub>2</sub> , Na <sub>2</sub> AlO <sub>3</sub> , KCl, CaO, Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> , КМЦ, КССБ, ССБ, біополімери типу енпосан, гідролізований поліакрилонітріл (гіпан), крохмаль, ПАР
Глини	Пластичні, легко набухають, розмокають, переходять в розчин	Бурові розчини з інгібуючими властивостями, з обмеженим показником фільтрації, зокрема хлоркалієві, хлоркальцієві, гіпсокалієві, вапнисто-калієві, нафтоемультсійні з підвищеною інгібуючою дією	KCl, NaCl, NH <sub>4</sub> Cl, CaCl <sub>2</sub> , CaSO <sub>4</sub> , CaO, ПАР, , крохмаль, енпосан, СЖК
Аргіліти, алевроліти, вапняки, глини	Малостійкі, пластичної будови, схильні до осипання і обвалювання	Бурові розчини з інгібуючими, закріплюючими, гідрофобізуючими властивостями, зокрема вапняні, вапнисто-калієві, силікатні вапняно-бітумні розчини (ВБР)	CaO, Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> , CaCl <sub>2</sub> , KCl, NaOH, високоокислений бітум, дизпальне, ПАР, СМАД

Кам'яна сіль, кам'яна сіль з прошарками бішофіту та інших солей	Легко переходять в розчин, схильні до утворення каверн	Розсоли (до густини і 200 кг/м <sup>3</sup> ); розсоли важкі з вмістом бромідів (до густини 1600 кг/м <sup>3</sup> ); високомінералізовані глинисті розчини з вмістом Cl <sub>2</sub> та ін.	Розсоли (електротіти — відходи виробництв), NaOH, NH <sub>4</sub> OH, KBr, CaBr <sub>2</sub> , MgCl <sub>2</sub> , CaCl <sub>2</sub> , ПАА
Кам'яна сіль з прошарками теригенних порід	Схильні до утворення каверн	Розсоли, високомінералізовані глинисті розчини, вапняні, ВБР на нафтовій основі	Крохмальні реагенти, біопотімери типу енпосан, NaOH, NH <sub>4</sub> OH, CaO, KCl, CaCl <sub>2</sub> , КССБ, ССБ, КМЦ
Кам'яна сіль з прошарками теригенних порід і бішофіту	Нестійкі, схильні до утворення каверн	Високомінералізовані глинисті розчини, стабілізовані полімерними реагентами неіоногенного типу добавкою MgCl <sub>2</sub>	NaCl, KCl, MgCl <sub>2</sub> , CaCl <sub>2</sub> , NaOH, CaO, крохмальні реагенти, енпосан, оксигетилцелюлоза

#### 1.4 Бурові розчини на водній основі

В якості основи для бурового розчину дуже вигідно застосовувати технічну і морську воду, так як вона поліпшує очищення свердловини від шламу має невелику в'язкість, високу миттєву фільтрацію, хороші змочувальні властивості, що сприяє ефективному руйнуванню гірських порід внаслідок миттєвого вирівнювання диференціального тиску під долотом, зниження міцності порід (ефект П. А. Ребиндера) і гідравлічних опорів. При використанні технічної та морської води швидкість буріння підвищується на 15-20% [13].

Однак технічна вода, як буровий розчин, має також недоліки. Глинисті відкладення (глини, аргіліти, алевроліти) при промиванні водою інтенсивно гідратують і набухають, що призводить до втрати міцності, стійкості і виникненню ускладнень у вигляді обвалів і осипів стінок свердловини. Тому застосування води допустимо лише при бурінні твердих порід карбонатно-піщаного комплексу, а також в гіпсах та інших відкладеннях [13]. Використання технічної води як промивального середовища має низку суттєвих недоліків. По-

перше, вона провокує дестабілізацію стінок свердловини в нестійких інтервалах. По-друге, через поступове насичення вибуреною породою (самочинну глинізацію) питома вага рідини неконтрольовано зростає. Крім того, контакт води з продуктивними пластами призводить до погіршення їхньої колекторської здатності. Варто також зазначити, що чиста вода практично не здатна утримувати шлам у завислому стані при зупинці циркуляції. [12].

На основі матеріалів з [38,39, 47 ,11] було складено таблицю (див. таблицю 1.2), у якій приведено коротку характеристику та особливості застосування основних бурових розчинів на водній основі.

Таблиця 1.2

## Розчини на водній основі

Назва розчину	Характеристика
Безглинистий буровий розчин (вода)	Вода як промивальний агент використовується на ділянках зі стійким розрізом та за відсутності зон з АВІТ (аномально високим пластовим тиском) чи інших геологічних ускладнень. Найчастіше таку технологію впроваджують при бурінні неглибоких інтервалів. Для покращення властивостей у воду зазвичай вводять сольові добавки, зокрема хлорид кальцію у концентрації 2—3%.
Малоглинисті бурові розчини	Для спорудження малогабаритних свердловин методом алмазного буріння, особливо в умовах залягання монолітних чи тріщинуватих масивів, доцільно застосовувати малоглинисті системи. Такі розчини характеризуються низькою концентрацією глинистої фази (від 3% до 5%). Щоб забезпечити необхідну структуру та контролювати кількість твердих домішок, до складу вводять селективні високомолекулярні сполуки, зокрема поліакриламідні або біополімерні реагенти.

Недиспергуючі бурові розчини	До категорії систем із низьким вмістом твердих домішок належать розчини, де об'ємна частка твердої фази не перевищує 2,5%. Основними компонентами для їх стабілізації виступають два види полімерів: РНРА (частково гідролізований поліакриламід) та УАМА (продукт взаємодії вінілацетату з малеїновим ангідридом). Шляхом регулювання молекулярної ваги та рівня гідролізу цих сполук можна досягти різного ступеня впливу на бентонітову основу, що дозволяє гнучко керувати параметрами промивальної рідини.
Глинисті розчини на прісній воді	До категорії прісних належать розчини, у яких концентрація хлориду натрію не перевищує 1%, а вміст іонів кальцію становить менше ніж 120 мг/л. Основу таких систем складає водна суспензія бентоніту — мінералу, що має найвищу здатність до гідратації та розпаду на дрібні частинки (диспергування). Використання хімічних реагентів та механічного оброблення дозволяє перетворити цю суміш на стійку в'язко-пластичну систему. Такі розчини ефективні при проходженні стійких розрізів, що не містять сольових відкладів
Гіпсовий буровий розчин	Даний тип промивальної рідини розроблений спеціально для роботи в нестійких глинистих горизонтах. Порівняно зі звичайними глинистими розчинами, він дозволяє утримувати більший обсяг твердих домішок без критичної втрати властивостей (при густині біля 1,2 г/см <sup>3</sup> ). Основний механізм захисту стінок полягає в хімічному обмеженні набрякання порід. Для отримання робочої суміші у воду вводять бентоніт (20 кг), гіпс (до 15 кг) для інгібування, каустичну соду для регулювання рН та комбінацію реагентів КМЦ різної в'язкості для стабілізації фільтрації та реології.

Вапняний буровий розчин	<p>Даний тип розчинів ефективно запобігає неконтрольованому зростанню в'язкості під час проходження активних глинистих пластів. Основними перевагами вапняних систем є їх економічність (менші витрати реагентів) та оперативність у коригуванні технологічних показників. Проте існують суттєві обмеження: при тривалому перебуванні в умовах високих температур (особливо в нерухомому стані) розчин схильний до термічного загущення. Це явище часто супроводжується різким підвищенням статичної напруги зсуву (<math>\text{CH}_3</math>), що ускладнює подальшу роботу</p>
Силікатний буровий розчин	<p>Силікатні системи застосовують для стабілізації стінок свердловини, особливо в інтервалах залягання глинистих сланців та аргілітів, що мають тенденцію до обвалення. Важливою перевагою таких розчинів є їхня виняткова стійкість до впливу високих температур, що вигідно відрізняє їх від аналогів. Процес приготування базується на модифікації базового глинистого розчину шляхом введення рідкого скла (силікату натрію або калію), а також спеціальних добавок для оптимізації реології та водовіддачі.</p>
Карбонатний буровий розчин	<p>Цей тип розчину спеціально розроблений для первинного розкриття продуктивних горизонтів. Технологія приготування передбачає використання прісної води як основи, в яку послідовно вводять компоненти: хлорид натрію (кількість визначається необхідною питомою вагою), каустичну соду (<math>1\text{--}1,5 \text{ кг/м}^3</math>), а також комбінацію полімерів КМЦ різної в'язкості (<math>5 \text{ кг/м}^3</math> високов'язкої та <math>10\text{--}20 \text{ кг/м}^3</math> малов'язкої). Як наповнювач використовується доломітове борошно, об'єм якого встановлюється розрахунковим шляхом.</p>

Соленасичений буровий розчин	Для проходження пластів, складених із чистого хлориду натрію (NaCl), застосовують специфічні розсольні системи. Головною умовою їх використання є підтримання стану повного насичення (близько 300 кг/м <sup>3</sup> солі), що забезпечує густину розчину на рівні 1190 кг/м <sup>3</sup> . Такий підхід дозволяє запобігти каверноутворенню, оскільки насичена рідина не здатна розчиняти сіль, що формує стінки свердловини.
Магнієво-калієвий буровий розчин	Даний тип розчину розроблений для проходження горизонтів із полімінеральними сольовими відкладами. Рівень мінералізації системи коригується з урахуванням концентрації карналіту (MgCl•KCl•6H <sub>2</sub> O) у розрізі. Важливою особливістю експлуатації є суворий контроль водневого показника, оскільки надмірна кількість вапна провокує неконтрольоване загушення, тому рівень лужності має залишатися в межах встановлених норм.

Для оптимізації параметрів систем на водній основі до них додають вуглеводневу фазу (найчастіше дизельне паливо) у кількості до 30% від загального об'єму. Такі системи класифікуються як нафтоемультсійні [24,37]. Застосування емульсій забезпечує суттєві переваги над стандартними водними суспензіями, зокрема:

- продуктивність: зростання механічної швидкості проходки.
- довговічність: подовження ресурсу роботи доліт та вибійних двигунів.
- стабільність: підтримання проектного діаметра свердловини без розмивів.
- зниження опору: мінімізація моменту кручення та зменшення зношування бурильного парку.
- профілактика: запобігання налипанню породи (сальнікоутворенню) на породоруйнівний інструмент.

До складу нафтоемультсійних розчинів також входять емульгатори неіоногенного та полімерного типу [37,18].

В таблиці 1.3 наведено приклади рецептур нафтоемультсійних розчинів, що застосовуються під час буріння свердловин на родовищах Прикарпаття. Розрахунок ведеться на 1 м<sup>3</sup> розчину.

Таблиця 1.3

## Рецептура нафтоемультсійних розчинів

	Компоненти	Вміст компонентів на 1 м <sup>3</sup> розчину, кг
Рецептура 1	Глино порошок бетонітовий	40
	Кальцинована сода (Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> )	25
	Амонієве мило (емульгатор)	30
	ПАР (сульфанол, неонол, АФ-12)	15
	Нафта або дизпальне	3
	КМЦ-600(тілоза)	5
	Вода	решта
	Рецептура 2	Глино порошок бетонітовий
ТПФН		25
Натрієве мило (емульгатор)		30
Нафта або дизпальне		15
ПАР (неонол, АФ-12, совенол)		3
КССБ		50
КМЦ-600 (тіюза)		3
Хлорид кальцію (CaCl <sub>2</sub> )		3
Вода		решта

**1.5 Бурові розчини на нафтовій основі**

До розчинів на нафтовій основі (РНО) відносяться гідрофобні емульсії і вапняно-бітумні розчини, що представляють собою емульсії II роду (вода в олії). РНО застосовуються для розкриття продуктивних пластів в ускладнених геологічних

умовах (обвали глини, наявність калійно-магнієвих солей і т. д.), а також для буріння високотемпературних свердловин і т. д. [39].

Бурові розчини на нафтовій основі мають низку переваг перед розчинами на водній основі, а саме:

- забезпечуючи можливість буріння в нестійких породах, які набухають і розширюються у водному середовищі;
- володіють ярко вираженими мастильними властивостями, які забезпечують збільшення терміну служби долота;
- знижують енергетичні затрати і можливість аварій при роторному бурінні;
- не є електропровідниками;
- попередньо захищають інструмент від корозії [40].

До основних недоліків бурових розчинів на основі нафти відносяться:

- негативний вплив на гумові деталі, що контактують з розчином;
- труднощі регулювання структурно-реологічних властивостей;
- істотна залежність в'язкісних і тиксотропних властивостей від температури і тиску;
- труднощі в підтримці властивостей при попаданні води та інших забруднюючих добавок;
- складність приготування.

В наш час ці недоліки усуваються внаслідок створення і використання спеціальних реагентів, емульгаторів, знижувачів в'язкості та ін. Питання вибору бурових розчинів на основі нафти постає тоді, коли оцінюється їх економічна і, найголовніше, екологічна доцільність [3].

Розчини на основі нафти діляться на дві групи: розчини вапняно-бітумні та емульсії інвертні [12].

Розчин вапняно-бітумний за своєю фізико-хімічною природою є гетерогенною системою на вуглеводневій базі. Основний об'єм рідини представлений нафтою або дизельним паливом. До складу включені мінеральні добавки (баритовий концентрат та вапно), а також строго дозована кількість води, функцією якої є ініціація хімічної взаємодії з оксидом кальцію. Цей розчин застосовується при

розбурюванні глинистих порід, які легко набухають і порід, що схильні до обвалів, а також при розбурюванні соленосних відкладень. Розчин має високу термостійкість (200-220°C), а внаслідок хороших мастильних властивостей підвищує зносостійкість доліт [12].

Інвертні емульсії - це системи, призначені для розробки і освоєння продуктивних пластів і буріння сольових відкладень. Підвищений вміст води в інвертних емульсіях зменшує їх вартість, а можливість регулювання рівня і характеру мінералізації водневої фази дозволяє успішно застосовувати для розбурювання нестійких глинистих відкладень. Інвертні емульсії вирізняються високою стабільністю. Вони зберігають свої властивості навіть при великій кількості вибуреної породи [5].

Приклади рецептур розчинів на основі нафти, які застосовуються в Україні, наведено у таблиці 1.4

Таблиця 1.4

## Рецептури розчинів на нафтовій основі

	Компоненти	Вміст компонентів на 1 м <sup>3</sup> розчину
Ваняно- бітумний розчин	дизельне пальне, л	585
	високоокислений бітум, кг	160
	вапно, кг	320
	вода, л	62
	сульфонат, л	12
Інвертно- емульсійний розчин	дизельне пальне або нафта, л	420
	СМАЛ, л	30-40
	емульгатор, л	15-20
	бентоніт, кг	10-15
	вода, л	410-395
	CaCl <sub>2</sub> або MgCl <sub>2</sub> , кг	235-225

### 1.6 Класифікація бурового шламу

Буровий шлам можна класифікувати за певними якісними та кількісними ознаками, такими як агрегатний стан, компонентний склад і фізико-хімічні властивості [1].

Для класифікації агрегатного стану відпрацьованої породи використовують показник фазового складу.

Текучий (рідкий) шлам містить значну кількість рідини, а вміст твердого залишку в ньому лімітований позначкою 35%.

Пастоподібна (напіврідка) група визначається вмістом твердої фази в діапазоні від 35% до 85%.

Якщо ж технологічний процес (наприклад, центрифугування або осушення) дозволяє довести вміст рідини до рівня нижче 15%, такий шлам ідентифікують як твердий. Систематизація бурових шламів за такою ознакою дозволяє обґрунтовано підходити до вибору способу їх транспортування і змішування з іншими інгредієнтами.

Щодо компонентного складу бурові шлами слід класифікувати як глинисті, карбонатні, галоїдно-сульфатні (див. рисунок 1.4).



Рис. 1.4 Класифікація бурового шламу

Запропонована систематизація в основному стосується твердих шламів.

Така класифікація дозволяє оцінювати придатність бурового шламу, як вторинної сировини при їх утилізації [1].

Фізико-хімічні властивості бурового шламу дозволяють оцінювати характер їх впливу на об'єкти природного середовища. Згідно із запропонованою систематизацією, бурові шлами можуть бути віднесені до відходів з дуже високим, високим, середнім, низьким і нормальним рівнем забрудненості. При цьому основними класифікаційними ознаками обрані такі показники, як рН, вміст нафти і нафтопродуктів, сухий і прокалений залишок.

Таким чином, буровий шлам є відходом з різним ступенем забрудненості і в той же час представляє інтерес як джерело вторинної сировини для різних, в тому числі будівельних, цілей [11,14].

### **1.7 Дослідження складу бурового шламу**

Буровий шлам є великотоннажним відходом буріння. Його структура тісно пов'язана зі структурою літосферних порід, що розробляються, і зі складом бурового розчину [3].

На властивості бурового шламу як вторинного продукту буріння впливає динаміка зміни літологічних шарів та технологія спорудження свердловини. Поглиблення вибою призводить до варіативності мінералогії шламу. Його хімічна структура є похідною від компонентів породи та специфічних добавок у промивальній рідині, набір яких варіюється залежно від глибини. Крім того, на дисперсність (гранулометрію) частинок впливають діаметр і тип долота, опірність породи руйнуванню та реологічні параметри розчину, що забезпечує винесення і подальше очищення шламу.

В основному, бурові шлами складаються з каоліну і кварцу. Результати аналізу фазового складу, наведені у праці [19], підтверджують, що кварц є домінуючим компонентом бурового шламу. Такий розподіл є закономірним, оскільки кремній та кисень сукупно складають приблизно 75% маси земної кори, що зумовлює широке розповсюдження кремнезему в більшості гірських порід [22,2]. Решта

мінералів представлені в менших кількостях. Їх присутність визначається особливостями породи і параметрами буріння.

Мінеральний та хімічний і склад бурового шламу [24] наведено в таблиці 1.5

Таблиця 1.5

## Хімічний і мінеральний склад бурового шламу

Si	Кремній	Кварц в складі польового шпату і глинистих мінералів	До 50%
Al	Алюміній	Каолін, ортоклаз, альбіт (білий польовий шпат).	До 20%
Ca	Кальцій	Гіпс	До 6%
S	Сірка	Сульфіднi, сульфатнi	До 4%
K	Калій	Розчинні солі	До 3 %
Mg	Магній	Доломіт	
Na	Натрій	Альбіт, розчинні солі	

Так, шлам, взятий з різних частин одного шламового сховища, може мати абсолютно відмінний склад: вологість і вміст вуглеводнів можуть доходити до 70% і більше, вміст механічних домішок різного походження з розмірами від 5 до 500 мм - до 80% (каміння, гілки, сміття) [9].

Основними складовими частинами шламу є вибурена порода, нафта, хімічні реагенти та ін. Нафта, яка вводиться в промивну рідину, під дією емульгаторів рівномірно розподіляється в об'ємі глинистого розчину. В ході буріння вона адсорбується на стінках свердловин і частинках шламу, а також зберігається в розчині емульсії. Буровий шлам разом з вибуреною породою і нафтою включає в себе всі хімічні сполуки, які використовуються для приготування бурових розчинів. Кількість глини в шламi становить 30-90%, обважнювача 10-30%. Слід пам'ятати що разом з буровим шламом скидається до 2-4 і більше тон нафти на 1000 м проходки [21].

Склад відпрацьованої породи суттєво змінюється залежно від умов проходки та типу горизонтів, що розкриваються. У процесі розробки нафтоносних пластів шлам може бути надмірно забруднений вуглеводнями, де вміст нафти сягає 80–85%, солей — до 67%, а поверхнево-активних речовин — близько 4%. Водночас

при звичайному бурінні концентрація забруднювачів значно нижча: частка нафтопродуктів зазвичай не перевищує 7,5%, а вміст органічних реагентів, що входять до складу розчину, становить до 15%. [22].

Сама по собі вибурена порода не токсична, проте, диспергуючись в середовищі бурового розчину, частки її адсорбують на поверхні токсичні речовини. При цьому буровий шлам може мати значний вміст небезпечних для природного середовища хімічних речовин (поліакриламід, конденсованої сульфатоспиртової барди, карбоксиметилцелюлози, розчинних мінеральних солей). [24]

### **1.8 Методи переробки і утилізації бурового шламу**

В Україні питання утилізації бурового шламу стоїть дуже гостро. Нафтовидобувні компанії не готові, а інколи просто не бажають нести додаткові витрати на безпечну переробку бурового шламу. Дуже часто вони захороняють небезпечні відходи без попередньої їх нейтралізації. З кожним роком не утилізованих відходів буріння стає все більше. Площа складів токсичних відходів продовжує рости.

Однією зі важливих проблем є проблема утилізації відпрацьованого бурового шламу і нейтралізації його шкідливого впливу на об'єкти природного середовища. В рішенні цієї проблеми важлива роль відводиться розробці методів, спеціальної техніки, технології утилізації та знешкодження зазначених відходів буріння. [11]

Рівень екологічної небезпеки бурового шламу визначається сукупним впливом двох факторів: природним мінеральним складом вибуреної породи та специфічними властивостями використовуваної промивальної рідини. Саме поєднання літологічних елементів пласта та хімічних реагентів розчину формує фінальний токсикологічний профіль відходів. Аналіз фракційного, фазового і компонентного складу шламу, а також його фізико-хімічних властивостей, показує, що за рахунок адсорбції на поверхні шламу частинок хімічних реагентів, він проявляє яскраво виражені забруднюючі властивості. Так, в його

складі відзначається значний вміст нафтопродуктів і нафти, розчинних мінеральних солей, токсичних для ґрунтово-рослинного покриву. [11]

Основним джерелом забруднення природного середовища в бурінні є шламові амбари – тимчасові місця схову відходів буріння. Такі амбари підлягають ліквідації після закінчення буріння свердловин. Однак через недосконалість технології їх ліквідації, не завжди вдається своєчасно і якісно проводити такі роботи. Тому дуже часто шкідливі речовини, що містяться в бурових шламах, потрапляють в об'єкти гідро- і літосфери. [23]

Можна виділити декілька основних причин, які провокують потрапляння шкідливих речовин в ґрунт:

- відсутність або неякісна гідроізоляція дна і стінок шламових амбарів;
- відсутність надійної гідроізоляції технологічних майданчиків;
- неорганізований збір бурового шламу і скидання його неочищеним на

рельєф місцевості. [28]

Безпечна утилізація бурового шламу може бути досягнута багатьма шляхами. На основі матеріалів [37] складено таблицю (див. таблицю 1.6) найпоширеніших способів переробки та утилізації бурових шламів

Таблиця 1.6

Основні методи утилізації бурового шламу

Метод	Опис
Термічне прожарювання	Термічний метод нейтралізації бурового шламу вважається найбільш ефективним і практично доступним. При прокалюванні шламу при температурі 300 ° С токсичність його знижується в 10 разів, а при 500 ° С шлам знешкоджується повністю. Як джерело тепла використовується попутний газ, нафту, вугілля, відходи деревини.
Гідрофобізація	Гідрофобізація частинок бурового шламу спрямована на зменшення дифузії органічних речовин з поверхні шламу. Як гідрофобізуючі речовини використовується натрієва сіль полімеру малеїнового ангідриду зі стиrolом в присутності електролітів.

Окислення	При окисленні утворюються малотоксичні органічні кислоти, які далі розкладаються або утворюють з $\text{Ca}^{2+}$ і $\text{Mg}^{4+}$ солі. Окислювачем служить перекис водню, оптимальна концентрація якого повинна складати 15 ... 20%. Реакція триває близько 2 ч, а окиснення органіки в шламі досягає 65%. В якості каталізатора використовується добавка 0,05- 0,2% перманганату калію.
Електрокоагуляція	Проводиться осадження коагульованого осаду за допомогою солей Al, Fe, а також їх сумішей . Цим методом проводиться швидке осадження (1-2 години) колоїдних частинок і очищення від органічних забруднювачів. При цьому на поверхні бурових відходів утворюється шар води, що підлягає відкачуванню.
Затвердіння (солефікація)	Для затвердіння відходів буріння можуть використовуватися такі добавки: полімери, формальдегідні смоли, гіпс, рідке скло. Найбільш доступною добавкою є портландцемент, вміст якого повинен становити не менше 10% за обсягом від загальної маси. Затвердіння вважається завершеним, якщо міцність обробленої суміші через 3 доби становить 0,1 МПа (грунт з такою міцністю витримує масу автомашини або трактора). Для прискорення термінів схоплювання до суміші можуть додатково додавати поліелектроліти (кухонна сіль, хлористий кальцій, кальцинована сода).
Екстракція	Процес полягає у вилученні з шламу органічних речовин за допомогою розчинників. Застосовується метод зневоднення залишків бурового шламу шляхом додавання коагулянтів і флокулянтів (сульфату алюмінію і полімерів). Процес перекладу в тверду масу здійснюється за допомогою матеріалу-затверджувача, наприклад деревної золи, портландцементу.

У Великобританії запропонований метод термічного зневоднення бурових шламів, що передбачає створення високопродуктивних бездимних пальників. Фірма Брітіш Петролеум розробила пальники, продуктивність яких змінюється в широкому діапазоні - від 142 м<sup>3</sup>/год до 8500 м<sup>3</sup>/год. [41]

У США була розроблена інноваційна методика утилізації, що ґрунтується на поєднанні твердого бурового шламу з нафтою з наступним термічним впливом у спеціалізованих випаровувальних установках. Під час обробки формується однорідна суміш, де зневоднені мінеральні частинки рівномірно розподілені у вуглеводневому середовищі. На заключному етапі тверда фракція вилучається за допомогою сепараторів. Ключовою перевагою методу є повна стерилізація продукту: високі температури знищують патогенну мікрофлору, віруси та спори [37].

### 1.9 Досвід використання бурових шламів у будівництві

Перспективний напрямок утилізації та переробки бурових шламів має на меті отримання універсальної суміші, яка є нетоксичною і може використовуватися для будівництва доріг, або для поліпшення родючих властивостей землі.

У відкритому доступі існує чимало розробок, що описують переробку бурового шламу в матеріал для будівництва.

У дослідженні [37] запропонована технологія переробки бурового шламу (з ціллю отримання безпечної суміші для будівельних цілей), що передбачає змішування бурового шламу з такими добавками, як попередньо спінена карбамідна смола, кальцієвімісні і органічні добавки, цемент, оксиди. Рекомендована рецептура вищезазначених компонентів наведена в таблиці 1.7

Технологія [37] отримання суміші передбачає такі етапи:

- а) спінення карамбідної смоли при температурі 25-40<sup>0</sup>С протягом 45-90 хв.;
- б) затвердіння карамбідної смоли за допомогою уксусної кислоти протягом 24-48 годин при температурі 25-40<sup>0</sup>С;
- в) перемішування карамбідної смоли з буровим шламом у співвідношенні 50-50 % або 70 – 30 %;
- г) введення кальцієвімісних добавок;
- д) введення цементу і піску;
- е) витримка отриманої суміші протягом 2-3 діб.

Таблиця 1.7

## Рецептура компонентів для отримання суміші

Компонент	Вміст у %
Буровий шлам	30-50
Карамбідна або формальдегідна смола	2-5
Кальцієвмісні добавки ( $\text{CaCl}_2$ , $\text{CaO}$ )	2-3
Органічні добавки (торф)	1-10
Цемент	3-5
Оксиди (пісок)	решта

Ефективність запропонованої технології [24] підтверджена автором на практиці. Отриману суміш, рецептура якої наведена у таблиці 1.8, витримали протягом 3 діб і потім вивезли на будівельний майданчик. За допомогою транспортних засобів її відсипали, утрамбували і витримали протягом 28 діб. В результаті було отримано щільний будівельний майданчик, стійкий до впливу води.

Таблиця 1.8

## Рецептура суміші

Компонент	Вміст, кг
Буровий шлам	350
Формальдегідна смола	40
Хлористий кальцій ( $\text{CaCl}_2$ )	20
Торф	60
Цемент	40
Оксиди (пісок)	490

Автором [37] було запропоновано використання подібних сумішей для облаштування скосів доріг. Ідея була реалізована на практиці. Отриману суміш, рецептура якої наведена у таблиці 1.8, витримали протягом 2 діб і вивезли на укоси дороги. На схилах доріг суміш відсипали, утрамбували за допомогою катка і витримали 28 діб. Потім схили розпушили і засіяли насінням трав. В результаті укоси на дорогах вийшли щільними і міцними, з рослинним покривом у верхньому шарі.

Таблиця 1.9

## Рецептура суміші

Компонент	Вміст, кг
Буровий шлам	440
Карамбідна смола	50
Розкладена деревна тріска	100
Вапно	30
Цемент	50
Оксиди (пісок)	400

У дослідженні [21] запропонована методика нейтралізації бурового шламу шляхом його хімічного перетворення в безпечний продукт – органо-мінеральну суміш (техногенний ґрунт) і подальшого використання цієї суміші для облаштування скосів доріг. Техногенний ґрунт, вироблений з використанням бурового шламу, являє собою дисперсний ґрунт, змінений фізико-хімічними процесами. За даними [21], приготування органо-мінеральної суміші проводилось в безпосередній близькості від розробки свердловини в розбірних резервуарах ємністю від 40м<sup>3</sup> до 500м<sup>3</sup>. Рецептuru суміші наведена в таблиці 1.10

Таблиця 1.10

## Рецептура суміші

Компонент	Вміст вагових частин, шт
Буровий шлам	до 5
Пісок, або пісчано-гравійна суміш	45
Сульфатостійкий цемент марки 400	2,5
Сорбент (глауконіт)	2,5

В результаті досліджень [21] отримано безпечну органо-мінеральну суміш, для якої було визначено основні параметри (див. таблицю 1.11)

Отримана органо-мінеральна суміш підходить для влаштування скосів автомобільних доріг, під'їздів до бурових майданчиків. Запропонована технологія успішно використовується при будівництві доріг на території Оренбурзького району Оренбурзької області. За інформацією голови ТОВ «Торгресурс», зниження витрат становить 25-30%.

Таблиця 1.11

№ п/п	Назва показника	Одиниця виміру	Значення
1	Зерновий склад	Мм	1,25-40
2	Міцність на стиск	МПа	>6,0
3	Межа міцності при вигині водонасичених зразків	МПа	>0,8
4	Морозостійкість	Цикли	>25

#### Параметри суміші

В дослідженні [38] **Ошибка! Источник ссылки не найден.** автор описує процес переробки бурових відходів, шляхом змішування суміші бурового шламу, піску і соляної кислоти. Пропонується теоретичний компонентний склад: 1 частина бурового шламу, 0,75-5 частин піску, 0,02-2,246 моль соляної кислоти на 1 кг шламу. Точну кількість піску і соляної кислоти визначають після аналізу складу бурового шламу.

Як зазначається в тексті роботи [20], попередньо в буровому шламі визначається кількість глинистих домішок і при їх утриманні нижче 14% шлам з піском змішується у співвідношенні 1:5, а при вмісті глинистих домішок вище 14% – у співвідношенні 1:4. Соляну кислоту вводять в кількості, необхідній для забезпечення рН суміші в межах 5-8. Сушку проводять до того часу, поки вологість суміші не встановиться на рівні 15-18%, межа текучості на рівні 10-15% і щільність на рівні 1,70-1,83 г / см<sup>3</sup>.

Як стверджує автор [20], отриманий матеріал використовують при будівництві та укріпленні доріг, кущових майданчиків, обвалок, основ полігонів побутових та промислових відходів, інших промислових об'єктів або як техногенний ґрунт.

#### 1.10 Висновки

Напрямок використання бурових шламів для будівництва доріг є перспективним. Про це свідчить позитивний досвід зарубіжних спеціалістів. В Україні подібні технології не розвинені через недбалу розробку родовищ видобувними компаніями і відсутність належного контролю державою за цими процесами.

## РОЗДІЛ 2

### ТЕОРЕТИЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ТА МЕТА РОБОТИ

#### 2.1 Мета роботи та задачі дослідження

**Актуальність дослідження** зумовлена вичерпністю природних копалин та необхідністю раціонального використання обмежених запасів мінеральної сировини в сучасних економічних умовах. Аналіз сучасних темпів видобутку мінеральної сировини вказує на критичний ризик вичерпання більшості природних покладів вже до середини XXI століття. У відповідь на ці виклики провідні країни світу масштабують впровадження принципів циркулярної економіки, фокусуючись на глибокій переробці промислового техногенного сміття та переході на відновлювані енергоресурси. У цьому контексті інтеграція бурового шламу в дорожнє будівництво постає як комплексне рішення: воно забезпечує безпечну детоксикацію відходів нафтогазової галузі та одночасно створює ресурсну базу для модернізації транспортної мережі.

**Мета** магістерської роботи полягає в розробці складу бурового шламоцементу, який буде мати достатню міцність для створення дорожнього одягу, а також у визначенні впливу добавки на його міцність.

Завдання дослідження:

Провести аналіз факторів, що можуть впливати на властивості бурового шламоцементу з використанням добавки;

Планування факторного експерименту для оцінки впливу змінних параметрів (витрати цементу, добавки та води) на міцність, середню густину та вологість;

Визначення оптимального співвідношення компонентів для досягнення необхідної міцності бурового шламоцементу;

Обробка та оформлення отриманих результатів.

**Об'єкт дослідження** бурові шламоцементи, що складаються з бурового шламу, цементу та полімерних добавок для влаштування дорожнього одягу

**Предмет дослідження** міцнісні характеристики зразків бурового шламоцементу, виготовлені з бурового шламу, полімерної добавки і води.

## **2.2 Теоретичне обґрунтування**

При проектуванні автодоріг необхідно провести розрахунок параметрів, що забезпечують надійність і довговічність дорожнього покриття. У будівництві доріг на лесових ґрунтах важливим напрямком є підвищення надійності та ефективності підготовки інженерних споруд. Основним показником якості ущільненого ґрунту є його густина, що визначається фізичними та механічними властивостями ґрунту. Тому під час зведення земляних споруд потрібно регулярно перевіряти ці властивості.

В перші роки експлуатації багатьох споруд, зокрема земляних, спостерігалися значні деформації, такі як крени, перекоси, провали та зсуви. Дослідження причин деформації показало, що при повному водонасиченні частинки глини, які є стійкими за низької природної вологості, втрачають міцність і набрякають, що призводить до збільшення внутрішніх напружень та деформацій. Це ставить питання про необхідність ущільнення, зміцнення та закріплення природної основи.

На етапі проектування дорожнього покриття з шарів, зміцнених цементом, слід враховувати можливість використання відходів виробництва та досвід їх застосування в конкретних дорожньо-кліматичних умовах.

Морозостійкість є одним із ключових параметрів при проектуванні доріг, оскільки вона тісно пов'язана з водопоглинанням: чим менше води поглинає матеріал, тим більше циклів замерзання і відтавання він витримає. У дослідженнях [22, 23] було отримано суміш з бурового шламу з добавками, яка при твердінні протидіє атмосферним впливам. При змішуванні бурового шламу з піском, сорбентом і цементом було отримано безпечний техногенний ґрунт, який можна використовувати для облаштування укосів.

## РОЗДІЛ 3

### МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

#### 3.1 Визначення характеристик вихідних матеріалів

##### 3.1.1 Цемент

У цементу що використовується визначалися наступні параметри:

- тонкість помелу, використовуючи ДСТУ Б В.2.7-188:2009 [30];
- нормальну густоту, використовуючи ДСТУ Б В.2.7-185:2009 [30];
- марку, використовуючи ДСТУ Б В.2.7-187:2009 [31].

##### 3.1.2 Буровий шлам

Для виготовлення зразків із бурового шламоцементу ми використовували буровий шлам, що знаходився в лабораторії та були визначені наступні показники:

- істина густина, використовуючи ДСТУ Б В.2.7-42-97 [24];
- насипна густина, використовуючи ДСТУ Б В.2.7-264:2011

#### 3.2 Математичне планування експерименту

Для виконання досліджень ми виконували планування експерименту на основі плану Бокса-Бенкена. Це планування проведення експериментів на трьох рівнях в основі яких положено три фактори. Нижче наведений план експерименту (таблиця 3.1).

**Таблиця 3.1** - План експерименту

№	X1	X2	X3
1	1	1	1
2	-1	1	1
3	1	-1	1
4	-1	-1	1
5	1	1	-1
6	-1	1	-1
7	1	-1	-1

Продовження таблиці 3.1

8	-1	-1	-1
9	1	0	0
10	-1	0	0
11	0	1	0
12	0	-1	0
13	0	0	1
14	0	0	-1
15	0	0	0
16	0	0	0
17	0	0	0

В якості змінних досліджень факторів були:

- Кількість цементу;
- Кількість полімерної добавки;
- Кількість води .

### 3.3 Підбір складу шламоцементної суміші

Визначення оптимальних пропорцій компонентів суміші в межах даного дослідження базувалося на аналізі фахових літературних джерел та апробованих рекомендацій, достовірність яких була підтверджена серією контрольних експериментів.

За базовий показник при розрахунку складу було прийнято масу подрібненого бурового шламу, яка становила 50 г. Дозування цементу, води та модифікуючих добавок розраховувалося як відсоткова частка відносно вихідної наважки шламових відходів. Було обрано наступну витрату компонентів:

- Цемент ( 10%, 15%, 20%);
- Добавка – пластифікатор (7,5%, 10%, 12,5%);
- Вода ( визначення оптимальної кількості) (8%, 10%, 12%).

Першим етапом було визначено на практиці попередньої кількість води для замісу, щоб можна було підібрати оптимальний варіант в ході експерименту і математичного аналізу. Спочатку у попередньо зволожену посудину

додавалися цемент і буровий шлам. Перемішування компонентів проводилося до утворення однорідної сипучої маси. До вмісту в'єтнамки додавалася ймовірно-необхідна кількість води. Далі компоненти ретельно перемішувалися. Стан суміші оцінювався як візуально, так і при пресуванні плунжером у циліндрі. Був підібраний наближено до оптимального вміст води, що становив 10,0 % від маси однієї порції наважки бурового шламу, що складало 5,0 мл. Суміш вийшла збалансованою, не розтікалася при пресуванні і не була пересушена, але були виступання крапель вологи. Очевидно, водопотребу потрібно було зменшити, але в залежності від кількості компонентів потрібно її регулювати, а отже було обрано в математичній моделі діапазон в  $\pm 2\%$ .

Шляхом варіювання пропорцій складників розроблено серію дослідних складів бурового шламоцементу, які послужили базою для виконання запланованого обсягу випробувань. У таблиці 3.2 вказано вміст компонентів на 1 заміс, що складався з 9 зразків.

**Таблиця 3.2 – Робочий склад сумішей**

№	Вміст компонентів на 1 заміс		
	Цемент	Добавка	Вода
1	90	56.25	27
2	45	56.25	27
3	90	33.75	36
4	45	33.75	36
5	90	56.25	9
6	45	56.25	9
7	90	33.75	18
8	45	33.75	18
9	90	45	27
10	45	45	27
11	67.5	56.25	18
12	67.5	33.75	27
13	67.5	45	36
14	67.5	45	18
15	67.5	45	27

Для більшої наглядності експерименту було зроблено ще два заміси з максимальними і мінімальними значеннями цементу та води. Таким чином на основі цих зразків можна буде порівнювати вплив добавки на головні характеристики даного дослідження.

### **3.4 Методика виготовлення зразків**

Буровий шлам, що був використаний, мав велику кількість води в своєму складі, близько 30-40%. В такому вигляді його використовувати було неможливо тому, що весь кількість води в його складі була різна через випаровування. Було прийняте рішення висушити, а потім працювати з шламом, як з сипучим матеріалом і підбирати оптимальні співвідношення компонентів. Висушували шлам в сушарці. Після висихання шлам брався грудками, які з легкістю розламувалися на дрібні частинки. Для збільшення якості виконання роботи і її механізації був використаний спеціальний пристрій – лабораторний кульовий млин. Після помолу матеріал було просіяно через сито 0,16 мм.

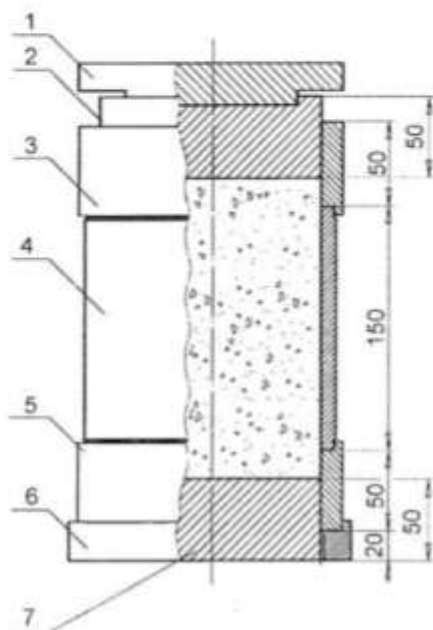
На початку замішування в окремих посудинах було зважено всі компоненти для кожного замісу, використовуючи електронні ваги. Перед початком замісу посудину зволожували вологою ганчіркою, щоб уникнути витрат води на змочування лабораторної посудини. Потім до посуду додавали буровий шлам з цементом, який ретельно перемішували протягом кількох хвилин. Після цього вводили підготовлений водний розчин добавки, і суміш перемішувалась до отримання однорідної маси.

Після приготування суміші виготовлялися зразки у вигляді циліндрів, що піддавалися пресуванню під навантаженням згідно з [38]. Оскільки буровий шламоцемент був на основі мінерального в'язучого, для пресування було вибрано навантаження 15 МПа. Пресування зразків здійснювалося за допомогою

плунжера і циліндра знімного типу (див. рисунок 3.1). Час пресування становив 3 хвилини.

**Рисунок 3.1** Форма для виготовлення зразків циліндрів:

1 - плунжер; 2 - верхній вкладиш з виїмкою для плунжера. 3 - верхнє кільце-насадка; 4 - форма; 5 - нижнє кільце-насадка; 6 - підставка; 7 - нижній вкладиш



По закінченню пресування, форма переверталася і діставався зразок за допомогою металевого циліндра надітого зверху і плунжера знизу на які повторно подавалося навантаження. Таким способом з циліндра видавлювався зразок. Після формування і сортування зразків по замісам вони були пронумеровані та відправлені до камери нормального тверднення.

### 3.5 Випробування

Після формування на пресі перед відправленням до камери нормального тверднення було вирішено визначити основні механічні характеристики тільки сформованого сирцю: середню густину сирцю, границю міцності при стиску, вологість (згідно [34, 24, 35]).

Після визначення головних характеристик сирцю з кожного замісу було відправлено всі зразки до камери нормального тверднення. Випробування зразків відбувалося у віці 2, 7, 14 і 28 діб.

Вологість сирцю і зразків у віці 28 діб було визначено таким способом: після випробування на пресі залишки були зважені на електронних вагах і відправлені до сушильної камери. Як зразки висохли вони були зважені ще один раз і визначена вологість (Формула 3.5.1)

$$W_i = \frac{m_{\text{вол}} - m_{\text{сух}}}{m_{\text{сух}}} \times 100 \quad (3.5.1)$$

де,  $m_{\text{вол}}$  – маса зразка до висушування;  $m_{\text{сух}}$  – маса зразка, який був висушений до постійної маси.

Водопоглинання було визначено наступним чином: було відібрано по одному зразкові у віці 28 діб і висушено до постійної маси у сушарці. Визначено їхню масу після висушування, а потім відправили на декілька днів у водонасичене середовище. Після цього виймалися зразки і зважувалися. Водопоглинання визначалося за схожою вище формулою, тільки замість маси зразків при нормальному твердненні підставляється маса зразків у водонасиченому стані (Формула 3.5.2). Після цього було випробувано ці ж зразки на міцність у водонасиченому стані.

$$W_i = \frac{m_{\text{вол}} - m_{\text{сух}}}{m_{\text{сух}}} \times 100 \quad (3.1)$$

де,  $m_{\text{вол}}$  – маса зразка у водонасиченому стані;  $m_{\text{сух}}$  – маса зразка, що висушений до постійної маси.

## РОЗДІЛ 4

### ХАРАКТЕРИСТИКА ВИХІДНИХ МАТЕРІАЛІВ

#### 4.1 Цемент

##### 4.1.1 Тонкість помелу

Ступінь дисперсності цементу встановлювали відповідно до положень нормативної документації [32]. Для вимірювання використовували методику оцінки фракційного залишку на контрольному ситі, а отримані експериментальні дані систематизовано у таблиці 4.1.

**Таблиця 4.1** Результати визначення тонкості помелу цементу

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

##### 4.1.2 Нормальна густина

Показник нормальної густоти встановлювали відповідно до методики, регламентованої [30], а отримані параметри систематизовано та представлено у таблиці 4.2.

**Таблиця 4.2** Визначення нормальної густоти цементного тіста

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

##### 4.1.3 Марка за міцністю на стиск

Показник марочної міцності на стиск встановлювали шляхом випробування стандартних зразків-балочок 40×40×160 мм відповідно до положень нормативного документа [31]. Отримані експериментальні дані систематизовано у таблиці 4.3.

**Таблиця 4.3** Визначення марки цементу за міцністю на стиск

№	Вік зразка, діб	Руйнуюче зусилля, Н	Границя міцності, МПа	Середнє значення
1	28	125300	50,1	50,1
2	28	125420	50,2	
3	28	126310	50,4	
4	28	125520	50,3	
5	28	125300	50,1	
6	28	126810	50,7	

Отже, цемент, котрий використовувався для дослідів має марку 500.

#### 4.2 Буровий шлам

Для випробувань використовувався буровий шлам, що знаходився в лабораторії для проведення даного дослідження.

##### 4.2.1 Насипна густина

Оцінку об'ємної насипної маси відходів буріння здійснювали відповідно до регламенту [27]. Підсумкові показники проведених випробувань представлені нижче в табл. 4.4.

**Таблиця 4.4** Результати визначення насипної густини

№ досліду	Об'єм циліндра, см <sup>3</sup>	Вага циліндра, г	Вага циліндра з буровим шламом, г	Вага бурового шламу, г	Густина, г/см <sup>3</sup>
1	1000	350	1393,5	1044,5	1,045
2	1000	350	1385	1030	1,030

##### 4.2.2 Істинна густина

Істинна густина бурового шламу визначалася згідно рекомендацій [24]. Було обрано прискорений метод визначення істинної густини, за допомогою

приладу Ле-Шательє. Буровий шлам це дрібнодисперсний матеріал. Він не вступає в реакцію з водою і не змочується, а отже утворюються грудки і ґрунт спливає на поверхню. Таким способом визначення істинної густини встановити неможливо. Тому для визначення цієї характеристики було взято нейтральну речовину – керосин. Результати випробувань наведені у таблиці 4.5

**Таблиця 4.5** Визначення істинної густини бурового шламу

Маса об'єоміра з керосином, г	Маса об'єоміра з буровим шламом, г	Маса наважки бурошламу,г	Об'єм,см <sup>3</sup>	Істина густина, г/см <sup>3</sup>
316,8	373,2	56,4	22,65	2,49

## РОЗДІЛ 5

### АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

Статистичну обробку результатів експерименту було реалізовано в цифровому середовищі MS Excel, а також за допомогою професійного програмного комплексу STATISTICA 10. Отримані дані з програмного комплексу наглядно демонструють залежності між основними характеристиками і складом досліджуваних зразків. За допомогою MS Excel проводилось математичне моделювання експерименту і будувалися графіки та діаграми.

Кожен пункт розподілений на підпункти де вказуються всі залежності і на що впливає той чи інший параметр.

#### 1.1 Результати визначення міцності зразків бурового шламоцементу

Циліндричні Зразки після випробування на міцність мали характерний тип руйнування пісочного годинника(рисунк 5.1)



**Рисунок 5.1, 5.2** Характер руйнування зразків бурового шламоцементу

Випробування зразків на міцність проводились згідно рекомендацій [36].  
Результати випробувань наведено у таблиці 5.1.

**Таблиця 5.1** Результати випробувань зразків бурового шламоцементу руйнівним методом на пресі РП-5

№	Сирець, МПа	Міцність 2 дні, Мпа	Міцність 7 дні, Мпа	Міцність 14 дні, Мпа	Міцність 28 дні, Мпа
1	2	3	4	5	6
1	1.58	3.46	6.34	7.83	8.29
2	1.51	3.26	4.63	5.37	5.86
3	0.90	1.87	6.71	7.07	7.75
4	0.81	1.43	2.23	4.00	5.49
5	1.00	1.51	2.62	6.22	6.22
6	1.50	1.88	2.24	2.26	3.96
7	0.74	0.66	0.51	0.38	0.41
8	1.38	1.15	1.28	1.50	3.84
9	1.34	1.44	5.50	7.81	8.84
10	1.78	1.44	2.46	5.55	5.61
11	0.93	1.40	2.16	4.99	6.59
12	0.82	1.34	1.56	4.65	5.64
13	0.81	1.15	1.59	4.28	5.09
14	0.93	1.27	1.79	3.78	5.43
15	0.90	1.27	1.81	4.51	5.40
Баз -	0.83	0.93	1.18	2,5	7.93
Баз=	0.83	0.93	0.73	1,5	4.63

Згідно з отриманими даними, що наведені у таблиці, спостерігається позитивна динаміка нарощення міцності зразків протягом усього терміну їхнього тверднення. Однак зразки серії №7, 8, 9 і 10 вони на перших етапах тверднення начебто втрачали міцність. Під час формування ці зразки мали великий вміст води і добавки, і мінімальний вміст цементу. Це зіграло вирішальну роль під

час їх формування і набору міцності. Коли витримувалося навантаження протягом 3 хвилини під час формування, то ґрунт вилазив тонкими пластинками між плунжером і циліндром, а отже після формування величина циліндричних зразків була менша і різна. Це і спричинило більш різну міцність і різну густину, оскільки вода не може ущільнитися. Частинки матеріалу, що мали ущільнюватися вилазили на поверхню і це зменшило загальне ущільнення зразків. Особливо на початкових термінах тверднення це найбільш виражено.

Для більшої наглядності впливу різних факторів побудуємо залежності в STATISTICA 10 і поверхні впливу.

## 1.2 Залежність міцності від цементу, води і добавки

В програмі STATISTICA 10 будуємо поверхні впливу залежності міцності бурового шламоцементу від кількості цементу, води і добавки. Поверхні впливу будуються на основі коефіцієнтів кореляції. Кореляція – це статистична залежність двох змінних від однієї незмінної величини. Після будовання графіків і залежностей можна з легкістю корегувати вміст і прогнозувати майбутні результати.

**Таблиця 5.2** Значення коефіцієнтів кореляції

Кореляція	Негативна	Позитивна
Відсутня	-0,09 до 0,0	0,0 до 0,09
Низька	-0,3 до -0,1	0,1 до 0,3
Середня	-0,5 до -0,3	0,3 до 0,5
Висока	-1,0 до -0,5	0,5 до 1,0

Визначаємо кореляцію факторів, що мають вплив на міцність бурового шламоцементу у віці 14 і 28 діб.

**Таблиця 5.3** Визначені значення коефіцієнтів кореляції міцності бурового шламоцементу

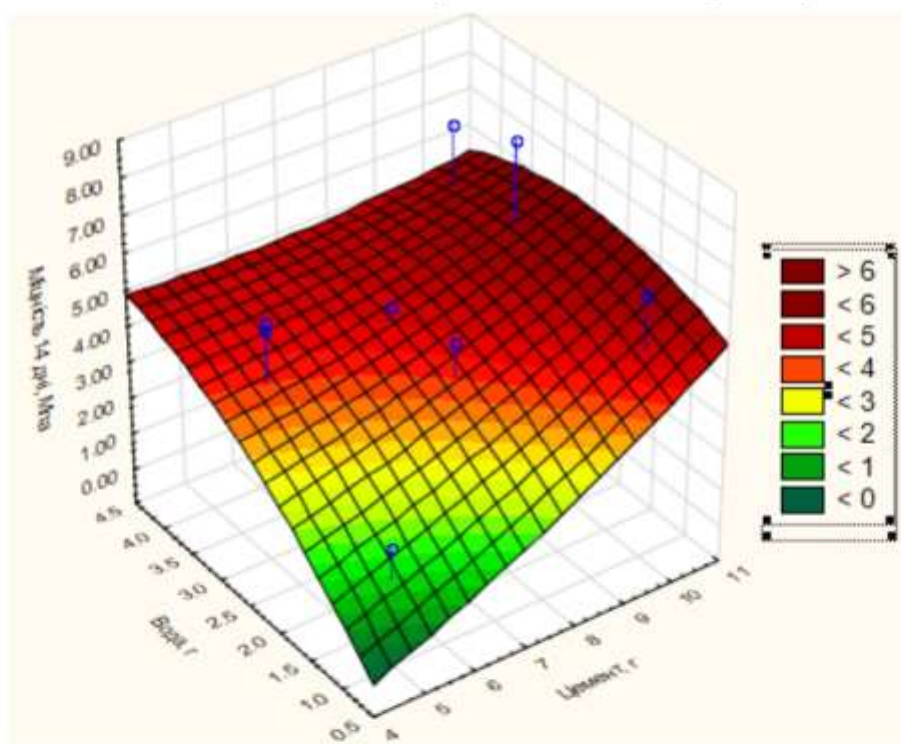
Фактор	Міцність	
	14 діб	28 діб
Кількість цементу	0.313332	0.299414

Продовження таблиці 5.3

Кількість добавки	0.648246	0.200192
Кількість води	0.453138	0.448452

Аналізуючи таблицю 5.3 можна дійти до висновку, що високого позитивного рівня кореляції на міцність у віці 14 діб має цемент, а добавка і вода має середній позитивний вплив. А от у віці 28 діб залежність від цементу і добавки зменшується до позитивного низького рівня, а залежність води залишилась незмінною на середньому позитивному рівні. На основі цих значень кореляції будуються наступні графіки:

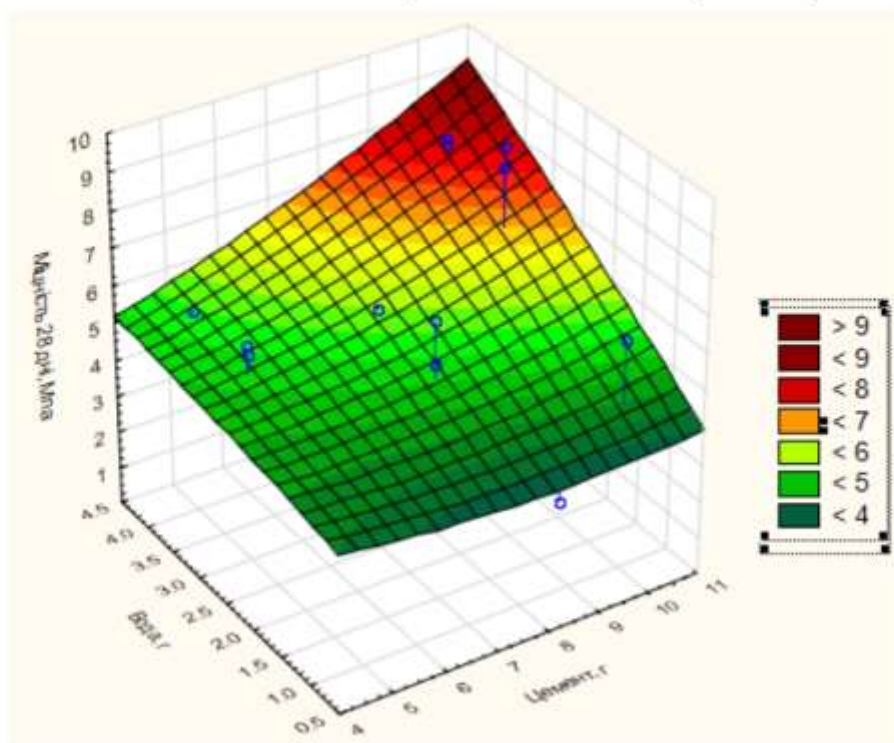
$$R_{cr14} = -3.3996 + 0.4586x + 3.0416y + 0.0232x^2 - 0.1675xy - 0.226y^2$$



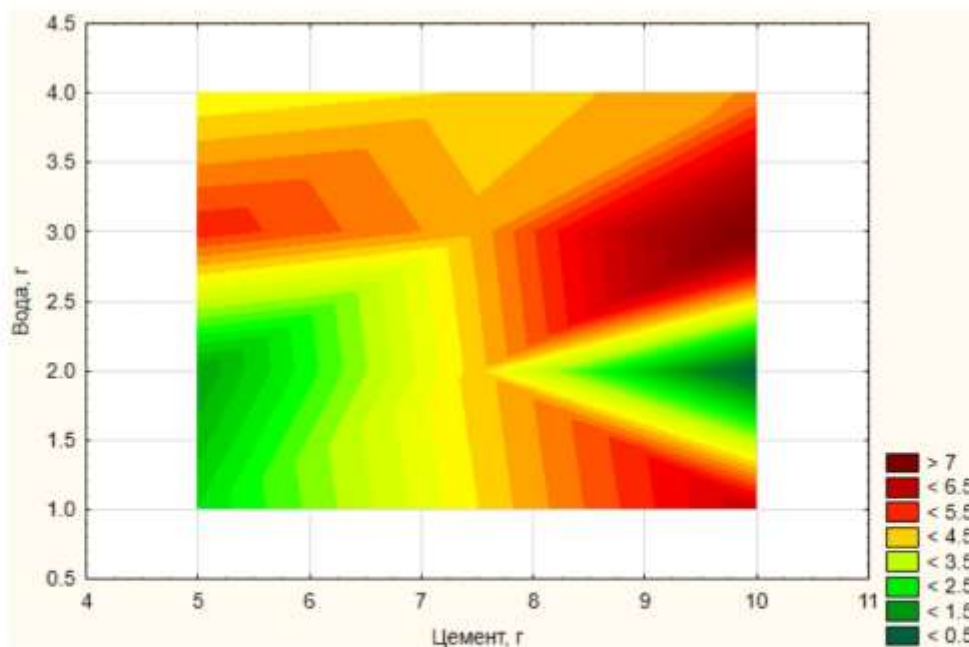
**Рисунок 5.3** Залежність впливу кількості цементу і води на міцність зразків бурового шламоцементу у віці 14 діб.

Для відображення найбільш оптимального вмісту цементу і води в зразках шламоцементу, спроектуємо отримані поверхні (рисунок 5.3, 5.4) на горизонтальну площину.

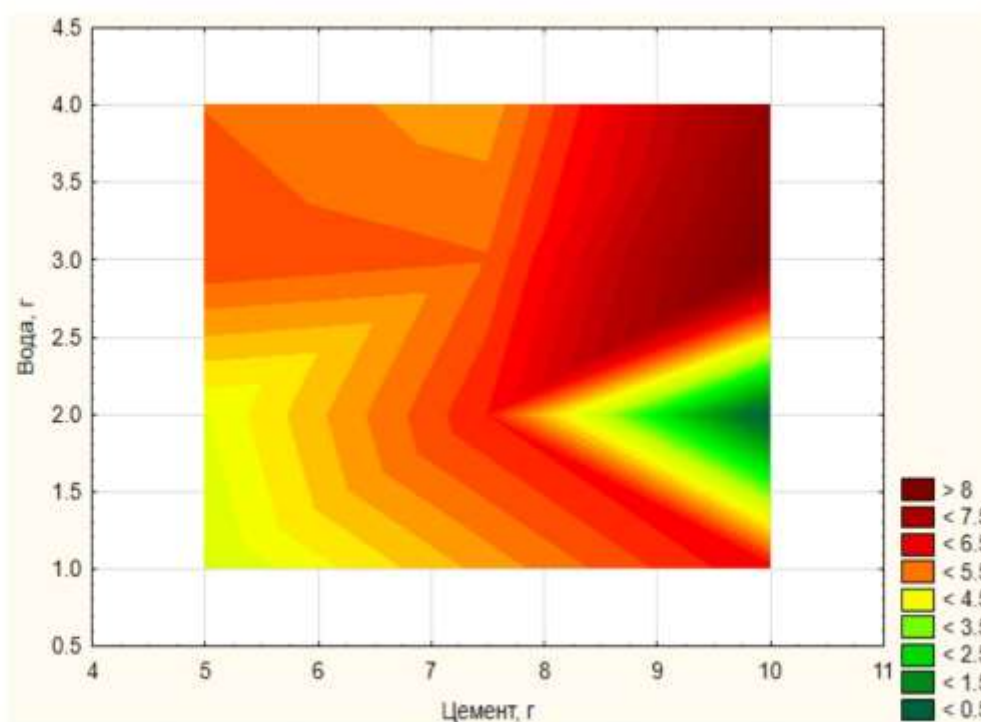
$$R_{cr28} = 5.6345 - 0.4915x - 0.2392y + 0.0251x^2 + 0.1501xy - 0.0257y^2$$



**Рисунок 5.4** Залежність впливу кількості цементу і води на міцність зразків бурового шламоцементу у віці 28 діб.



**Рисунок 5.5** Проекція поверхні залежності міцності бурового шламоцементу від води і цементу на горизонтальну площину у віці 14 діб.



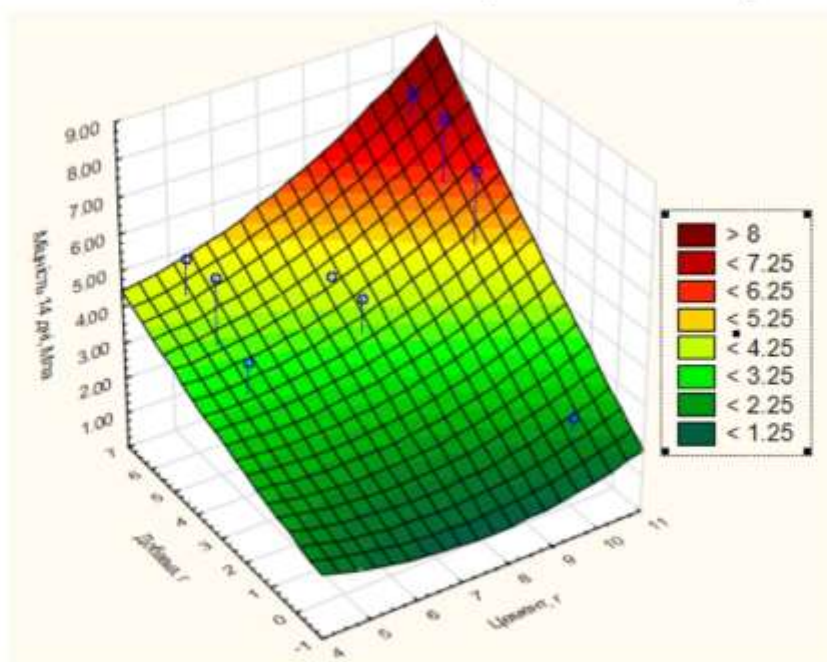
**Рисунок 5.6** Проекція поверхні залежності міцності бурового шламоцементу від води і цементу на горизонтальну площину у віці 28 діб.

За даними графіками чітко прослідковується залежність між кількістю води і цементу. Тобто зі збільшенням кількості цементу потрібно збільшувати кількість води, щоб прореагували компоненти. І таким чином міцність буде більша там де більше цементу і більше цементу прореагує.

Як видно з рисунка 5.5 і 5.6 найбільшу міцність мають зразки з витратою цементу 9-10 г і витратою води 3-4г.

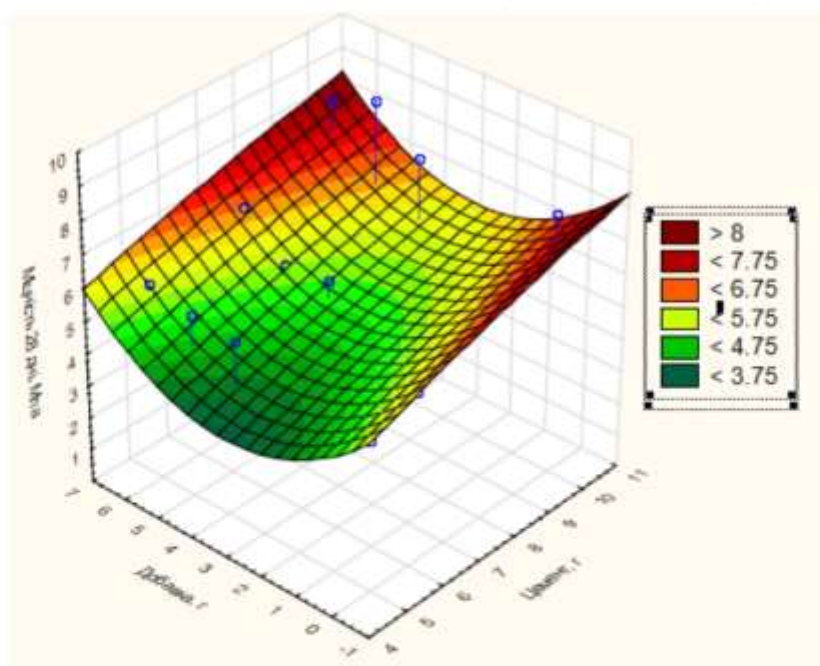
Оскільки був обраний дуже великий відсоток добавки то передбачалося, що це може значно знижувати міцність і після аналізу математичної моделі це було доведено.

$$R_{ct14} = 4.2952 - 0.8079x - 0.0701y + 0.0586x^2 + 0.076xy + 0.016y^2$$

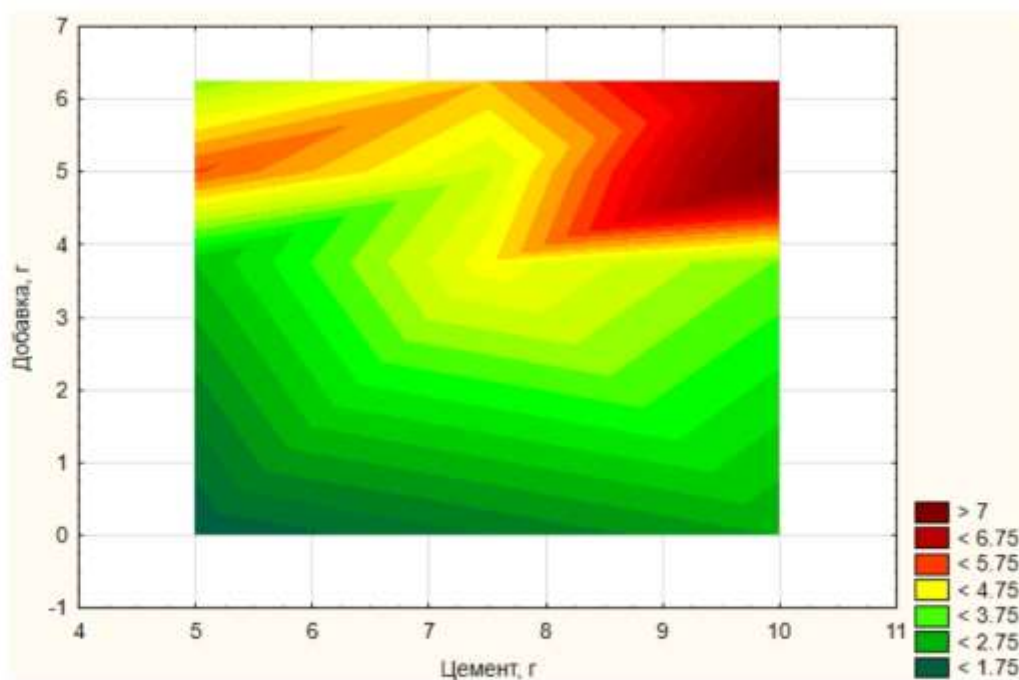


**Рисунок 5.7** Залежність впливу кількості цементу і добавки на міцність зразків бурового шламоцементу у віці 14 діб.

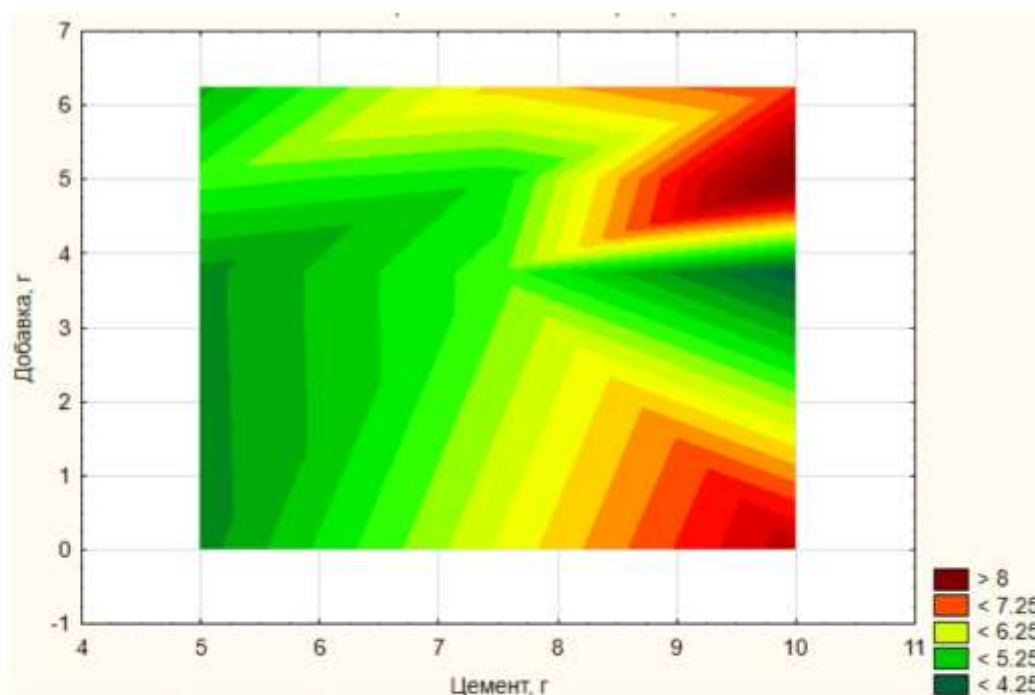
$$R_{ct28} = 2.9304 + 0.5294x - 0.8087y - 0.0114x^2 - 0.0057xy + 0.1415y^2$$



**Рисунок 5.8** Залежність впливу кількості цементу і добавки на міцність зразків бурового шламоцементу у віці 28 діб.



**Рисунок 5.9** Проекція поверхні залежності міцності бурового шламоцементу від добавки і цементу на горизонтальну площину у віці 14 днів.

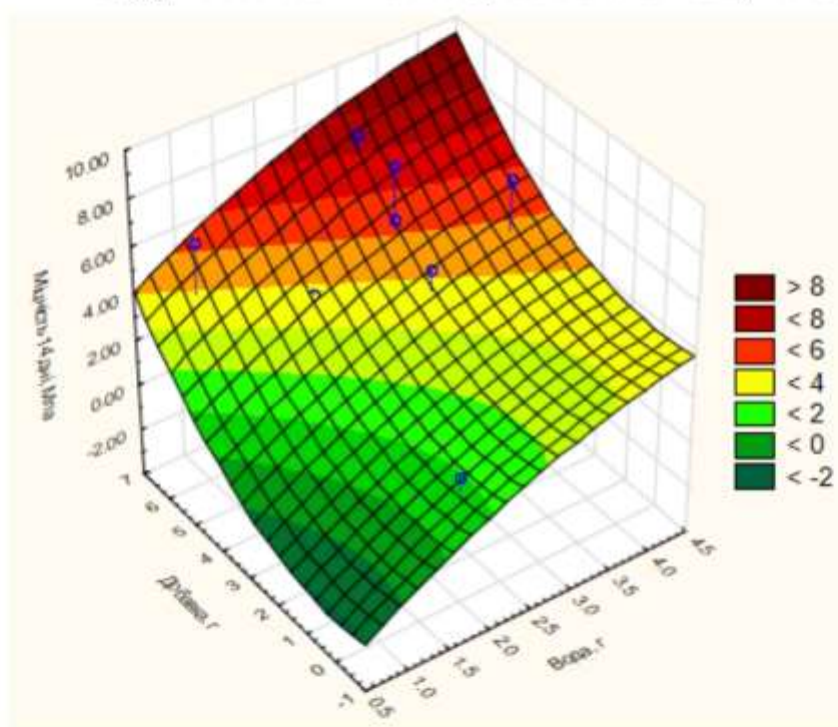


**Рисунок 5.10** Проекція поверхні залежності міцності бурового шламоцементу від добавки і цементу на горизонтальну площину у віці 28 днів.

В 14 днів зразки зі збільшенням вмісту добавки підвищувалась міцність (рисунок 5.7), але вже у віці 28 діб (рисунок 5.8) відбувається цікавий ефект. Цей ефект полягає в тому, що в перші періоди добавка підвищує і прискорює набір міцності, але кінцева міцність значно знижується при використанні добавки від 2 до 4 г.

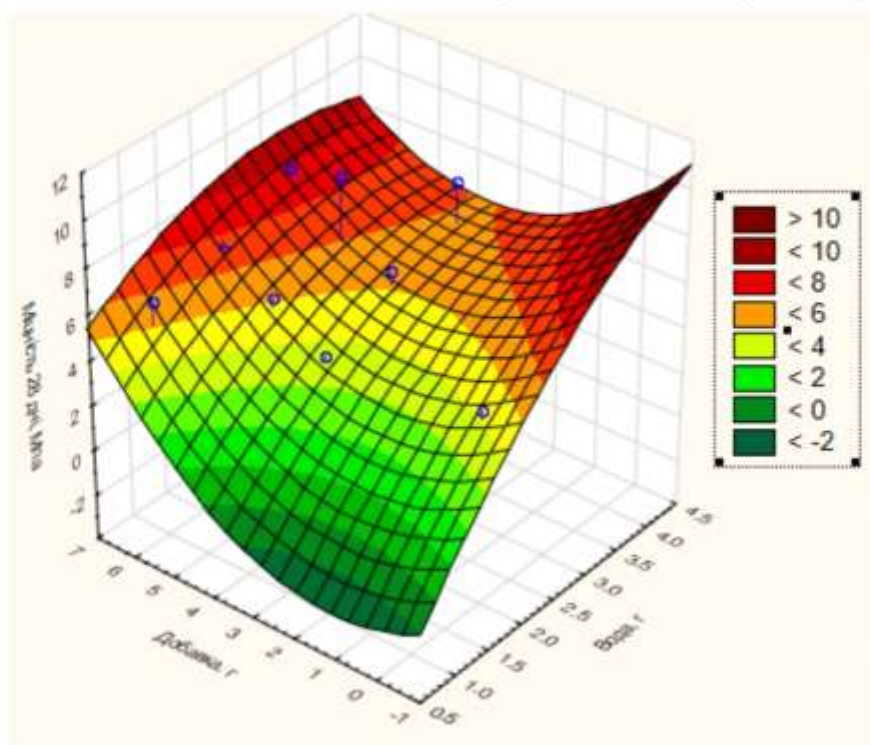
Спроектувавши отримані поверхні на горизонтальну поверхню, можна побачити, що при використанні цементу 9г – 10 г і добавки 5г зразки набрали найбільшу міцність.

$$R_{ct14} = -3.3501 + 2.4717x - 0.035y - 0.2088x^2 - 0.0122xy + 0.1323y^3$$

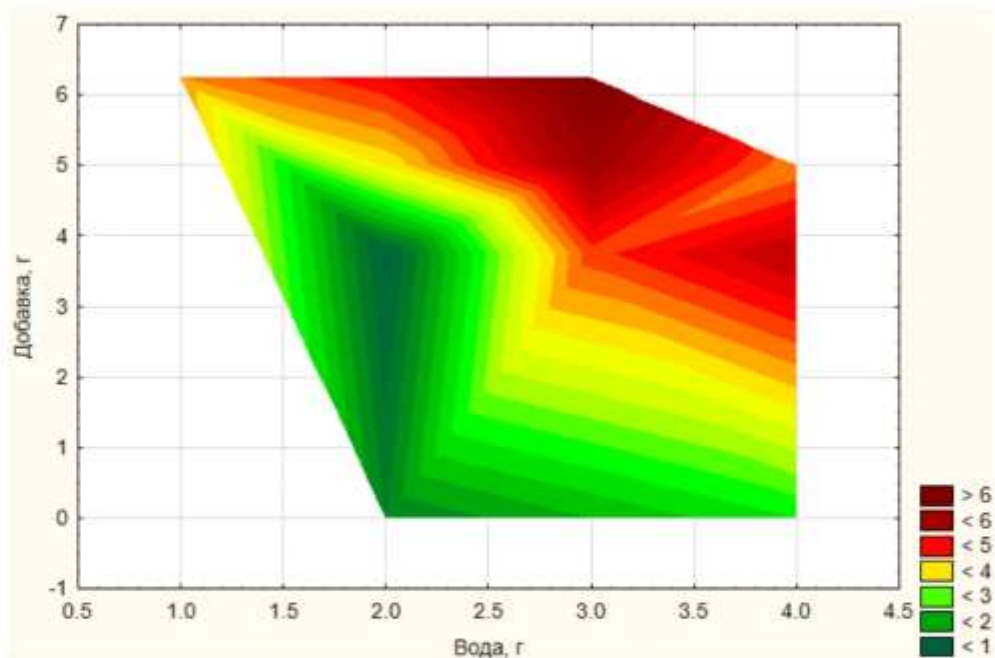


**Рисунок 5.11** Залежність впливу кількості води і добавки на міцність зразків бурового шламоцементу у віці 14 діб.

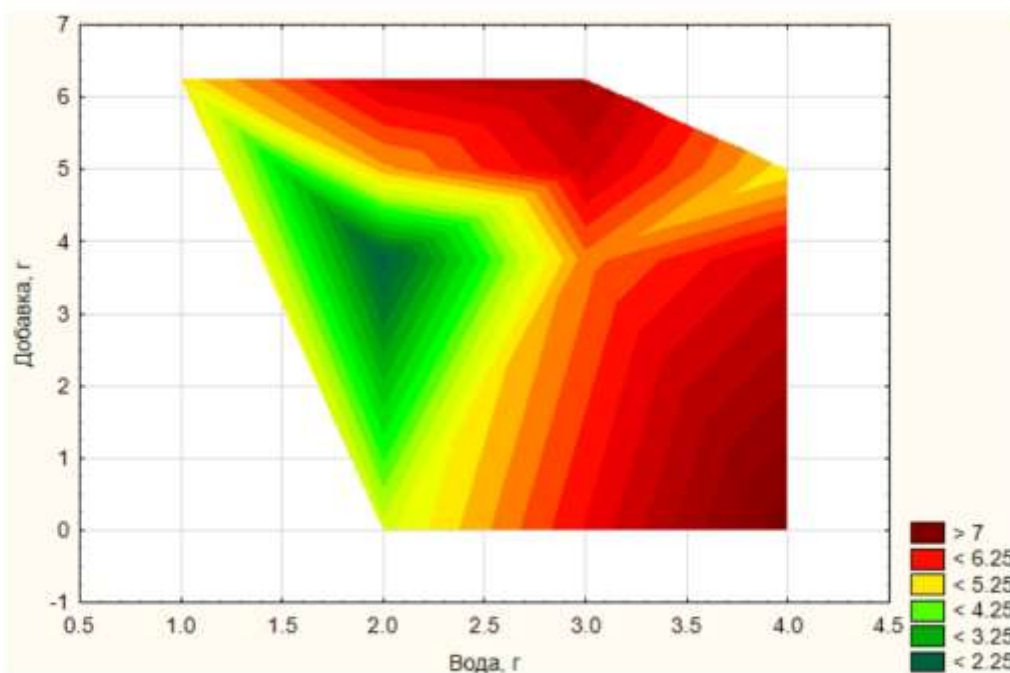
$$R_{cr28} = -4.0875 + 4.8908x - 0.3631y - 0.4345x^2 - 0.2894xy + 0.2192y^2$$



**Рисунок 5.12** Залежність впливу кількості води і добавки на міцність зразків бурового шламоцементу у віці 28 днів.



**Рисунок 5.13** Проекція поверхні залежності міцності бурового шламоцементу від добавки і води на горизонтальну площину у віці 14 днів.

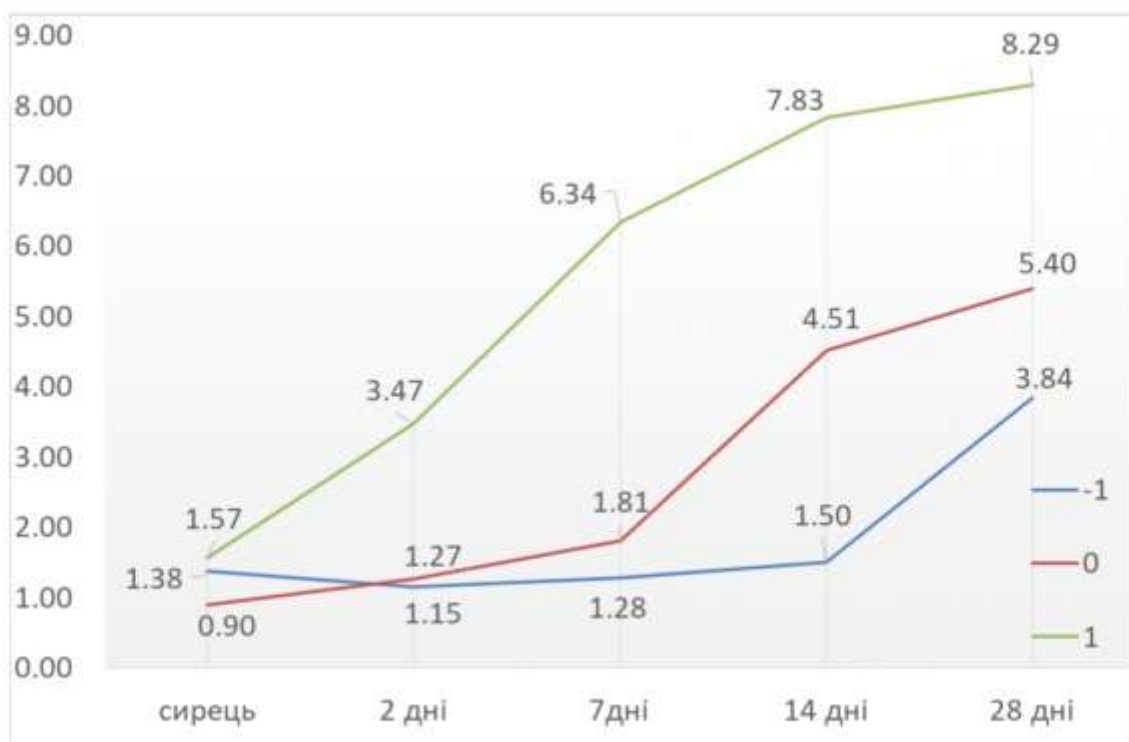


**Рисунок 5.14** Проекція поверхні залежності міцності бурового шламоцементу від добавки і води на горизонтальну площину у віці 28 діб.

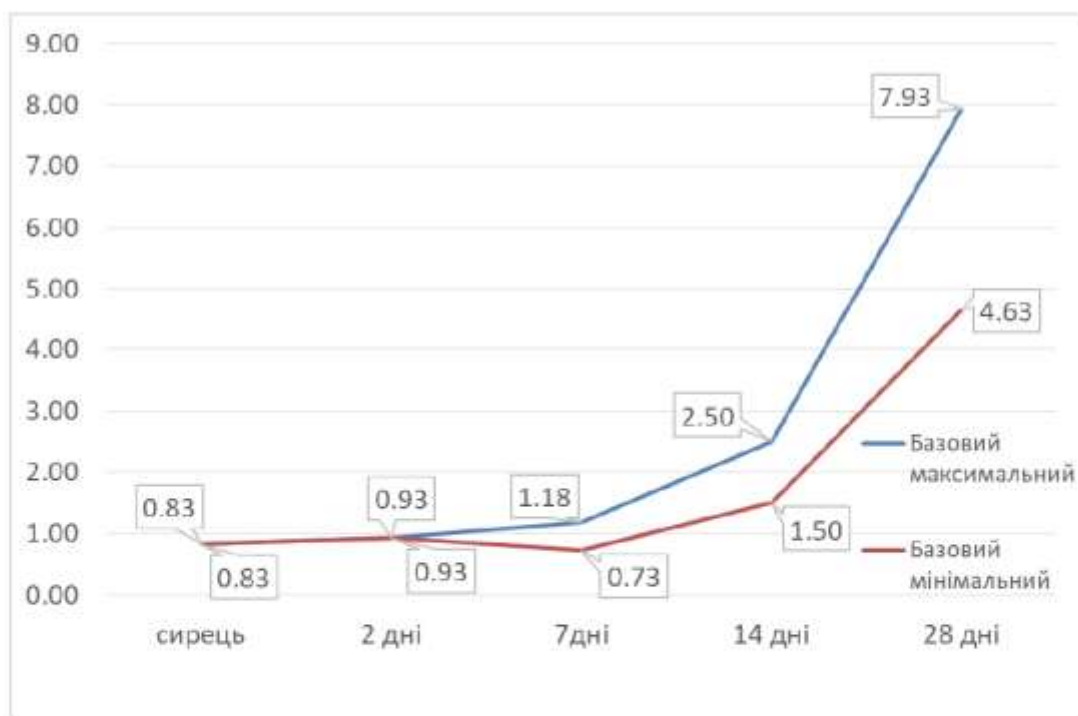
Дивлячись на ці графіки можна ще раз підтвердити попереднє твердження, що велика кількість добавки зменшує кінцеву міцність. В діапазоні від 2г до 4г добавки і від 0,5г до 2,5г води, міцність зразків найменша. Можна висунути деякі припущення, що в цьому діапазоні прореагував не увесь цемент, тому і міцність нижча.

Проекції на горизонтальну поверхню вказують, що при водопотребі матеріалу від 3г до 4 і кількості добавки від 0 до 2г міцність зразків є найбільшою. Більша кількість води і більша кількість цементу, тому більше прореагував цемент, отже маємо більшу міцність.

Зважаючи на всі ці результати можна побудувати в Microsoft Excel графіки набору міцності в екстремальних точках, тобто найбільша концентрація цементу, води і добавки, середня і мінімальна аналогічно (рисунок 5.15). За цими точками можна побудувати також графік з максимальним і мінімальним використанням цементу і води, для порівняння ефективності дії добавки (рисунок 5.16).



**Рисунок 5.15** Графік набору міцності (МПа) бурового шламоцементу по екстремальним точкам.



**Рисунок 5.16** Графік набору міцності зразків без добавки з максимальною і мінімальною витратою води і цементу.

При мінімальних значеннях всіх компонентів результати випробувать показують менші значення чим базові зразки без використання добавки. При максимальних значеннях ситуація виглядає трішки краще, тому що міцність виросла на 4,6%. Але використання такої кількості добавки не є рентабельним і підвищує міцність зовсім на малий відсоток.

**Висновок.** Основний вплив на міцність бурового шламоцементу мають кількість цементу та води, необхідної для реакції. Введення добавки в великих кількостях значно знижує міцність кінцевого продукту. Проте, при використанні як малих, так і великих доз добавки можна досягти незначного підвищення міцності. Однак при використанні малих доз добавки необхідно точно підібрати кількість води для забезпечення оптимальної реакції цементу та подальшого тверднення. Використання великих кількостей добавки є неекономічним, оскільки вона має високу вартість, а підвищення міцності буде мінімальним.

### 1.3 Залежність середньої густини від води, добавки і цементу

Однією з головних характеристик матеріалу є середня густина. Оскільки зразки були з дещо різною висотою, і за різним складом, то визначалася густина для кожного зразка по черзі.

**Таблиця 5.2** Результати дослідження середньої густини зразків бурового шламоцементу г/см<sup>3</sup>

№	Густина сирцю, г/см <sup>3</sup>	Густина 14 діб, г/см <sup>3</sup>	Густина 28 діб, г/см <sup>3</sup>
1	2.153	2.168	2.191
2	2.124	2.142	2.121
3	2.272	2.211	2.254
4	2.236	2.241	2.256
5	2.251	2.296	2.268
6	2.211	2.243	2.269
7	2.189	2.243	2.258

Продовження таблиці 5.2

8	2.206	2.278	2.242
9	2.262	2.245	2.251
10	2.309	2.227	2.228
11	2.265	2.256	2.258
12	3.383	2.248	2.250
13	2.221	2.260	2.277
14	2.233	2.256	2.277
15	2.256	2.253	2.285
Баз -	2.199	-	2.267
Баз=	2.253	-	2.282

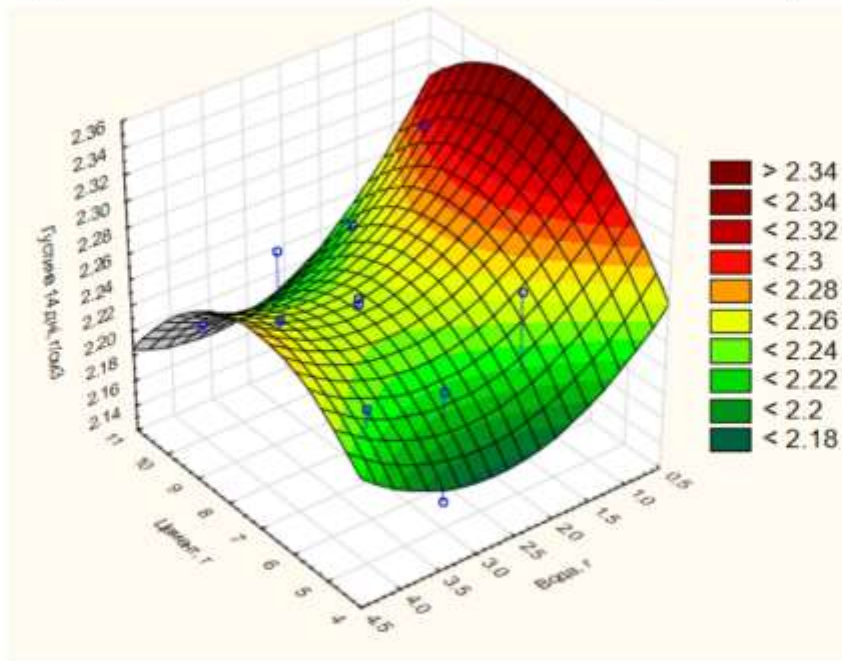
Визначаємо кореляцію факторів, що впливають на середню густину бурового шламоцементу у віці 14 і 28 діб.

**Таблиця 5.3** Визначені значення коефіцієнтів кореляції середньої густини бурового шламоцементу

Фактор	Міцність	
	14 діб	28 діб
Кількість цементу	0.072451	-0.304304
Кількість добавки	-0.515974	-0.059263
Кількість води	-0.615297	0.326260

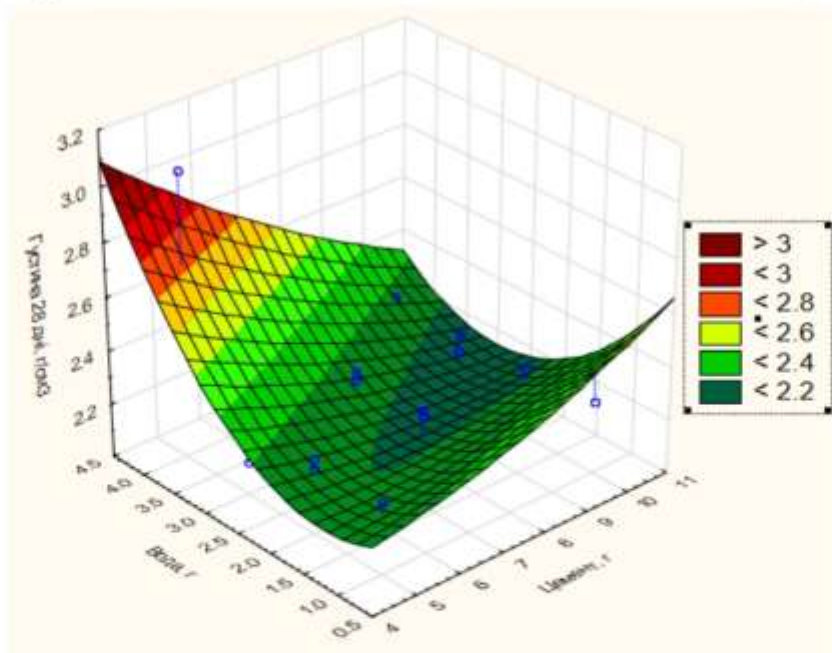
Аналізуючи таблицю 5.3 можна дійти до висновку, що високого негативного рівня кореляції на густину у віці 14 діб має вплив кількості добавки і води. Цемент не впливає на густину у віці 14 діб. У віці 28 діб залежність від цементу має середню негативну кореляцію, а добавка взагалі не впливає на густину. У віці 28 діб вода має позитивну середню кореляцію. На основі цих значень кореляцій будуються наступні графіки:

$$\rho_{\text{сер}} = 2.0006 + 0.0938x - 0.0674y - 0.0056x^2 - 0.0033xy + 0.0147y^2$$

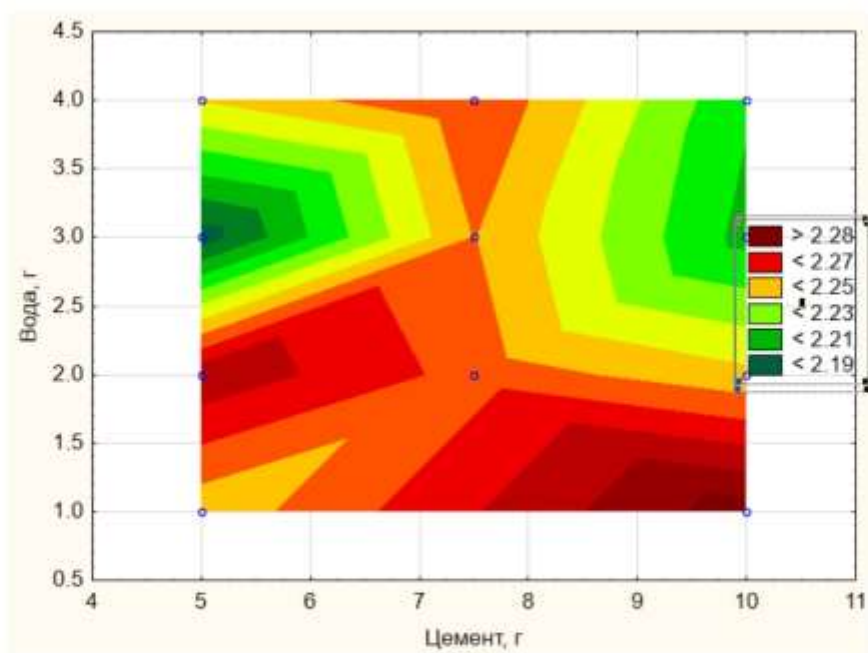


**Рисунок 5.17** Вплив цементу і води на середню густину бурового шламоцементу у віці 14 діб.

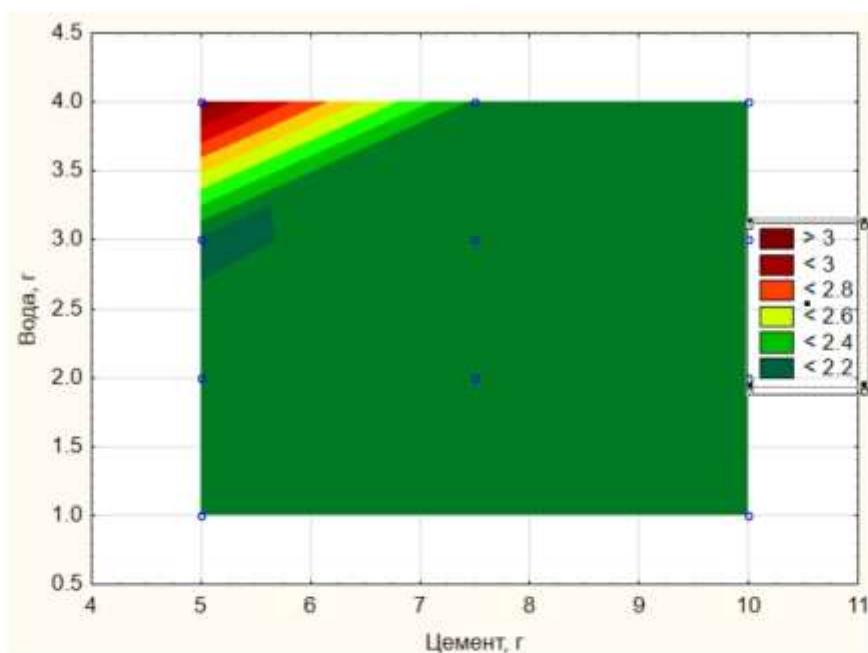
$$\rho_{\text{сер}} = 2.2218 + 0.0097x - 0.0317y + 0.0045xx - 0.0417xy + 0.0814yy$$



**Рисунок 5.18** Вплив цементу і води на середню густину бурового шламоцементу у віці 28 діб.



**Рисунок 5.19** Проекція поверхні залежності середньої густини бурового шламоцементу від кількості цементу і води на горизонтальну площину у віці 14 діб.



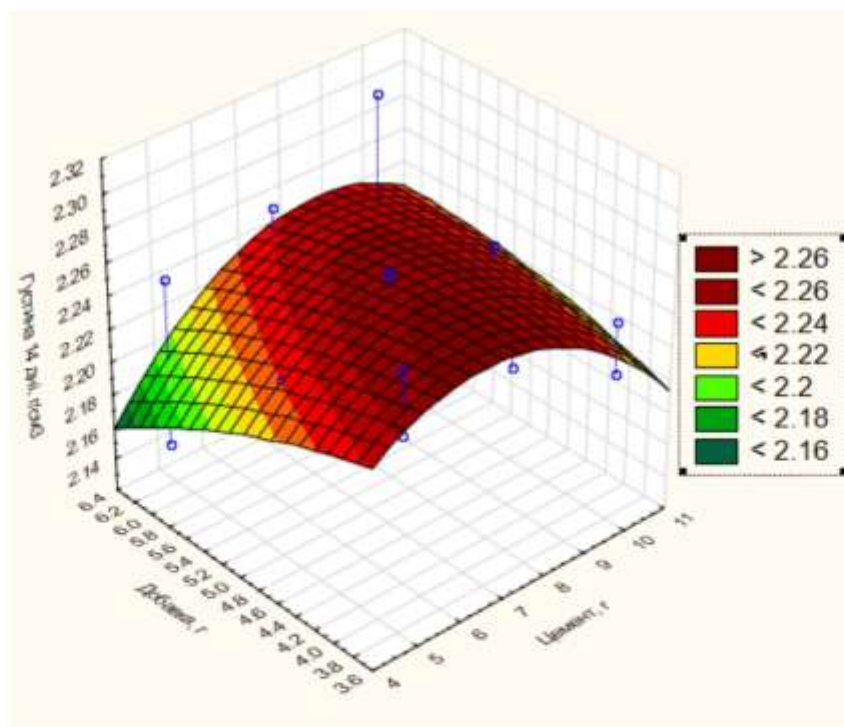
**Рисунок 5.20** Проекція поверхні залежності середньої густини бурового шламоцементу від кількості цементу і води на горизонтальну площину у віці 28 діб.

Згідно даних залежностей вода значно підвищує середню густину в кінцевий період твердіння. Вода заповнює пори і це являється одним з найбільших факторів для збільшення густини.

Спроєктувавши графіки 5.17 і 5.18 на горизонтальну площину отримали залежність і визначили, що цемент впливає значно менше чим вплив води на зразки у кінцевому періоді тверднення. Але цемент в свою чергу має найбільший вплив на густину у віці 14 діб, тому що він ще не повністю прореагував і потребує додаткової вологи. Під час гідратації цементу збільшується густина і міцність, тому у віці 14 діб він має найбільший вплив. У віці 28 діб гідратація цементу призупиняється і вже більший вплив на густину має вологість, тобто кількість води в порах і хімічно та фізично зв'язана вода.

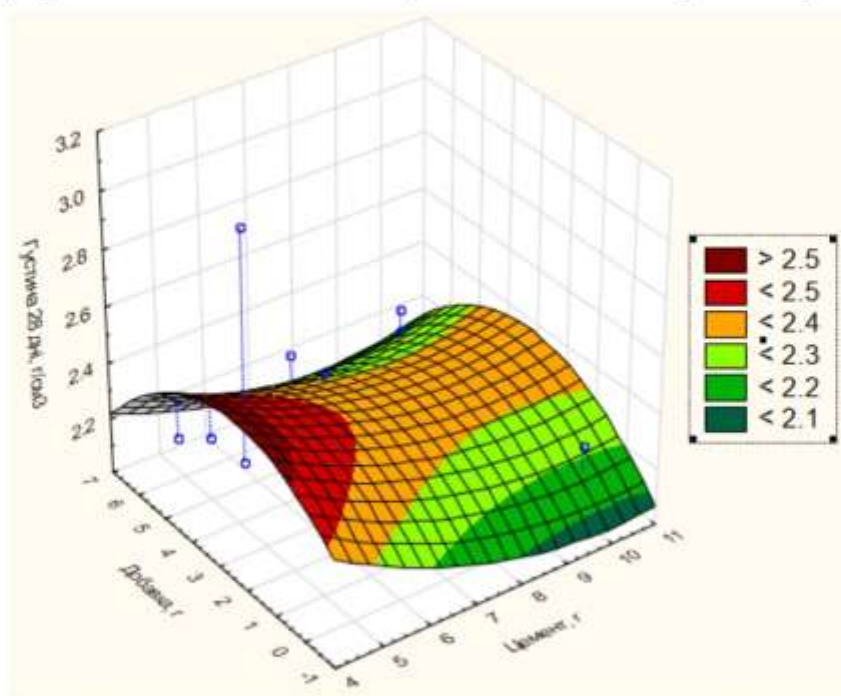
Визначивши, що вплив цементу і води на густину у віці 14 діб найбільший, а у віці 28 діб майже не впливає, то визначаємо залежність впливу добавки і цементу.

$$\rho_{\text{сер}} = 2.2014 + 0.0269x - 0.0109y - 0.0036x^2 + 0.0058xy - 0.0042y^2$$



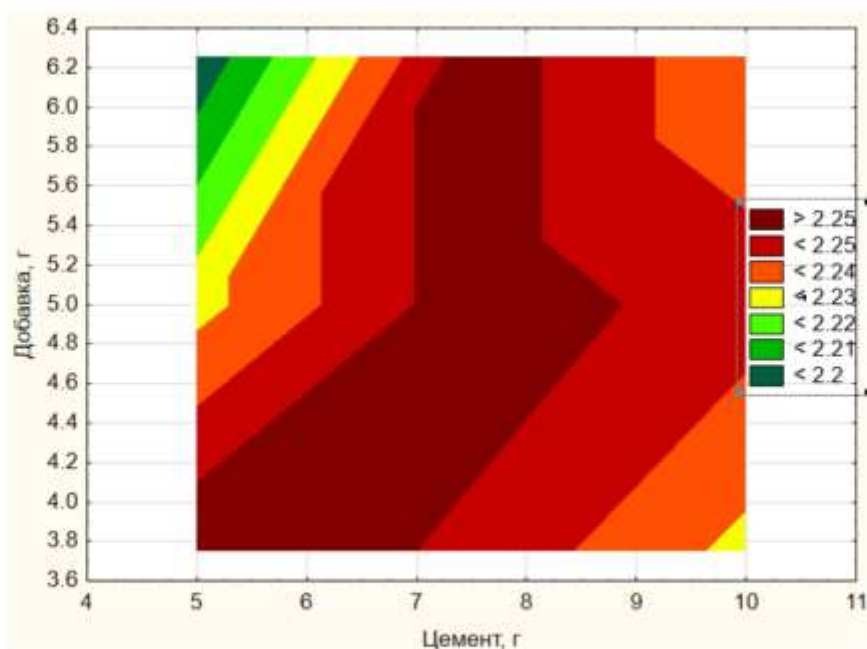
**Рисунок 5.21** Вплив цементу і добавки на середню густину бурового шламоцементу у віці 14 діб.

$$\rho_{сер} = 3.0162 - 0.1696x + 0.0627y + 0.0086x^2 + 0.0041xy - 0.0166y^2$$

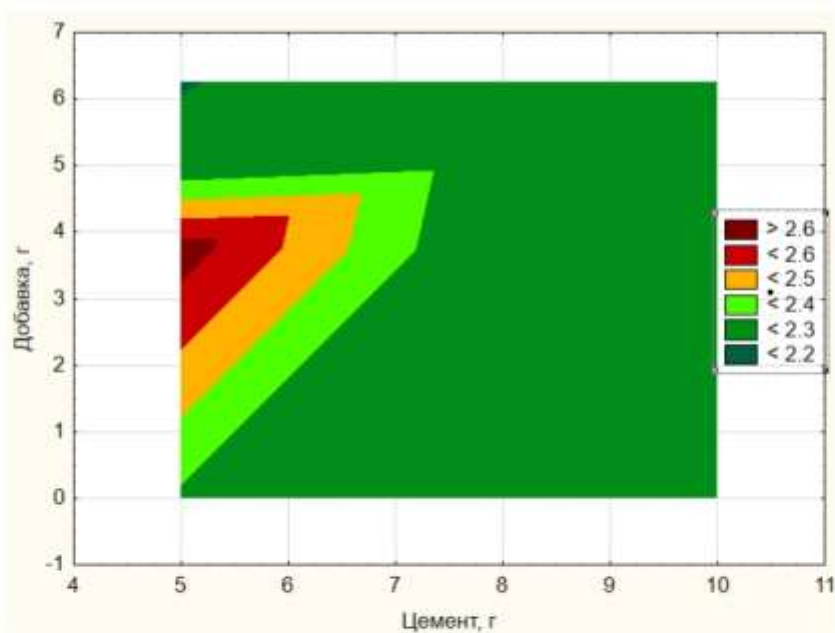


**Рисунок 5.22** Вплив цементу і добавки на середню густину бурового шламоцементу у віці 28 днів.

Як і в попередньому випадку з цементом і водою, добавка і цемент ведуть себе дуже схоже у віці 14 днів (рисунок 5.23, 5.21). В цьому віці цемент має максимальний вплив на середню густину з витратою в інтервалі від 6г до 8г. У віці 28 днів цемент на середню густину майже не впливає, а впливає кількість добавки. Добавка бралася, як водний розчин, тому характеристики схожі з використанням води, але є і певні відмінності, які додає саме добавка. Ці властивості полягають в тому, що розподіл середньої густини відбувається більш плавно і більш стабільно.



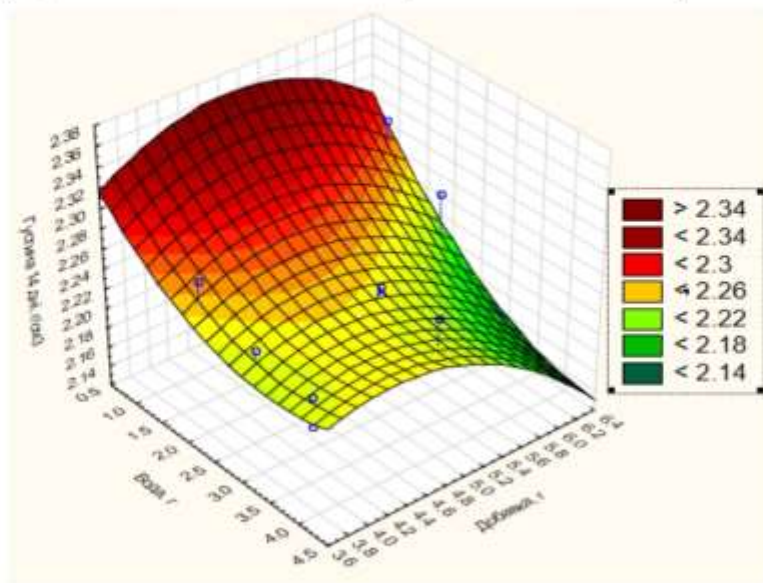
**Рисунок 5.23** Проекція поверхні залежності середньої густини бурового шламоцементу від кількості цементу і добавки на горизонтальну площину у віці 14 діб.



**Рисунок 5.24** Проекція поверхні залежності середньої густини бурового шламоцементу від кількості цементу і добавки на горизонтальну площину у віці 28 діб.

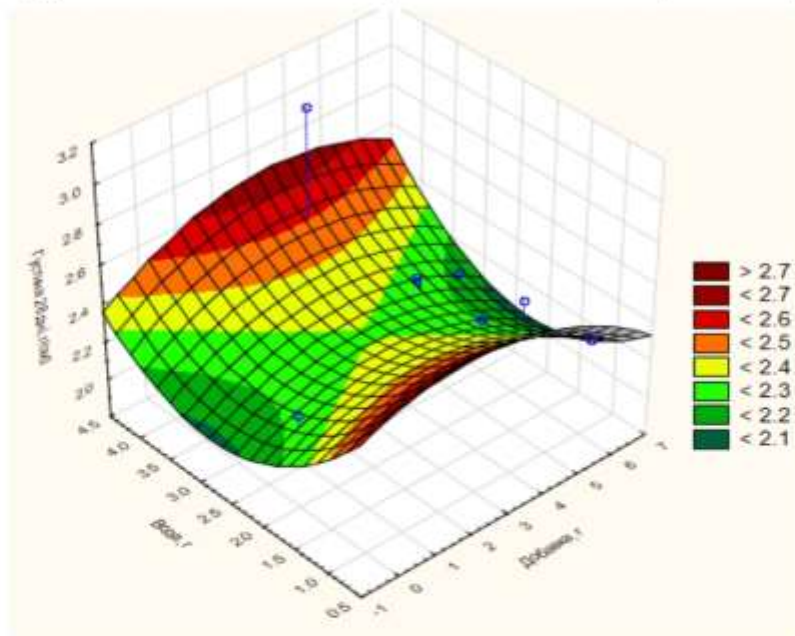
Для більшого розуміння впливу на густину потрібно побудувати ще одну залежність від води і добавки.

$$\rho_{\text{сер}} = 1.7603 - 0.0397x + 0.2561y + 0.0098x^2 - 0.0081xy - 0.0257y^2$$



**Рисунок 5.25** Вплив води і добавки на середню густину бурового шламоцементу у віці 14 діб.

$$\rho_{\text{сер}} = 2.897 + 0.0494x - 0.5264y - 0.0146x^2 + 0.0131xy + 0.0963y^2$$



**Рисунок 5.26** Вплив води і добавки на середню густину бурового шламоцементу у віці 28 діб.

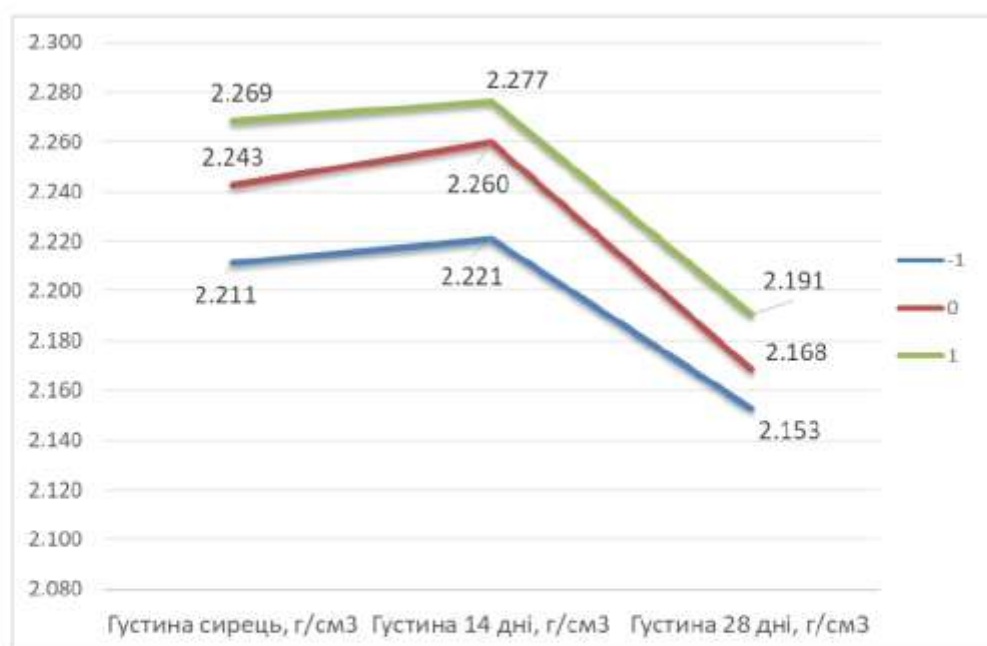
Подивившись на ці графіки можна побачити, що густина залежить від кількості води і добавки в зразках пропорційно.

**Висновок.** Середня густина є однією з ключових характеристик матеріалу. Істинну густину матеріалу, яку ми визначили в попередньому розділі, становить  $2,4 \text{ г/см}^3$ , що вказує на його найбільшу можливу густину у відсутності пор і пустот. Середня густина матеріалу залежить від його властивостей, зокрема від наявності пор і пустот. Вона також сильно залежить від вологості матеріалу, включаючи як зв'язану воду, так і воду в порах і пустотах. Наша добавка постачалась у вигляді концентрованого водного розчину, тому вплив води і добавки був дуже схожим. Найбільший вплив на середню густину мав цемент на 14-й день після змішування, коли він ще проходить процес гідратації і в зразках залишається достатньо води для цього процесу.

#### 1.4 Вплив середньої густини на міцність зразків

Підвищена кількість води і вологості негативно впливає на міцність бетону і бетонного каменю, знижуючи її. Оскільки наші зразки на основі цементного в'язучого, то йому теж характерна ця властивість. Для того щоб перевірити залежність міцності і середньої густини побудуємо і проаналізуємо графіки побудовані в MS Excel для екстремальних точок.

Подивившись на цей графік (рисунок 5.27) можна побачити незначне зростання середньої густини у віці 14 діб, а потім значне зменшення у віці 28 діб. Це пов'язано з гідратацією цементу, тому що для тверднення потрібна волога і зразки вбирали додаткову вологу з камери нормального тверднення. Під час цього вбирання зразки збільшували вологість і кількість води в порах та пустотах. Це в першу чергу відіграє ключову роль у формуванні середньої густини зразків. Але вже ближче до кінцевого терміну тверднення зразки перестають вбирати воду і зайву вологу. Оскільки цемент сформував міцний скелет в наших зразках, то він перестає вбирати зайву вологу, а використовує ту, що знаходиться в порах і пустотах. Гідратація цементу призупиняється, вологість зменшується і густина зразків також зменшується.



**Рисунок 5.27** Графік залежності середньої густини від часу тверднення в екстремальних точках.

### 1.5 Залежність міцності і середньої густини бурового шламоцементу в абсолютно сухому і водонасиченому стані

У віці 28 діб зразки були поміщені до сушарки. Після висихання зразків до сталої маси були визначені розміри і маса. Після цього зразки були відправлені у водонасичене середовище. Через 2 дні зразки дістали з води і визначили їхню масу. Зразок №7 не пройшов це випробування і розсипався у воді. Зразки увібрали певну кількість води, тому визначаємо їхнє водопоглинання.

**Таблиця 5.3** Результати визначення міцності, густини і водопоглинання зразків бурового шламоцементу

№	Водопоглинання, %	Густина вологих, г/см3	Густина сухих, г/см3	Міцність у водонасиченому середовищі, МПа	Міцність у віці 28 діб, МПа
1	5.548	2.134	2.022	8.90	8.29
2	6.317	2.157	2.028	5.12	4.88
3	4.957	2.234	2.128	7.87	7.75

Продовження таблиці 5.3

4	4.689	2.225	2.126	5.06	5.49
5	5.236	2.302	2.187	7.75	6.22
6	9.893	2.289	2.083	5.37	3.96
7	Розсипався	Розсипався	2.080	Розсипався	0.41
8	5.484	2.267	2.149	5.49	3.84
9	3.032	2.307	2.239	7.38	8.84
10	2.728	2.309	2.248	3.96	5.61
11	4.860	2.261	2.156	7.93	6.59
12	4.926	2.282	2.175	5.49	5.64
13	4.811	2.269	2.165	6.65	5.09
14	4.891	2.271	2.165	6.59	5.43
15	5.438	2.272	2.155	6.46	5.40
Баз-	3.450	2.250	2.175	7.93	7.93
Баз=	5.341	2.280	2.165	4.88	4.64

Проаналізувавши результати випробувань, можна сказати, що після водонасиченого середовища зразки №1-3; 5, 6, 8, 11-15 набрали до 10% міцності порівнюючи із зразками у віці 28 діб. Але у зразків №4, 7, 9, 10 відбулося значне зниження міцності від 8% до 30%. Базові зразки показали майже такі самі показники міцності, як і у віці 28 діб. Різниця показників між базовими зразками складає приріст міцності до 5% у зразка з найменшою кількістю води і цементу в складі. Цей приріст до 5% відбувся за рахунок реакції гідратації частинок цементу, що не встиг прореагувати через недостатню кількість води. Зразок, що мав достатню кількість води і цементу показав таку ж міцність, що і у віці 28 діб.

Оскільки в нас немає обладнання для дослідження хімічного складу бурового шлему, то ми не знаємо точного його складу і вмісту різноманітних солей. Доки не зрозумілий вплив солей на міцність та густину зразків і цим питанням займатимуться дослідники в майбутніх дослідженнях. Вміст солей у зразках можна побачити на рисунку 5.30. Ці солі почали виступати на поверхню у вигляді кристалів на деяких зразках вже у віці 7 діб в камері нормального тверднення і у водонасиченому середовищі у віці 28 діб.



**Рисунок 5.28** Кристалики солей на поверхні зразків виготовлених з бурового шламоцементу після водонасичення.

Значне зниження міцності деяких зразків відбулося через вміст значної кількості води і добавки під час замісу і формування. В їхній склад входила значна кількість води, а цементу значно менше чим потрібно для формування міцного каркасу. Після формування і твердіння зайва волога випаровується і утворює мікро-тріщини та пори, що значно знижують міцність. Добавка внесла позитивний внесок у формування зразків бурового шламоцементу в основному, що знизила внутрішні напруження в них. Тому зразки під час тверднення не тріскалися, а на базових зразках без додавання добавки було видно утворення тріщин (рисунок 5.28, 5.29).



**Рисунок 5.29, 5.30** Утворення тріщин у зразках бурового шламоцементу з найбільшим і найменшим вмістом води та цементу, без використання добавки.

## 5.5 Висновки

Найбільший вплив на міцність має кількісний вміст цементу та води, необхідної для забезпечення гідrataції. Використання добавки у великих концентраціях чинить основний вплив на кінцевий показник міцності зразків.

При цьому спостерігається певне зростання міцності як при мінімальному, так і при значному дозуванні добавки. Однак для малій кількості полімерної добавки потрібно підібрати правильну кількість води для оптимальної реакції цементу. Застосування надмірної кількості добавки не є економічно доцільним, оскільки добавка має велику вартість.

Перебування зразків у водному середовищі зумовило різні результати: в основному це збільшення міцності до 10%, а також деякі зразки показали втрату несучої здатності через свій склад та умови формування втратили від 8,1% до 29,9% від міцності при нормальному твердненні.

Істинна густину шламоцементного матеріалу складає  $2,4 \text{ г/см}^3$ . Це означає, що матеріал в абсолютно щільному стані, без пор і пустот має найбільшу густину.

Найбільшої міцності набрали зразки бурового шламоцементу №1-8,29 МПа, №3-7,75 МПа і №9-8,84 МПа у віці 28 діб. В цих зразках була найбільша кількість цементу, а полімерної добавки і води була найбільша і середня кількість.

Найменшої міцності набрали зразки бурового шламоцементу №6-3,96 МПа, №7-0,41 МПа, №8-3,84 МПа у віці 28 діб. У цих зразках була найбільша і середня кількість води та полімерної добавки, а цементу найменша кількість. В зразкові №7 була найбільша кількість цементу, але найменша кількість води і добавки.

Базові зразки набрали міцність №I-7,93 МПа і №II-4,64 МПа. У зразка №I була найбільша кількість води і цементу, а у зразка №II – найменша кількість води і цементу. В цих замісах добавка не використовувалася.

Добавка в усіх зразках забезпечила тріщиностійкість, оскільки в зразках, що були сформовані без добавки у віці 7 діб з'явилися перші тріщини.

Найбільшу середню густину мають зразки №12-2,277 г/см<sup>3</sup>, №13-2,277 г/см<sup>3</sup>, №14-2,285 г/см<sup>3</sup>. В цих зразках була середня кількість цементу, а добавка і вода в середній та максимальній кількості.

Найменшу середню густину показали зразки №1-2,191 г/см<sup>3</sup> і №2-2,121 г/см<sup>3</sup>. В зразкові №1 були всі залежні в максимальних значеннях. В зразкові №2 цементу була найменша кількість, а води і добавки найбільша.

Базові зразки набрали середню густину №I-2,267 г/см<sup>3</sup>, а №II-2,282 г/см<sup>3</sup>.

Найбільша вологість при формуванні була в зразків бурового шламоцементу №2, 3, 8, 10 від 12 до 12,5%. Найменша вологість формування була в зразків №6, 7 і в базових зразках №I і №II та складає близько 6-7%. Середня вологість формування для всіх зразків складає 9%.

Найбільше водопоглинання мають зразки №6 і №7 та складає близько 10%.

Найменшого водопоглинання мають зразки №9, 10 та складає 2,7-3,0%.

Середнє водопоглинання в усіх зразків складає 4,8%. В базовому зразкові з максимальною витратою цементу водопоглинання менше на 2,1% порівнюючи з аналогічним складом та максимальною кількістю добавки. Базовий зразок з мінімальною витратою цементу і води має водопоглинання на 4,55% менше ніж аналогічний склад з максимальною витратою добавки.

Випробувані зразки бурового шламоцементу у водонасиченому середовищі №1-3; 5, 6, 8, 11-15 набрали до 10% приросту міцності порівнюючи із зразками у віці 28 діб. Але у зразків №4, 7, 9, 10 відбулося значне зниження міцності від 8% до 30%. Базові зразки показали майже такі самі показники міцності, як і у віці 28 діб. Різниця показників між базовими зразками складає приріст міцності до 5% у зразка з найменшою кількістю води і цементу в складі.

На деяких зразках з'явилися кристалики солей. Але вплив їх на будівельні матеріали та головні характеристики ще не досліджений і залишається для майбутніх досліджень.

## РОЗДІЛ 6

### ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ

#### 6.1 Забезпечення належних умов праці для робітників

На всіх підприємствах, установах та в організаціях повинні забезпечуватися безпечні й здорові умови праці. Відповідальність за їх створення та підтримання покладається на власника підприємства або уповноважений ним орган. Робоче середовище, безпека виробничих процесів, стан машин, механізмів і обладнання, ефективність засобів колективного та індивідуального захисту, а також санітарно-побутові умови мають повністю відповідати вимогам чинного законодавства з охорони праці. Роботодавець зобов'язаний упроваджувати сучасні заходи техніки безпеки з метою запобігання виробничому травматизму та створення належних санітарно-гігієнічних умов, що знижують ризик виникнення професійних захворювань.

Роботодавець не має права змушувати працівника виконувати роботи, які становлять очевидну загрозу життю або здоров'ю, а також працювати в умовах, що не відповідають вимогам законодавства про охорону праці. Працівник має право відмовитися від виконання завдання, якщо на виробництві виникла небезпечна ситуація, яка загрожує його життю, здоров'ю, безпеці колег чи навколишньому середовищу.

У випадках, коли повністю усунути шкідливі або небезпечні умови праці неможливо, роботодавець зобов'язаний повідомити про це відповідний орган державного нагляду з охорони праці, який може надати тимчасовий дозвіл на виконання робіт у таких умовах. На власника або уповноважений ним орган також покладається обов'язок систематично проводити інструктажі з охорони праці та пожежної безпеки.

Право на безпечні та нешкідливі умови праці в Україні є одним із основоположних конституційних прав людини. Його реалізація забезпечується шляхом застосування комплексу правових, соціально-економічних,

організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів, що складають єдину систему охорони праці, контроль за якою здійснює держава.

Законодавство України у сфері охорони праці передбачає систему гарантій для працівників на всіх етапах трудових відносин: під час укладення, виконання та припинення трудового договору. Для окремих категорій працівників встановлюються додаткові гарантії у зв'язку з підвищеними вимогами до збереження їх здоров'я. До таких категорій належать особи, зайняті у шкідливих і небезпечних умовах, неповнолітні, жінки та працівники зі зниженою працездатністю.

Відповідно до статті 6 Закону України «Про охорону праці», умови трудового договору не можуть суперечити вимогам законодавчих та нормативних актів з охорони праці. Гарантії полягають у встановленні обов'язкових стандартів і норм безпеки, а також визначенні прав і обов'язків сторін щодо створення належних умов праці. Положення трудового договору, які погіршують становище працівника порівняно з вимогами законодавства, визнаються недійсними.

Важливим чинником дотримання безпечних умов праці є обізнаність працівників у питаннях охорони праці. Роботодавець зобов'язаний не лише проводити загальний інструктаж, а й інформувати працівника про наявні на робочому місці небезпечні та шкідливі фактори, можливі наслідки їх впливу на здоров'я, а також про передбачені пільги й компенсації за роботу в таких умовах.

Під час трудової діяльності працівники повинні отримувати інформацію про стан охорони праці на підприємстві, причини аварій, нещасних випадків і професійних захворювань, а також про заходи, вжиті для їх запобігання та усунення.

Працівник має право розірвати трудовий договір за власною ініціативою у разі порушення роботодавцем законодавства про працю або невиконання зобов'язань щодо забезпечення безпечних і нешкідливих умов праці. У такому разі роботодавець зобов'язаний звільнити працівника у строк, зазначений у заяві,

та виплатити вихідну допомогу, розмір якої визначається колективним договором, але не може бути меншим за середній заробіток за три місяці. У трудовій книжці обов'язково зазначаються підстава та причини звільнення.

Закон України «Про охорону праці» містить окремий розділ, присвячений організації та управлінню охороною праці на підприємствах. Система управління охороною праці передбачає створення спеціалізованих служб, упровадження сучасних технологій, дотримання вимог під час проєктування та реконструкції об'єктів, проведення лабораторних досліджень умов праці, атестацію робочих місць, організацію медичних оглядів і навчання працівників, а також розслідування та облік нещасних випадків і професійних захворювань.

Атестація робочих місць є комплексною оцінкою виробничих, соціально-економічних та трудових факторів, що впливають на здоров'я і працездатність працівників. Вона проводиться на всіх підприємствах, де використовуються технологічні процеси, обладнання або матеріали, які можуть бути джерелами небезпечних чи шкідливих факторів.

Для підвищення рівня охорони праці на підприємствах створюються фонди охорони праці, кошти яких використовуються виключно за цільовим призначенням. За їх рахунок здійснюються атестація робочих місць, забезпечення працівників засобами індивідуального захисту, проведення навчань і профілактичних медичних оглядів.

Працівники зобов'язані проходити обов'язкові медичні огляди та дотримуватися медичних рекомендацій. У разі ухилення від їх проходження роботодавець має право застосувати дисциплінарні заходи та відсторонити працівника від роботи без збереження заробітної плати, при цьому на час огляду за працівником зберігаються робоче місце та середній заробіток.

Усі заходи системи охорони праці спрямовані передусім на запобігання нещасним випадкам і професійним захворюванням, а також на розслідування, облік та відшкодування шкоди у разі їх виникнення. [23].

## 6.2 Вимоги до засобів індивідуального захисту

Засоби індивідуального захисту (ЗІЗ) призначені для зниження або повного усунення впливу небезпечних і шкідливих виробничих факторів на працівників, а також для запобігання виробничому забрудненню. Їх застосування є обов'язковим у тих випадках, коли забезпечити безпеку праці неможливо лише за рахунок конструктивних рішень обладнання, удосконалення технологічного процесу або використання засобів колективного захисту.

Роботодавець зобов'язаний забезпечити працівників сертифікованими засобами індивідуального захисту, які пройшли встановлену процедуру оцінки відповідності. Сертифікація підтверджує, що ЗІЗ відповідають вимогам нормативних документів і здатні ефективно захищати працівника від небезпечних та шкідливих факторів виробничого середовища. Вибір конкретних засобів здійснюється з урахуванням характеру робіт, умов праці та вимог безпеки для відповідного виробничого процесу.

Засоби індивідуального захисту повинні зберігати свої захисні властивості після прання, хімічного очищення та знезараження. Вони мають оцінюватися за захисними, гігієнічними, фізіологічними та експлуатаційними показниками, а також супроводжуватися інструкцією із зазначенням призначення, правил користування, умов зберігання та строку придатності.

Роботодавець зобов'язаний:

забезпечувати працівників засобами індивідуального захисту у встановлені строки та відповідно до чинних норм;

здійснювати дострокову заміну ЗІЗ, що стали непридатними не з вини працівника (втрата, пошкодження, крадіжка);

дотримуватися встановлених термінів перевірки, випробування та контролю справності технічних ЗІЗ (респіраторів, протигазів, страхувальних поясів тощо);

контролювати правильність використання та обов'язкове застосування виданих засобів захисту.

Працівники не допускаються до виконання робіт без необхідних засобів індивідуального захисту, а також у разі використання несправних або забруднених спеціального одягу та спорядження.

Відповідальність за своєчасне, повне забезпечення працівників ЗІЗ, їх перевірку та відповідність вимогам безпеки покладається на роботодавця. Якщо працівник не забезпечений справними та сертифікованими засобами індивідуального захисту згідно з установленими нормами, роботодавець зобов'язаний оплатити час простою та не має права вимагати виконання трудових обов'язків.

### **6.3 Вимоги до працівників щодо використання засобів індивідуального захисту**

Працівник зобов'язаний правильно та за призначенням використовувати засоби індивідуального захисту, видані роботодавцем у встановленому порядку. У разі відсутності необхідних ЗІЗ при виконанні робіт у шкідливих, небезпечних або складних температурних умовах працівник має право відмовитися від виконання трудових обов'язків до моменту усунення порушень, при цьому простій підлягає оплаті.

Працівник повинен:

бути ознайомленим із правилами забезпечення спеціальним одягом, взуттям та іншими засобами захисту відповідно до своєї професії та посади;

своєчасно здавати сезонні засоби індивідуального захисту на зберігання після завершення відповідного періоду їх використання;

проходити обов'язкові інструктажі та навчання щодо правильного застосування ЗІЗ, зокрема респіраторів, протигазів та інших спеціальних засобів;

негайно повідомляти роботодавця або відповідальну особу про виявлені несправності чи пошкодження засобів захисту;

своєчасно здавати ЗІЗ для прання, очищення, знепилення та дезінфекції;

не виносити засоби індивідуального захисту за межі підприємства або місця виконання робіт після закінчення робочого дня.

#### **6.4 Безпека під час будівництва шарів основи автомобільних доріг**

Усі машини, механізми, інструменти та виробниче обладнання повинні відповідати вимогам безпеки протягом усього періоду експлуатації. Небезпечні зони обладнання мають бути надійно огорожені, а засоби колективного захисту — функціонувати безперервно як у штатному режимі, так і в аварійних ситуаціях. Їх дія не повинна припинятися раніше, ніж буде усунуто небезпечний або шкідливий виробничий фактор.

Конструкція обладнання має унеможливити його самовільне переміщення, перекидання, падіння або опускання під час експлуатації. Устаткування, що працює на гідравлічній або пневматичній енергії, повинно бути сконструйоване так, щоб ризик, пов'язаний із цими видами енергії, був повністю виключений.

Контрольно-вимірювальні прилади повинні мати дійсну повірку, бути справними та регулярно перевірятися. Для вибухонебезпечних процесів необхідно передбачати автоматизовані системи регулювання та протиаварійного захисту, які забезпечують безпечну зупинку обладнання або переведення процесу в безпечний режим при відхиленні від допустимих параметрів.

Ремонтні роботи дозволяється виконувати лише після повного відключення обладнання, зняття тиску, зупинки рухомих частин і вжиття заходів проти їх випадкового запуску. На пускових пристроях обов'язково розміщують попереджувальні написи «Не вмикати — працюють люди».

Під час проектування та будівництва земляних шарів автомобільних доріг необхідно передбачати рекультивацию кар'єрів, облаштування водовідвідних систем і заходи щодо захисту ґрунтів та водойм від забруднення паливно-мастильними матеріалами.

Основними небезпечними факторами при зведенні земляного полотна є рухома дорожньо-будівельна техніка, електрообладнання, підземні комунікації, підвищений рівень шуму та вібрації, вихлопні гази машин, а також ризик перекидання техніки з насипів. Особливої уваги потребують роботи в гірській

місцевості, де існує небезпека зсувів і обвалів ґрунту. Небезпечні ділянки повинні бути огорожені та позначені відповідними знаками безпеки.

Роботи поблизу ліній електропередачі та підземних комунікацій дозволяється виконувати лише за наявності письмового дозволу відповідних експлуатуючих організацій і під постійним наглядом відповідальних осіб.

Під час роботи землерийної техніки сторонні предмети у ґрунті необхідно видаляти лише після повної зупинки машин і відведення людей у безпечне місце. Рух і зупинка техніки поблизу траншей допускаються тільки за межами призми можливого обвалення ґрунту.

Навантаження та розвантаження ґрунту транспортними засобами повинні виконуватися з дотриманням установлених відстаней, вантажопідйомності та правил сигналізації. Огляд і очищення піднятого кузова дозволяється проводити лише з землі із застосуванням інструментів із подовженими рукоятками та після встановлення надійних упорів.

Під час виконання робіт бульдозерами, скреперами, екскаваторами, катками та віброущільнювачами необхідно суворо дотримуватися вимог паспортів машин, забороняти роботу на перевищених ухилах, у несприятливих погодних умовах та за наявності несправностей. Усі роботи повинні виконуватися з дотриманням безпечних відстаней до країв насипів і зон можливого обвалення.

Зазначені вимоги спрямовані на мінімізацію виробничих ризиків, попередження травматизму та забезпечення безпечних умов праці під час будівництва автомобільних доріг.

### **6.5 Безпека під час улаштування верхніх шарів дорожнього покриття**

Вимоги з охорони праці під час улаштування верхніх шарів автомобільних доріг загалом відповідають вимогам, що встановлюються для основ дорожнього одягу. Особливу увагу слід приділяти роботам з асфальтобетонними сумішами, оскільки вони мають високу температуру і можуть спричинити термічні опіки

різного ступеня тяжкості. Усі операції необхідно виконувати обережно, з дотриманням встановлених технологічних процесів.

Працівникам забороняється виконувати роботи без використання засобів індивідуального захисту, зокрема спеціального одягу, взуття та захисних рукавиць. У пересувних побутових вагончиках, призначених для зберігання одягу та відпочинку персоналу, обов'язково повинна бути укомплектована аптечка для надання першої домедичної допомоги.

Металеві інструменти перед початком робіт необхідно підігрівати у спеціальних пересувних жаровнях. Забороняється нагрівання інструменту на відкритому вогні або багатті. Під час розвантаження асфальтобетонної суміші з автомобіля-самоскида в бункер асфальтоукладача працівники повинні перебувати на безпечній відстані не менше 1–2 м від бічних стінок техніки.

Очищення кузова автомобіля від налиплої асфальтобетонної суміші дозволяється виконувати лише з поверхні землі, використовуючи лопати або скрепки з подовженими ручками (довжиною понад 2 м). Для запобігання налипанню суміші внутрішню поверхню кузова самоскида необхідно попередньо змащувати дизельним паливом.

Під'їзд транспортних засобів до асфальтоукладача та від'їзд після вивантаження дозволяється виключно за сигналом машиніста або майстра. Рух без подачі звукового сигналу суворо заборонений.

Під час укладання арматури робітники зобов'язані користуватися захисними рукавицями для запобігання травмуванню рук. Забороняється перебування на обробному або вібраційному брусі бетоноукладача, а також розміщення сторонніх предметів на їхніх робочих поверхнях. Не допускається стояння на рельс-формах і їх очищення під час роботи машини. Також заборонено коригувати положення сталевих канатів під час руху завантажувального ковша або розподільного бункера.

Працівники, задіяні у виготовленні герметиків і гумобітумних мастик, крім спецодягу, повинні використовувати гумові рукавички, захисні окуляри та респіратори.

На вихлопних трубах двигунів внутрішнього згорання обов'язково встановлюються іскрогасники. У зоні розподілу плівкоутворюючих матеріалів забороняється куріння та використання відкритого вогню. На обладнанні та в межах робочої зони повинні бути розміщені відповідні заборонні знаки.

### **6.6 Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях**

У разі виявлення порушень вимог охорони праці або виникнення небезпечних умов для оточуючих працівник зобов'язаний негайно попередити інших осіб про загрозу. При виявленні оголених або обірваних електропроводів, пошкоджених кабелів, витoku нафтопродуктів чи запаху газу поблизу автомобільної дороги необхідно терміново повідомити майстра або відповідні аварійні служби.

У зимовий період за складних погодних умов (заметіль, сильна ожеледь тощо) працівник повинен залишити небезпечну зону та прямувати до найближчого безпечного місця або населеного пункту. У разі отримання попередження про грозу або сильний вітер швидкістю понад 15 м/с роботи необхідно припинити та покинути робочу зону. Забороняється ховатися під деревами або поблизу рухомих частин машин і механізмів.

У випадку загоряння пального, бітуму чи смол не дозволяється використовувати воду для гасіння, оскільки це може призвести до інтенсивного кипіння та розбризкування горючої рідини. Для ліквідації пожежі слід застосовувати пісок, землю або накривати осередок займання брезентом.

У разі нещасного випадку працівник повинен надати потерпілому першу домедичну допомогу, за необхідності викликати бригаду швидкої допомоги та повідомити адміністрацію і роботодавця.

### **6.7 Безпека від ураження електричним струмом**

Відповідно до вимог техніки безпеки під час експлуатації електроустановок працівники повинні мати базові знання про безпеку електричного струму, правила безпечної роботи та поведінки на об'єктах з

електрообладнанням. Кожен працівник має бути ознайомлений із прийомами надання першої допомоги при ураженні електричним струмом.

Особи з першим кваліфікаційним рівнем з електробезпеки проходять щорічну перевірку знань. Основними причинами електротравм є випадковий дотик до струмоведучих частин, несправність захисних засобів, пошкодження ізоляції кабелів, поява напруги на металевих частинах обладнання, помилкове вмикання установок, короткі замикання, удари блискавки та порушення роботи систем заземлення.

Електричний струм є особливо небезпечним чинником, оскільки він не має запаху, кольору чи видимих ознак. Його дія на організм людини може спричинити як зовнішні, так і внутрішні опіки, а також ураження життєво важливих органів. Найбільшу загрозу становить сила струму, що проходить через тіло людини, викликаючи судом, порушення дихання та серцевого ритму.

Небезпечна зона утворюється навколо обірваних електропроводів, що лежать на землі. Підходити до них ближче ніж на 8–10 м суворо заборонено. У разі ураження електричним струмом необхідно якомога швидше припинити його дію, оскільки тяжкість травми безпосередньо залежить від тривалості контакту.

Правила надання першої медичної допомоги при ураженні електричним струмом

Особа, яка надає допомогу, повинна протягом першої хвилини оцінити стан потерпілого, визначивши наявність свідомості, дихання та пульсу. Колір шкіри та дихання оцінюють візуально, а пульс перевіряють на сонній артерії. Якщо у потерпілого відсутні дихання та пульс, а шкіра має синюшний відтінок, це свідчить про стан клінічної смерті, що потребує негайного проведення штучного дихання та непрямого масажу серця.

Одночасно з наданням першої допомоги необхідно забезпечити виклик швидкої медичної допомоги, що повинна організувати інша особа, а не той, хто безпосередньо рятує потерпілого.

## **6.6 Пожежна безпека при будівництві автомобільних доріг**

Пожежна безпека є обов'язковою складовою виробничого процесу під час будівництва автомобільних доріг. Персонал повинен знати рівень пожежної небезпеки матеріалів, що застосовуються, правила їх зберігання та способи гасіння у разі займання.

На підприємствах наказами або інструкціями встановлюється відповідний протипожежний режим, який регламентує порядок куріння, використання відкритого вогню, проведення пожежонебезпечних робіт, правила руху транспорту, зберігання матеріалів та прибирання горючих відходів.

Працівники обов'язково проходять вступний, первинний, повторний, позаплановий і цільовий протипожежний інструктаж. Особи, які виконують роботи з підвищеною пожежною небезпекою, повинні проходити спеціальне навчання та щорічну перевірку знань.

Розігрів бітумів і смол слід здійснювати лише у справних котлах з негорючими кришками, не заповнюючи їх більш ніж на 75% об'єму. Місця варіння мають бути обладнані засобами пожежогасіння та захищені від атмосферних опадів.

У разі виникнення пожежі кожен зобов'язаний негайно повідомити пожежну службу, організувати евакуацію людей, вжити заходів щодо гасіння вогню та повідомити керівництво. За загрози життю необхідно першочергово забезпечити рятування людей та дотримання вимог безпеки під час ліквідації пожежі.

## ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ДОСЛІДЖЕННЯ

У межах даної кваліфікаційної роботи магістра виконано комплексний аналіз чинників, що зумовлюють експлуатаційні властивості бурового шламоцементу. Застосування методології планування факторного експерименту дало змогу встановити характер впливу ключових параметрів (дозування цементу, води та полімерної добавки) на показники міцності, вологості та середньої густини матеріалу, що дає можливість сформулювати висновки:

1. Найбільший вплив на міцність зразків з шламоцементу має кількість цементу та кількість води;
2. Найбільшу міцність отримали зразки бурового шламоцементу №1-8,29 МПа, №3-7,75 МПа і №9-8,84 МПа у віці 28 діб . найбільшу середню густину мають зразки №12, №13-2,277 г/см<sup>3</sup> , №14-2,285 г/см<sup>3</sup>. В цих зразках була середня кількість цементу, а добавка і вода в середній та максимальній кількості.
3. Використання дуже великої кількості добавки ( $\geq 10-12\%$ ) не є економічно доцільним, оскільки добавка має велику вартість, а підвищення міцності сягає до 5%;
4. Перебування зразків у водному середовищі зумовило збільшення міцності до 10%, а також деякі зразки показали втрату несучої здатності через свій склад та умови формування втратили від 8,1% до 30 % від міцності зразків при стандартному твердненні;
5. Найбільше водопоглинання мають зразки №6 і №7 та складає близько 10%
6. Базові зразки з максимальною витратою цементу мають водопоглинання менше на 2,1% порівнюючи з аналогічним складом та максимальною кількістю добавки.
7. Добавка в усіх зразках забезпечила тріщиностійкість, оскільки в зразках, що були сформовані без добавки у віці 7 діб з'явилися перші тріщини

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Аблєєва І.Ю. Дослідження складу та структури бурового шламу з метою обґрунтування вибору методу його подальшої утилізації / І. Ю. Аблєєва, Л. Д. Пляцук, О. П. Будьоний. // Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського.- 2014. - №2 (85) – 72-78с.
2. Болтянська Н. І. Технології наукових досліджень в технічному сервісі: посібник практикум / Н. І. Болтянська, І. Ю. Маніта. – Мелітополь: Люкс, 2020. – 136с
3. Будьоний О. П. Рекультивация шламових амбарів при бурінні нафтових і газових свердловин/ , І.Ю. Матюшенко// Науковий журнал Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. «Екологічна безпека», 2011. – с. 67–69.
4. Губій М. М. Проектування ремонту й підсилення будівель та споруд із застосуванням сучасних матеріалів і технологій: навч. посібник / М. М. Губій, Р. М. Ахмеднабієв. – Харків : Тимченко, 2007. – 192 с..
5. Дворкін Л.Й. Використання техногенних продуктів у будівництві: Навчальний посібник / Дворкін Л.Й., Дворкін О.Л., Пушкарьова К.К. та ін. - Рівне, 2019. - 340 с.
6. Дворкін Л.І., Гарницький Ю.В., Риженко І.Н. Дослідження золинніс як компонента сухих будівельних суишей // Матеріали ІV науково-практ. семінару «Структура, властивості та склад бетону». - Київ, 2007. - С. 47-53.
7. Дворкін Л. І. Ефективні золівмісні бетони і розчини: *Монографія*. – Рівне: НУВГП, 2022.- 419 с.
8. Дворкін Л. І., Будівельні в'язучі матеріали. – Рівне: НУВГП, 2019.- 622 с.
9. Додатки для бетонів і будівельних розчинів: навчальний посібник. – Ніжин: ТОВ «Видавництво «АспектПоліграф», 2010. – 228 с.
10. Напрямки покращення екологічної ситуації на підприємствах нафтогазового комплексу України. М. М. Орфанова – ЕНЕРГОСБЕРЕЖЕННЯ • ЕНЕРГЕТИКА • ЕНЕРГОАУДИТ, №4 (122) 2014. – С. 69 – 75

11. Коцкулич Я.С. Бурові промивні рідини / Я.С. Коцкулич, М.І. Оринчак, М.М. Оринчак. – Івано-Франківськ: «Факел», 2008. – 500 с..
12. Коровяка Є.А. Буріння свердловин: навч. посіб. / Є.А. Коровяка, В.Л. Хоменко, Ю.Л. Винников, М.О. Харченко, В.О. Расцветаєв; М-во освіти і науки України, Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка». – Дніпро: НТУ «ДП», 2021. – 292 с.
13. Довідник з нафтогазової справи / За заг. ред. В.С. Бойка, Р.М. Кондрата, Р.С. Яремійчука. – К.: Львів. 1996. – 620 с..
14. Карапузов Є. К. Матеріали і технології в сучасному будівництві: Підручник / Є. К. Карапузов, В. Г.Соха, Т. Є. Остапченко. – Київ : Вища школа, 2004. – 416 с.
15. Кривенко П. В., Пушкарьова Е. К., Гоц В. И., Ковальчук Г. Ю Цементи і бетони на основі паливних зол та шлаків: Монографія. – К.: ООО «ИПК Экспресс-Полиграф», 2012. – 258 с.
16. Кривенко П. В., Пушкарьова К. К., Барановський В. Б., Кочевих М. О., Гасан Ю. Г., Константинівський Б. Я., Ракша В. О. Будівельне матеріалознавство. – К: «Видавництво Ліра-К», 2012. – 624 с
17. Кашковський В. Зольні та золошлакові відходи як багатофункціональна сировина // Наука та інновації. — 2017. Золошлакові матеріали – вигідна альтернатива природним матеріалам для будівництва доріг. URL: [https://ppv.net.ua/uploads/work\\_attachments/Ash\\_Use\\_in\\_the\\_Road\\_Construction..](https://ppv.net.ua/uploads/work_attachments/Ash_Use_in_the_Road_Construction..)
18. Знешкодження та утилізація нафтошламів, що утворилися в процесах видобування та підготовки нафти / О. М. Терушак, О. Б. Гринишин, Ю. З. Знак, В. В. Кочубей. Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування. 2023. № 1 (27). С. 131–139.
19. Мислюк М.А. та ін. Буріння свердловин : Довідник : У 5 т. / М.А. Мислюк, І. Й. Рибчин, Р.С. Яремійчук. - К. : Інтерпрес ЛТД, 2002. Т.2.– Промивання свердловин. Відробка доліт.–303 с.

20. Знак Ю. З., Гринишин О. Б., Червінський Т. І. Вивчення складу та властивостей нафтошламів, утворених внаслідок переробки нафти. *Chemistry, Technology and Application of Substances*. 2023. Vol. 6, No. 1. С. 60–66.

21. Пукіш А.В. Дослідження хімічного складу та фізико-хімічних властивостей бурових стічних вод / А.В. Пукіш, Я.М. Семчук. Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. 2007. С. 141-144.

22. Поліник М.М. Технологія буріння нафтогазових свердловин / М.М. Поліник. – Полтава: Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, 2021 – 294 с..

23. Пилипенко П. Д. Трудове право України: Академічний курс: Підруч. для студ. горид. Т78 спец. вищ. навч. закл. / П. Д. Пилипенко, В. Я. Бурак, З. Я. Козак та ін.; За ред. П. Д. Пилипенка. — 2-е вид., перероб. і доп. — К.: Видавничий Дім «Ін Юре», 2006. — 544 с.

24. Дослідження складу та структури бурового шламу з метою обґрунтування вибору методу його подальшої утилізації І. Ю. Аблеєва, Л. Д. Пляцук, О. П. Будьоний. ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА. Вісник крну імені Михайла Остроградського. Випуск 2/2014 (85). С 72-78

25. ДСТУ Б В.2.7-319:2016 Суміші асфальтобетонні і асфальтобетон дорожній та аеродромний. Методи випробувань

26. ДСТУ Б В.2.7-264:2011 Заповнювачі пористі неорганічні для будівельних робіт. Методи випробувань

27. ДСТУ Б В.2.7-42-97. Методи визначення водопоглинання, густини та морозостійкості будівельних матеріалів і виробів.

28. ДСТУ Б В.2.7-46:2010 Цементи загально будівельного призначення. Технічні умови.

29. ДСТУ Б В.2.7-71-98. Щебінь і гравій із щільних гірських порід та відходів промислового виробництва для будівельних робіт. Методи фізико-механічних випробувань.

30. ДСТУ Б В.2.7-185:2009. Будівельні матеріали. Цементи. Методи визначення нормальної густоти, строків тужавлення та рівномірності зміни об'єму.
31. ДСТУ Б В.2.7-187:2009. Будівельні матеріали. Цементи. Методи визначення міцності на згин та стиск.
32. ДСТУ Б В.2.7-188:2009. Будівельні матеріали. Цементи. Методи визначення тонкості помелу.
33. ДСТУ Б В.2.7-214:2009. Бетони. Методи визначення міцності за контрольними зразками.
34. ДСТУ Б В.2.7-309:2016 Грунти укріплені в'язучим. Методи випробувань.
35. ДСТУ Б В.2.1-17:2009. Методи лабораторного визначення фізичних властивостей
36. ДСТУ Б В.2.7-239:2010 Будівельні матеріали. Розчини будівельні. Методи випробувань.
37. Аблесва І. Ю. Підвищення рівня екологічної безпеки при утилізації відходів нафтогазового видобутку: 21.06.01. – Суми, 2016, – 194 с
38. ALAYAKI, F. M., AL-TABBAA, A., & AYOTAMUNO, M. J. (2019). Use of drill cuttings ash as stabilising agent for selected niger delta soils for road construction. *Journal of Natural Sciences Engineering and Technology*, 16(2), 88–103. <https://doi.org/10.51406/jnset.v16i2.1852>.
39. Dhir, R. K., Csetenyi, L. J., Dyer, T. D., & Smith, G. W. (2010). Cleaned oil-drill cuttings for use as filler in bituminous mixtures. *Construction and Building Materials*, 24(3), 322–325. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2009.08.022>
40. Foroutan, M., Hassan, M. M., Desrosiers, N., & Rupnow, T. (2018). Evaluation of the reuse and recycling of drill cuttings in concrete applications. *Construction and Building Materials*, 164, 400–409. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.12.180>.
41. Wattana, P., Somdee, S., Lamsunthia, S., Wondee, J., & Chonchirdsin, S. (2022). The Pilot Recycled Drill Cuttings Road: Utilisation of Onshore Drill Cuttings

Waste for Road Application. SPE Asia Pacific Oil & Gas Conference and Exhibition. <https://doi.org/10.2118/210748-ms.39>

42. Guzman, J. H. (1999). Enhanced Drill Cuttings Analysis for Drill-in Fluids Design. Latin American and Caribbean Petroleum Engineering Conference. <https://doi.org/10.2118/53947-ms> Тейлор Х. Химия цемента: пер. с англ. – М.: Мир, 1996. – 184 с.

43. Foroutan, M., Hassan, M. M., Desrosiers, N., & Rupnow, T. (2018). Evaluation of the reuse and recycling of drill cuttings in concrete applications. *Construction and Building Materials*, 164, 400–409. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.12.180>

44. Mendaliyeva, D. K., Kunasheva, Z. Kh., & Yakupova, J. B. (2014). Development of the Structure of Road-Construction Materials with the Use of Drilling Cuttings. *Eurasian Chemico-Technological Journal*, 17(1), 75. <https://doi.org/10.18321/ectj196>.

45. Bondar V.O. Experimental study of properties of heavy concrete with bottom ash from power stations / Victor Bondar, Volodymyr Shulgin, Oksana Demchenko, Ludmila Bondar // MATEC Web of Conferences 116, 02007 (2017) DOI: 10.1051/mateconf/20171160200.

46. Bieliatynskiy, A., He, Yu., Pershakov, V., Akmalidina, O., & Krayushkina, K. (2022). The study of the effectiveness of the use of ash and slag in the construction of road pavement during maintenance. *Scientific Horizons*, 25(8), 75-84. [https://doi.org/10.48077/scihor.25\(8\).2022.75-84](https://doi.org/10.48077/scihor.25(8).2022.75-84).

47. Drilling muds. (2015). *Petroleum Engineer's Guide to Oil Field Chemicals and Fluids*, 1–61. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-803734-8.00001-1>.

48. Aitcin, P.C. "The Art and Science of Durable High-Performance Concrete." // *Proceedings of the Nelu Spiratos Symposium. Committee for the Organization of CANMET ACI Conferences*. – 2003. – P. 69-88.

49. Sergeevich Vlasov, A., & Georgievich Pugin, K. (2020). Use of Drill Cuttings for Road Building. *KnE Materials Science*. <https://doi.org/10.18502/kms.v6i1.8044>.

50. Sergeevich Vlasov, A., & Georgievich Pugin, K. (2020). Use of Drill Cuttings for Road Building. *KnE Materials Science*. <https://doi.org/10.18502/kms.v6i1.8044>
51. Malhotra, V.M., and P.K. Mehta. High-Performance, High-Volume Fly Ash Concrete. *Supplementary Cementing Materials for Sustainable Development*. Ottawa, Canada, 2002. – 101 pp.
52. M. Thomas Optimizing the use of fly ash in concrete // *Concrete Thinking/Potland Cement Associations*. – 2007. – P. 1-24.
53. P. Kumar Mehta High-performance, high-volume fly ash concrete for sustainable Development. - *International Workshop on Sustainable Development and Concrete Technology*. – 2004. – 5. P. 3-14.
54. Samarin A., Munn, R.L., Ashby, J.B. Australian experience with flying ash in concrete: applications and opportunities // *fly ash technical note*. – 2009. – 8. – P. 1-3.
55. Mishra, S., Dwivedi, S.P., Singh, R.B. (2010), “A Review on Epigenetic Effect of Heavy Metal Carcinogens on Human Health”, *The Open Nutraceuticals Journal*, vol. 3, pp. 188–193.