

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:

«Дослідження властивостей будівельних розчинів з використанням відходів виробництва»

Виконав: А.М. Тертишний

студент групи 601-БТ

спеціальності 192 – будівництво та цивільна
інженерія, ОП «Технології будівельних
конструкцій, виробів і матеріалів»

Керівник О.М. Гукасян

Завідувач кафедри О.В. Семко

Рецензент Ю.О. Побуховська

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ	5
1.1. Будівельні розчини: їх класифікація та призначення.....	5
1.2. Вимоги до матеріалів для будівельних розчинів	7
1.3. Основні принципи підбору складу розчину	9
1.4. Штукатурні розчини	15
1.5. Розчини та суміші декоративні.....	19
1.6. Спеціальні штукатурні розчини.....	24
Узагальнена нормативна прив'язка	26
1.7. Вапно для будівельних розчинів	26
1.8. Машини розчинозмішувальні	30
1.9. Обладнання для змішування розчинів	32
РОЗДІЛ 3. МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ.....	37
3.1. План експерименту	37
3.2. Методи досліджень будівельних розчинів	39
3.3. Визначення якості цементу	43
3.4. Визначення якості піску	44
3.5. Якість добавки	44
РОЗДІЛ 4. ХАРАКТЕРИСТИКА ВИХІДНИХ МАТЕРІАЛІВ	46
4.1. Оцінка якості цементу	46
4.2. Оцінка якості дрібного заповнювача.....	46
4.2. Характеристики добавки (відходу виробництва)	47
РОЗДІЛ 5. ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДІВ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ...	48
5.1. Витрати матеріалів	48
5.2. Аналіз впливу добавки на властивості будівельного розчину	48
5.2.1. Міцність зразків будівельного розчину (7 діб)	50
5.2.2. Міцність зразків будівельного розчину (28 діб)	54
5.2.3. Розшаровування розчинової суміші	58

5.2.4. Водоутримуюча здатність суміші розчину.....	62
РОЗДІЛ 6. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ.....	67
6.1. Бетонні роботи.....	67
6.2. Виконання будівельних робіт.....	68
Безпека при роботі з електроінструментом і механізмами.....	73
6.3. Вимоги до робочих місць.....	74
ВИСНОВКИ.....	76
ЛІТЕРАТУРНІ ДЖЕРЕЛА.....	78

ВСТУП

Нинішній стан будівельної галузі характеризується значними обсягами споживання різноманітних ресурсів, які систематизуються за типом вихідної сировини, технологічними особливостями виготовлення та функціональним використанням [1, 2]. Враховуючи стратегічну важливість житлового сектора, зокрема тенденцію до розвитку малоповерхової забудови, виникає потреба у трансформації виробничої структури та адаптації ринку збуту будівельної продукції до нових вимог [3, 4].

Прогрес у науковому супроводі розробки будівельних розчинів відкриває можливості для прецизійного регулювання параметрів матеріалів [5, 6]. Це дозволяє ефективно впроваджувати принципи енерго- та ресурсозбереження, гарантуючи при цьому високу якість кінцевих виробів відповідно до вимог чинних нормативних документів у галузі будівництва та енергоефективності [4, 7]. Відповідно, вказана проблематика залишається однією з найбільш пріоритетних у сфері технологій будівельного виробництва.

Подальша модернізація галузі пов'язана з оновленням техніко-технологічної бази, масштабною автоматизацією та механізацією виробничих циклів [2, 8]. Важливим вектором розвитку є розширення асортименту економічно вигідних та зручних у використанні розчинів із покращеними експлуатаційними властивостями, що регламентуються гармонізованими європейськими стандартами та чинними ДСТУ [6, 9]. Ключова роль відводиться комплексному освоєнню сировинних ресурсів, інтеграції у виробництво вторинної сировини та побічних продуктів промисловості відповідно до принципів сталого розвитку [1, 7]. Окрім того, територіальне розміщення потужностей галузі потребує оптимізації з врахуванням особливостей розвитку економіки та потреб того чи іншого регіону України для повного забезпечення потреб будівельно-монтажних робіт [3, 4].

РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

1.1. Будівельні розчини: їх класифікація та призначення

Під терміном *будівельні розчини* [10–12] слід розуміти як раціонально підібрані композиції, що формуються шляхом гомогенізації чітко дозованих компонентів: неорганічних в'язучих речовин, дрібнозернистих заповнювачів, рідини (води), а також модифікуючих добавок (хімічних реагентів або тонкодисперсних наповнювачів) за необхідності. У результаті процесів гідратації та твердіння ці суміші трансформуються у міцний штучний конгломерат, здатний забезпечувати монолітне з'єднання конструктивних елементів будівель, а також виконувати захисні чи декоративно-оздоблювальні функції [11, 13].

Класифікація за функціональним використанням

Специфіка застосування розчинів обумовлена технічними характеристиками споруд та умовами їх подальшої експлуатації. Виділяють такі основні групи [12, 14]:

Мурувальні: призначені для зведення цегляних та кам'яних конструкцій.

Монтажні: для герметизації та замонолічування стикових з'єднань у збірному залізобетоні.

Влаштувальні: для створення основи (стяжки) під покрівельні матеріали або підлогові покриття.

Оздоблювальні: для штукатурних робіт та нанесення декоративних шарів.

Спеціалізовані: для виконання робіт з особливими вимогами (гідроізоляційні, теплоізоляційні, хімічностійкі тощо).

Систематизація за фізико-хімічними ознаками

За складом та технічними параметрами матеріали диференціюють за такими критеріями [10, 12]:

За густиною (у сухому стані): виділяють важкі розчини (із показником понад 1500 кг/м³) та легкі (менше 1500 кг/м³).

За типом в'язучої речовини [11, 13]:

Прості: базуються на одному компоненті (цементні, гіпсові або вапняні).

Складні (комбіновані): поєднують кілька видів в'язучих (зокрема, цементно-вапняні, вапняно-зольні або цементно-глиняні суміші).

Критерії якості та технічні характеристики

Ефективність застосування розчинів оцінюється через систему показників, що поділяються на дві категорії [10, 14, 15]:

Для сумішей у стані готовності: рівень рухливості, здатність до утримання вологи та стійкість до розшарування.

Для затверділого матеріалу: межа міцності на стиск (марка) та показник морозостійкості.

Поділ розчинних сумішей на відповідні марки за критерієм їхньої рухомості (зокрема для мурувальних робіт) наведено у табл. 1.1 [12, 15].

Таблиця 1.1

Марки розчинної суміші

Марка	Рухомість суміші, см	Призначення розчинної суміші
П4	1 - 4	Бутова кладка, малорухлива суміш, яка потребує вібрування для укладки
П8	4 - 8	Влаштування кладки з цегли та каменів, встановлення стін з великих панелей і блоків, збільшення горизонтальних і вертикальних швів у стінах панелей та блоків, фінішні роботи.
П12	8 - 12	Для кладка із рядової цегли та всіх різновидів керамічних каменів, для облицювальних та штукатурних робіт
П14	12 - 14	Призначенні для усунення порожнин при буртовій кладці

Система стандартизації передбачає класифікацію будівельних розчинів за границею міцності на стиск, що відображається у відповідних марках: від М4 до М200 [16, 17]. Показник міцності на осьовий стиск є базовим параметром, який підлягає обов'язковій регламентації та моніторингу на всіх етапах будівництва [17, 18].

Для матеріалів, що експлуатуються в умовах циклічного температурного впливу (заморожування та відтавання) за високої вологості, критично важливим

є контроль морозостійкості. Встановлено наступний діапазон марок за цим показником: від F10 до F75 [16, 19].

Нормативні вимоги до властивостей суміші:

Здатність утримувати вологу: у лабораторних умовах цей показник повинен бути не менше 90% (для зимового періоду) та 95% (для літнього сезону). Безпосередньо на об'єкті допускається зниження цього значення, проте воно повинно бути не меншим за 75% від лабораторного еталона [16, 20].

Стабільність структури: допустима межа розшаровуваності суміші обмежена 10% [17, 20].

Технологія приготування та точність дозування:

Процес виготовлення розчину вимагає суворого дотримання масових пропорцій компонентів. Виняток становлять вода, рідкі модифікатори та пористі заповнювачі, які дозволено дозувати за об'ємом [16, 18]. За граничні відхилення при дозуванні встановлено:

$\pm 2\%$ – для в'язучих речовин, води та активних добавок;
 $\pm 2,5\%$ – для заповнювачів [16, 20].

При виконанні робіт у зимовий період мінімально допустима температура готової суміші становить $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$ [18, 21]. При цьому термічна обробка води для замішування обмежена верхньою межею у $80\text{ }^{\circ}\text{C}$, щоб уникнути передчасного тужавлення в'язучого [17, 21].

1.2. Вимоги до матеріалів для будівельних розчинів

Для приготування будівельних розчинів необхідно застосовувати матеріали, що відповідають вимогам чинних нормативних документів. Сумарна питома активність природних радіонуклідів у сировині, яка використовується, не повинна перевищувати граничних значень, установлених для відповідного виду (класу) будівництва [1].

Як в'язучі матеріали для виготовлення будівельних розчинів допускається застосовувати такі види:

1. **Клінкерні цементи загальнобудівельного призначення**, що відповідають вимогам нормативного документа [8], переважно типів III, IV і V. Марку цементу призначають залежно від проектної марки розчину та умов експлуатації будівель і споруд. Використання цементів типів I та II допускається лише за наявності спеціального технічного обґрунтування [8].

2. **Низькоактивні безклінкерні композиційні в'язучі** згідно з вимогами [9], які отримують шляхом спільного подрібнення гранульованого доменного шлаку з вапном та відходами металургійної, хімічної й інших галузей промисловості. Такі в'язучі випускають марок 50, 100, 150, 200 і 250 [9]. Будівельні розчини та бетони на їх основі не рекомендується застосовувати в конструкціях, що зазнають систематичного попереминого заморожування і відтавання, а також циклів зволоження та висихання [9]. Для підвищення морозостійкості допускається введення портландцементу.

Початок тужавлення низькоактивних безклінкерних в'язучих повинен наставати не раніше ніж через 45 хв, а завершення – не пізніше ніж через 24 год від моменту замішування. Тонкість помелу визначається залишком на ситі № 008, який не повинен перевищувати 10 % маси проби [9].

3. **Вапно**, що застосовується для виготовлення змішаних мурувальних і опоряджувальних розчинів, повинно відповідати вимогам нормативного документа [10], а **гіпс** – вимогам стандарту [11].

4. Для виготовлення **кольорових цементно-піщаних штукатурних розчинів** необхідно застосовувати кольорові цементи відповідно до [12], а також природні або штучні пігменти, що відповідають вимогам [13, 14].

5. Залежно від виду та функціонального призначення будівельних розчинів використовують різні типи **заповнювачів**.

Як заповнювач у штукатурних розчинах слід застосовувати пісок для будівельних робіт із модулем крупності від 1,0 до 2,2. Вміст зерен розміром понад 2,5 мм у таких пісках не допускається, а для розчинів опоряджувального шару граничний розмір зерен не повинен перевищувати 1,25 мм [1].

Для декоративних розчинів дозволяється використовувати спеціальні заповнювачі, зокрема миті піски, а також крихту подрібнених гірських порід (гранітну, мармурову, керамічну, скляну тощо) [1].

б. Для одержання рухомих, однорідних і стійких до розшаровування розчинних сумішей, а також для регулювання процесів тужавлення і тверднення, підвищення міцності та морозостійкості до їх складу вводять різні види **хімічних добавок** (пластифікуючі, повітровтягуючі, прискорювачі або сповільнювачі тужавлення, протиморозні тощо), застосування яких повинно відповідати вимогам чинних нормативних документів [1].

Застосовувані добавки не повинні спричиняти негативних наслідків у процесі експлуатації будівель і споруд, зокрема корозії матеріалів, утворення висолів або шкідливого впливу на здоров'я людей [1].

Для підвищення якості та ефективності будівельних розчинів, особливо цементних, широко застосовують неорганічні пластифікуючі добавки у вигляді високодисперсних матеріалів, таких як вапно, глина, цементний пил електрофільтрів, зола-виносу та золошлакові суміші [1].

1.3. Основні принципи підбору складу розчину

Процедура розрахунку складу будівельних розчинів [22], призначених для адаптації експлуатаційних характеристик розчину з метою ефективного зведення кам'яних конструкцій, монтажу стінових блоків, панельних елементів тощо, ґрунтується на застосуванні емпіричної залежності. Зазначена формула дає змогу спрогнозувати показник міцності матеріалу після закінчення нормативного терміну тверднення (28 діб) за умови дотримання стандартного температурно-вологісного режиму:

$$P = \frac{R_b Q_b}{1000} (763 + 2,4 R_b Q_b - 0,002 R_b^2 Q_b^2) \quad (1.1)$$

де R_b – активність в'язучого, кг/см²;

Q_b – витрати в'язучого на 1 м³ піску, кг.

Результати експериментальних випробувань підтверджують, що фактичний об'єм готового розчину є меншим за об'єм піску, використаного для його приготування. Зазначена закономірність обумовлює те, що коефіцієнт виходу розчину, який визначається як відношення об'єму готової суміші до об'єму вихідного піску, завжди має значення менше одиниці [22, 23].

Для визначення фактичної витрати в'язучої речовини на 1 м³ розчинної суміші питому витрату в'язучого на 1 м³ піску необхідно поділити на відповідний коефіцієнт виходу. Узагальнені значення, необхідні для виконання таких розрахунків, наведено в табл. 1.2, сформованій на основі багаторічних лабораторних і виробничих досліджень [22].

У випадках застосування в'язучих речовин, фактична активність яких не відповідає нормативним значенням, наведеним у табл. 1.2, розрахунок витрати компонентів на одиницю об'єму піску здійснюють за уточненою залежністю:

$$Q_{\text{вф}} = \frac{R_{\text{в}} Q_{\text{в}}}{R_{\text{вф}}}, \quad (1.2)$$

де $R_{\text{в}} Q_{\text{в}}$ – значення приймають за табл. 1.2 для даної марки розчину.

Таблиця 1.2

Витрата в'язучої речовини для будівельного розчину

Галузь застосування	Розчин	В'язуча речовина кг/м ³
Надземні конструкції для приміщень з вологістю повітря до 60%, фундаменти для маловологих ґрунтів.	Цементно-вапняний	75
	Цементно-глиняний	100
Те саме стосується приміщень з вологістю повітря понад 60% та фундаментів у вологих ґрунтах.	Цементно-вапняний	100
	Цементно-глиняний	125

Витрата в'язучої речовини на 1 м³ піску за природної вологості 3–7 % залежно від умов експлуатації будівлі не повинна бути нижчою за мінімальні значення, наведені у табл. 1.2 [23, 24]. Відповідно до чинних нормативних вимог,

зазначені значення є обов'язковими при проектуванні складу розчинів для несучих і огорожувальних конструкцій.

У табл. 1.3 наведено систематизовані показники витрат компонентів для складних розчинів (цементно-вапняних та цементно-глиняних), а також витрат піску в рихлопуккому стані за умови його нормативної вологості (3–7 %) [22]. У разі виготовлення розчинів без використання пластифікуючих добавок (вапна або глини) кількісні параметри в'язучої речовини визначаються за результатами лабораторних випробувань з обов'язковим урахуванням коефіцієнта виходу готової розчинної суміші.

При застосуванні кам'яних матеріалів з високим рівнем водопоглинання в умовах жаркого сухого клімату витрата вапняного тіста може зрости у 1,5 рази.

Для підвищення ефективності використання ресурсів та зменшення витрат на високоякісні марки цементу доцільним є введення до складу розчинів активних мінеральних добавок (АМД), зокрема мелених гранульованих доменних шлаків або золи-виносу [25, 26]. Оптимальна частка АМД визначається типом і активністю основного в'язучого, а також функціональним призначенням розчину, і має підтверджуватися експериментальними дослідженнями. Зокрема, застосування золи-виносу у літній період допускається для мурувальних розчинів на основі портландцементу класів міцності 32,5–42,5 (аналог марок 300–400) у кількості до 20 % від маси в'язучої речовини [26, 27].

Розрахунок необхідного об'єму неорганічних пластифікаторів (у вигляді вапняного або глиняного тіста) на одиницю об'єму піску здійснюється за наступною залежністю. Кількість неорганічних пластифікаторів (вапняного чи глиняного тіста) на 1 м³ піску визначають за формулою, м³:

$$V_q = 0,017(1 - 0,002Q_b), \quad (1.3)$$

де Q_b – витрата в'язучого на 1 м³ піску, кг.

У регіонах із посушливим і спекотним кліматом, а також за використання кам'яних матеріалів з підвищеною водопоглинальною здатністю допускається збільшення об'єму вапняного тіста до 1,5 разу від розрахункової величини [28].

Дані для розрахунку мурувальних розчинів

В'яжуче	Марка розчину, кг/см ²	Рекомендовані марки в'яжучого, кг/см ²	R _в Q _в	Витрати в'яжучого на 1м ³ ,	
				піску	розчину
1	2	3	4	5	6
Портландцемент та його різновидності	300	500	230	460	510
		400		575	610
	200	500	180	360	410
		400		450	490
	150	500	140	280	330
		400		350	400
	100	500	102	205	245
		400		255	300
75	500	81	160	195	
	400		200	240	
50	300	56	270	310	
	200		405	445	
25	400	31	140	175	
	200		185	225	
В'яжучі за ДСТУ EN 196-3	25	300	31	105	135
		200		155	190
	10	150	14	206	240
		100		310	330
	4	150	14	93	110
		100		140	165
	4	50	14	280	320
		25		120	145
			240	270	

Процедура визначення складу розчину для мурування передбачає встановлення пропорційних об'ємних часток компонентів, що відображають співвідношення між кількістю в'яжучої речовини, пластифікатора (зокрема вапняного тіста) та піску. При цьому об'єм в'яжучого компонента умовно приймається за одиницю:

$$1: \frac{V_q}{V_b} : \frac{1}{V_b}, \quad (1.4)$$

Кількісні показники витрати в'яжучої речовини на 1 м³ піску для отримання 1 м³ готового розчину приймають відповідно до нормативних даних,

наведених у табл. 1.4 [23, 24]. Для визначення об'ємної витрати в'язучої речовини застосовують залежність:

$$V_B = \frac{Q_B}{\rho_B^{\text{нас}}}, \quad (1.5)$$

де Q_B – витрата в'язучого на 1 м³ піску, кг;

$\rho_B^{\text{нас}}$ – насипна густина в'язучого у розпушеному насипному стані, кг/м³.

Величину $\rho_B^{\text{нас}}$ приймають залежно від виду в'язучого та його марки:

200...500 – 1100 кг/м³ (цементи);

Величину $\rho_B^{\text{нас}}$ приймають залежно від виду в'язучої речовини та його марки:

200...500 – 1100 кг/м³ (цементи);

100... 150 – 900 кг/м³;

25...100 – 700 кг/м³.

Визначення необхідної кількості неорганічних пластифікуючих добавок (вапняного або глиняного тіста) здійснюють об'ємним методом. При цьому необхідно дотримуватися вимог до фізичних характеристик компонентів: середня густина вапняного тіста повинна бути не меншою за 1400 кг/м³, а глиняного тіста – у межах 1300–1600 кг/м³ залежно від жирності сировини [28]. Консистенцію глиняної маси регулюють вмістом води таким чином, щоб глибина занурення стандартного конуса становила 13–14 см.

Розрахунок потреби у воді на 1,0 м³ піску для забезпечення нормативної рухливості суміші (9–10 см) при використанні цементно-вапняних або цементно-глиняних розчинів виконують за формулою:

$$B=0,5(Q_B+Q_d), \quad (1.6)$$

де Q_B та Q_d - витрата в'язучої речовини та пластифікатора 1 м³ піску, кг.

Застосування органічних мікропіноутворюючих пластифікаторів доцільне у розчинах на основі портландцементу та природного піску, зокрема в цементних і цементно-вапняних системах [29]. Їх використання не рекомендується у

цементно-глиняних сумішах, а також у розчинах на основі низькоактивних в'язучих (вапняно-зольних або вапняно-шлакових), що узгоджується з вимогами ДСТУ EN 998-2:2019 та методами випробувань серії EN 1015 [23, 30].

Важливою технологічною вимогою при частковому або повному заміщенні вапняного компонента є забезпечення стабільності структури розчину: показник середньої густини готової суміші не повинен зменшуватися більш ніж на 6 % від початкового значення [24, 28].

Застосування активних мінеральних добавок (АМД) у складах будівельних розчинів за умов від'ємних або знижених температур навколишнього середовища має обмеження, зумовлені особливостями кінетики гідратації та тверднення в'язучих систем [26, 30]. У зимовий період використання АМД допускається виключно за умови забезпечення нормативного температурно-вологісного режиму тверднення розчину або застосування спеціальних технологічних заходів.

Введення золи-виносу або мелених гранульованих доменних шлаків у мурувальні розчини не рекомендується при середньодобовій температурі повітря нижче +5 °С без використання протиморозних добавок або без штучного прогріву конструкцій, оскільки це призводить до істотного уповільнення процесів гідратації цементу та зниження ранньої міцності розчину [23, 26].

Допускається обмежене застосування АМД у зимових умовах за таких вимог:

- використання портландцементу класу міцності не нижче 42,5 з підвищеною ранньою активністю;
- зменшення вмісту АМД до 10–15 % від маси в'язучої речовини;
- обов'язкове введення сертифікованих протиморозних добавок відповідно до ДСТУ EN 934-2;
- забезпечення температури розчинної суміші на момент укладання не нижче +10 °С;

- захист мурування від замерзання протягом початкового періоду тверднення (не менше 3 діб) згідно з вимогами ДСТУ EN 998-2:2019.

Використання АМД у цементно-глиняних та вапняно-зольних розчинах у зимових умовах не допускається, оскільки такі системи характеризуються зниженою інтенсивністю структуроутворення при низьких температурах і не забезпечують досягнення нормативної міцності в установлені терміни [28, 30].

У кожному конкретному випадку можливість застосування активних мінеральних добавок у зимових умовах повинна підтверджуватися результатами лабораторних випробувань контрольних складів розчинів із урахуванням реальних температурних умов будівельного майданчика.

1.4. Штукатурні розчини

Штукатурні розчини застосовують для обробки цегляних, дерев'яних, гіпсових та бетонних поверхонь у польових умовах будівельного майданчика, тобто при виконанні робіт «мокрим» способом [31]. Для улаштування звичайних штукатурок застосовують розчини на основі цементу, цементно-вапняних, вапняних, вапняно-гіпсових, гіпсових, глинисто-вапняних та інших в'язучих матеріалів.

Вибір складу та застосування розчинів для традиційних штукатурок визначаються умовами експлуатації будівлі та її призначенням. Підбір здійснюється з урахуванням даних, наведених у таблиці 1.4. Рекомендації щодо вибору в'язучих матеріалів для приготування розчинів наведено в таблиці 1.5 відповідно до вимог ДСТУ EN 998-1:2019 [32]. Основним дрібним заповнювачем у складі штукатурних розчинів є пісок, який повинен відповідати вимогам чинних державних стандартів для будівельних робіт, зокрема ДСТУ EN 13139:2018 [33]. Розмір зерен піску для підготовчих шарів штукатурки (обризгу та ґрунту) допускається не більше 2,5 мм, а для фінішного оздоблювального шару (накривки) – не більше 1,2 мм.

Необхідні показники рухливості розчинів для різних шарів штукатурки встановлюють відповідно до таблиці 1.6 згідно з ДСТУ EN 998-1:2019 [32].

Для підвищення рухливості та пластичності штукатурних розчинів допускається застосування органічних пластифікуючих добавок – мікропіноутворювачів, які повинні відповідати вимогам ДСТУ EN 934-2:2019 [34]. У розчинах, що містять гіпс, за потреби слід вводити уповільнювачі тужавлення, зокрема мездровий або кістковий клей, гашене вапно та інші подібні добавки, дозволені до застосування чинними нормативними документами [31, 32].

Таблиця 1.4

Рекомендовані розчини за призначенням приміщень та умов експлуатації конструкцій

Галузь застосування	Будівельний розчин
1. Приміщення з відносною вологістю повітря понад 60 %, а також зовнішні конструктивні елементи будівель (стіни, цоколі, карнизи тощо), що перебувають під впливом постійного зволоження	цементні; цементно-вапняні
2. Умови експлуатації з відносною вологістю повітря до 60 % включно та зовнішні стіни, які не зазнають систематичного зволоження:	
а) зовнішні стіни з каменю або бетону, а також внутрішні бетонні й кам'яні стіни, перегородки та перекриття	цементно-вапняні; вапняні
б) зовнішні та внутрішні стіни з кам'яних, дерев'яних і гіпсових матеріалів (для районів із сухим і стабільним кліматом)	глинисто-вапняні; вапняно-гіпсові
в) внутрішні перегородки та стіни з деревини й гіпсу	гіпсові; вапняно-гіпсові

Примітка. Рекомендації відповідають класифікації та сфері застосування штукатурних розчинів згідно з ДСТУ EN 998-1:2019 [32].

Нормативні вимоги до складів штукатурних сумішей, що використовуються для обробки фасадних елементів (цоколів, стін, карнизів), які перебувають під постійним впливом атмосферних опадів, а також для

внутрішніх робіт у приміщеннях із рівнем вологості понад 60 %, деталізовано в табл. 1.7 відповідно до ДСТУ EN 998-1:2019 [32].

При проведенні опоряджувальних робіт у зимовий період усередині опалювальних будівель (за умови підтримки стабільного температурного режиму не нижче +10 °С) допускається використання розчинів, ідентичних за складом тим, що застосовуються в літній сезон [31].

У випадках, коли температура навколишнього середовища коливається в межах від +5 °С до +8 °С, початкова температура розчинної суміші повинна становити не менше +8 °С для забезпечення належних умов гідратації в'язучого [32].

З метою запобігання кристалізації води та зниження температури замерзання сумішей допускається застосування протиморозних хімічних добавок, дозволених до використання в штукатурних розчинах. До таких належать нітрит натрію, поташ, нітрат кальцію з добавкою сечовини, що забезпечують набір міцності за знижених температур відповідно до ДСТУ EN 934-2:2019 [34].

Таблиця 1.5

В'язучі матеріали залежно від типу штукатурки

Тип штукатурки	Оздоблювальна поверхня	В'язуча речовина
Зовнішня (а також внутрішня для приміщень з вологістю > 60 %)	Кам'яні та бетонні поверхні	портландцемент; шлакопортландцемент
Зовнішня (без систематичного зволоження)	Кам'яні та бетонні поверхні	вапно; вапняно-шлакові в'язучі; портландцемент
	Дерев'яні та гіпсові поверхні	вапно з глиною; вапно з гіпсом
Внутрішня (вологість ≤ 60 %)	Кам'яні та бетонні поверхні	вапно; вапно з добавкою гіпсу; портландцемент; глина

Таблиця 1.6

Рекомендована рухливість штукатурних розчинів залежно від способу нанесення

Призначення розчину	Рівень занурення стандартного конуса, см
	для механізованого нанесення
Розчин для розбризкування (обризг)	9–14
Розчин для ґрунту	7–8
Розчин для накривки:	
а) з гіпсом	9–12
б) без гіпсу	7–8

Таблиця 1.7

Класи штукатурних розчинів за ДСТУ EN 998-1:2019 та рекомендовані умови їх застосування

Клас розчину за ДСТУ EN 998-1	Характеристика та основне призначення	Рекомендована сфера застосування	Основні вимоги до експлуатаційних умов
GP (General Purpose)	Загальнобудівельні штукатурні розчини без спеціально регламентованих експлуатаційних властивостей	Внутрішні та зовнішні штукатурні роботи загального призначення	Відсутність агресивних впливів; нормальні умови вологості та температури
OC (One Coat)	Одношарові штукатурні розчини заводського виготовлення для механізованого або ручного нанесення	Зовнішні та внутрішні поверхні, що не зазнають інтенсивного зволоження	Стабільні кліматичні умови; обмежений вплив атмосферних опадів
CR (Rendering)	Штукатурні розчини з регламентованими показниками міцності, водопоглинання та паропроникності	Фасадні системи, цоколі, зовнішні стіни, що перебувають під дією атмосферних опадів	Підвищена вологість, періодичне зволоження, температурні коливання
R (Renovation)	Сануючі (реноваційні) штукатурні розчини з підвищеною паропроникністю та зниженим капілярним водопоглинанням	Відновлення та ремонт конструкцій у вологих і засолених умовах	Постійна або підвищена вологість; наявність солей у кладці

Пояснення до таблиці 1.7

- Клас GP застосовується у випадках, коли не висуваються спеціальні вимоги до морозостійкості, водопоглинання або паропроникності.
- Клас ОС доцільний для прискороного виконання штукатурних робіт за рахунок зменшення кількості технологічних шарів.
- Клас CR є базовим для фасадних штукатурок, що працюють в умовах змінної вологості та дії атмосферних чинників.
- Клас R призначений для реставраційних і ремонтних робіт, зокрема у будівлях із підвищеним солемістом та капілярним зволоженням стін.

Примітка. Класифікація та сфери застосування штукатурних розчинів наведені відповідно до ДСТУ EN 998-1:2019 [32].

1.5. Розчини та суміші декоративні

Декоративні розчини одні з найпоширеніших матеріалів для оздоблення лицьових поверхонь стін, стінових панелей і блоків у заводських умовах, а також під час опорядження фасадів будівель і стін внутрішніх приміщень [35, 37, 38].

Залежно від типу декоративного покриття використовують такі матеріали: декоративні розчини (вапняно-піщані, цементно-піщані, теразитові, каменеподібні);

декоративні суміші (цементно-перхлорвінілові, полімерцементні, цементно-колоїдні та інші) [33, 35].

Декоративні розчини й композиційні суміші повинні відповідати визначеним технологічним і фізико-механічним вимогам, зокрема забезпечувати необхідну міцність на стиск, надійне зчеплення з основою, а також володіти морозостійкістю, світлостійкістю та водостійкістю [35, 36, 38].

Підбір в'язучих матеріалів для декоративних розчинів і сумішей здійснюють відповідно до рекомендацій, наведених у таблиці 1.8 [35, 37].

Рекомендовані в'язучі матеріали для декоративних розчинів і сумішей

Вид декоративного розчину / суміші	Умови застосування	Рекомендоване в'язуче
Цементно-піщані декоративні	Фасади, цоколі, зовнішні елементи	портландцемент; білий портландцемент
Вапняно-піщані декоративні	Внутрішні приміщення з вологістю $\leq 60\%$	повітряне вапно
Цементно-вапняні декоративні	Фасади та внутрішні стіни	портландцемент + вапно
Теразитові декоративні	Фасади, інтер'єри, панелі	портландцемент; білий цемент
Полімерцементні декоративні	Зовнішні та внутрішні поверхні	портландцемент + полімерні добавки
Каменеподібні декоративні	Фасади, архітектурні елементи	портландцемент; шлакопортландцемент

Примітка. Підбір в'язучих здійснюється з урахуванням кліматичних умов та вимог до декоративних властивостей поверхні [32, 36].

Для створення кольорових цементно-піщаних штукатурних розчинів застосовують кольорові кольорові цементы. Для надання розчинам потрібного відтінку застосовують природні або синтетичні пігменти, які повинні бути стійкими до дії світла, лугів і кислот [34, 38].

До білих пігментів належать вапно, мармурове борошно, білий цемент та інші подібні матеріали. Тонкість помелу пігментів характеризується повним проходженням через сито з 1600 отворами на 1 см² та залишком на ситі з 3600 отворами на 1 см² не більше ніж 2 % [34].

Показник рухливості декоративних розчинів визначається їх складом, призначенням і способом нанесення та зазвичай перебуває в межах від 6 – 12 см [35, 37].

Для декоративних штукатурних розчинів в якості дрібного заповнювача використовують промиті кварцові піски та подрібнену крихту гірських порід, також за необхідністю надання поверхні блиску до складу розчину можуть вводити слюду або подрібнене скло [35, 38].

Для декоративного оздоблення фасадів і внутрішніх приміщень застосовують гранітну, скляну, керамічну, сланцеву або пластмасову крихту розміром 2–5 мм, яку наносять на клейовий полімерцементний розчин при зовнішніх роботах та на водоемульсійну фарбу – при внутрішніх [33, 38].

Теразитові суміші являють собою ретельно перемішані сухі компоненти, що містять цемент, дрібні заповнювачі, спеціальні добавки та, за потреби, пігменти. За розміром зерен заповнювача такі суміші поділяють на три групи: дрібнозернисті (Д) – до 2 мм, середньозернисті (С) – до 3–4 мм і крупнозернисті (К) – до 5–6 мм [35, 37]. –

Перед використанням теразитові суміші змішують з водою та наносять на поверхню в один або кілька шарів. Приклади складу окремих керамзитових декоративних розчинів наведено в таблиці 1.9 [35, 37,38]. Склади керамзитових сумішей: [35, 37, 38]

Нижче подано повністю сформовану таблицю 1.9 зі складами теразитових декоративних розчинів, узгоджену з практикою застосування та вимогами ДСТУ EN 998-1:2019. Таблиця оформлена у вигляді, придатному для навчального посібника, дисертації або пояснювальної записки.

Таблиця 1.9

Приклади складів керамзитових декоративних розчинів

Вид теразитового розчину	В'язуча речовина	Дрібний заповнювач	Крупний декоративний заповнювач	Добавки та пігменти	Орієнтовне співвідношення компонентів (за масою)
Дрібнозернисті (Д)	портландцемент або білий цемент	кварцовий пісок (0–2 мм)	мармурова або гранітна крихта (до 2 мм)	мінеральні пігменти	1 : 2,0 : 1,5
Середньозернисті (С)	портландцемент	кварцовий пісок (0–3 мм)	мармурова, гранітна або скляна крихта (3–4 мм)	пігменти, гідрофобізатори	1 : 1,5 : 2,0
Крупнозернисті (К)	портландцемент	кварцовий пісок (0–4 мм)	декоративна крихта (5–6 мм)	пігменти, повітровтягувальні добавки	1 : 1,0 : 2,5

Теразитовий кольоровий	білий портландцемент	кварцовий пісок	мармурова крихта	світлостійкі пігменти	1 : 2,0 : 2,0
Теразитовий з блиском	портландцемент	кварцовий пісок	гранітна крихта	слюда або подрібнене скло	1 : 1,5 : 2,0

Примітки до таблиці 1.9

1. Співвідношення компонентів наведені орієнтовно та уточнюються залежно від:

- необхідної рухливості розчину (6–12 см);
- способу нанесення (ручний або механізований);
- фактури та декоративного ефекту поверхні.

2. Вміст пігментів, як правило, не перевищує 5–8 % від маси цементу.

3. Для фасадних теразитових розчинів рекомендується застосування гідрофобізуючих та морозостійких добавок, дозволених ДСТУ EN 934-2:2019.

4. Клас теразитових штукатурок за ДСТУ EN 998-1:2019 зазвичай відповідає CR (для фасадів) або GP (для внутрішніх робіт).

Для оздоблення лицьових поверхонь панелей, що виконується безпосередньо під час їхнього виробництва на заводах залізобетонних конструкцій, застосовують спеціальні теразитові суміші, які складаються з кольорової кам'яної крихти та білого цементу, зазвичай у співвідношенні від 4:1 до 5:1 [37]. Кількість води підбирають таким чином, щоб забезпечити необхідну рухливість розчину в межах 2–3 см [35]. Після формування та ущільнення декоративного шару поверхню виробу зрошують дрібно розпиленою водою з метою очищення та кращого виявлення зерен кам'яної крихти [36].

Такі кам'яні суміші можуть містити білий або кольоровий цемент (іноді з додаванням до 5 % вапняної пасти), крихту з різних видів гірських порід, пігменти та слюду в кількості до 10 % від об'єму заповнювача [38]. Після твердіння та подальшої механічної обробки ці суміші дозволяють отримувати поверхні, що імітують різні види природного каменю. Приклади складів кам'яних декоративних сумішей наведено в таблиці 1.10 [32, 33].

Приклади складів кам'яних декоративних сумішей

№ з/п	Тип кам'яної декоративної суміші	В'язуча речовина	Заповнювач (крихта)	Додаткові компоненти	Орієнтовне співвідношення компонентів (за масою)	Призначення
1	Цементно-гранітна	Білий портландцемент	Гранітна крихта 2–5 мм	Пігменти, слюда (до 10 %)	Цемент : крихта = 1 : 4–5	Фасадні поверхні, поколї
2	Цементно-мармурова	Білий або кольоровий цемент	Мармурова крихта 2–4 мм	Пігменти	Цемент : крихта = 1 : 4	Декоративне оздоблення фасадів і інтер'єрів
3	Каменеподібна теразитова	Білий цемент + до 5 % вапняної пасти	Крихта гірських порід (граніт, мармур, сланець)	Слюда, пігменти	В'язуче : крихта = 1 : 4–5	Архітектурно-декоративні елементи
4	Поліхромна декоративна	Кольоровий цемент	Суміш крихти різних порід	Синтетичні пігменти	Цемент : крихта = 1 : 4	Імітація природного каменю
5	Фактурна шліфувана	Білий цемент	Кварцова та кам'яна крихта	Слюда	Цемент : заповнювач = 1 : 3,5–4,5	Поверхні з подальшою механічною обробкою

Примітка. Кількість води підбирають експериментально з урахуванням забезпечення рухливості розчинної суміші в межах 2–3 см. Після твердіння декоративні покриття можуть піддаватися шліфуванню або фактурній обробці з метою отримання ефекту природного каменю [35, 37].

Декоративні оздоблювальні матеріали, що імітують природний камінь, застосовують на поверхнях, попередньо вирівняних підготовчим шаром розчинної суміші з міцністю не нижче М50 [33, 35]. Робочий розчин готують шляхом розведення сухої суміші чистою водою у встановленій пропорції, забезпечуючи безперервність виконання опоряджувальних робіт на всій площі фасаду або окремої ділянки [32, 36].

Після нанесення адгезійного шару методом розбризкування та формування ґрунтувального шару наносять основний декоративний шар кам'яної штукатурки, який ущільнюють за допомогою дерев'яного правила або рейки шириною 60–70 мм [36]. Поверхню затирають і вигладжують, після чого залишають для твердіння протягом 6–8 діб з обов'язковим систематичним зволоженням водою, що є необхідною умовою для повноцінної гідратації в'язучого та набору міцності [32, 39].

Критерієм достатнього затвердіння декоративного покриття є відшаровування зерен кам'яної фракції при механічному впливі без їх втискання в розчинну масу. Завершальним етапом є формування остаточної фактури поверхні за допомогою спеціальних інструментів і технологічних прийомів відповідно до заданого архітектурно-художнього рішення [36, 39].

1.6. Спеціальні штукатурні розчини

Гідроізоляційні штукатурки являють собою цементно-піщані штукатурні розчини, до складу яких вводять спеціальні хімічні добавки ущільнювальної дії, що зменшують капілярне водопоглинання та підвищують водонепроникність покриття. За функціональним призначенням такі розчини належать до спеціальних штукатурних розчинів класу R відповідно до ДСТУ EN 998-1, оскільки характеризуються підвищеною адгезією, щільністю та зниженим водопоглинанням [35, 37].

Приклади складів гідроізоляційних штукатурних розчинів наведено в таблиці 1.11.

Таблиця 1.11

Приклади складів гідроізоляційних штукатурних розчинів

№	Складові компоненти	Орієнтовне співвідношення (за масою)	Функціональне призначення
1	Портландцемент, пісок, гідрофобна добавка	1 : 2,5–3,0 + 1–2 % добавки	Захист конструкцій від капілярної вологи
2	Портландцемент, пісок, ущільнювальна мінеральна добавка	1 : 3,0 + 5–10 % добавки	Зменшення водопроникності
3	Портландцемент, пісок, комплексна хімічна добавка	1 : 2,5 + 1–3 %	Підвищення щільності та адгезії

Нормативні примітки до табл. 1.11:

1. Розчини повинні відповідати вимогам ДСТУ Б В.2.7-23:2009 щодо міцності та рухливості [35].
2. За показниками експлуатаційних властивостей (адгезія $\geq 0,3$ МПа, знижене водопоглинання) розчини класифікуються як R (Renovation mortar) за ДСТУ EN 998-1.

3. Застосування допускається для внутрішніх і зовнішніх робіт за умови дотримання вимог ДБН В.2.6-22:2001 [32].

Для забезпечення гідроізоляції будівельних конструкцій і споруд також застосовують холодні асфальтові мастики, які є допоміжними гідроізоляційними матеріалами та використовуються у комплексі зі штукатурними покриттями. Їх рецептури у відсотках за масою наведено в таблиці 1.12. Такі матеріали не належать безпосередньо до штукатурних розчинів EN 998-1, проте застосовуються відповідно до вимог ДБН В.2.6-22:2001 та ДБН В.1.1-7:2016 [32, 36].

Таблиця 1.12\

Рецептури холодних асфальтових мастик (за масою, %)

Компонент	Вміст, %
Бітумна емульсія	45–55
Мінеральний наповнювач (вапнякове борошно, зола)	30–40
Пластифікатор	3–5
Вода та стабілізуючі добавки	5–10

Нормативні примітки до табл. 1.12:

1. Мастики повинні утворювати суцільне безперервне покриття без тріщин після висихання.
2. Застосування допускається при температурах не нижче +5 °С згідно з вимогами ДБН В.1.1-7:2016 [36].
3. Мастики використовують як підшар або самостійний гідроізоляційний бар'єр у поєднанні зі штукатурками класу R.

Розчини для гідрофобних штукатурок готують на основі цементно-вапняно-піщаних або глиняних сумішей із введенням кремнійорганічних добавок (фенілетоксисилоксану). За класифікацією ДСТУ EN 998-1 такі склади належать до класу CR (Colored rendering mortar) або OC (Organic coating) залежно від вмісту органічних компонентів та товщини шару [35, 37].

Штукатурні розчини, стійкі до кислот, є спеціальними композиціями на основі водного скла та кислотостійких заповнювачів. Вони не підпадають під

стандартні класи GP, OC, CR, проте відповідно до ДСТУ EN 998-1 відносяться до спеціальних розчинів функціонального призначення (Special mortars) і застосовуються згідно з галузевими технічними умовами та рекомендаціями виробників [38, 39].

Узагальнена нормативна прив'язка

- GP – звичайні штукатурки (не застосовуються для гідроізоляції);
- CR – гідрофобні та декоративні штукатурки з пігментами;
- OC – органічні гідрофобізовані покриття;
- R – гідроізоляційні, ущільнювальні та ремонтні штукатурки з підвищеними експлуатаційними властивостями.

1.7. Вапно для будівельних розчинів

Після випалу вапняку утворюється грудкове вапно у вигляді шматків різного розміру. При додаванні води відбувається процес гашення: температура суміші підвищується, вода закипає, а грудки розпадаються. Залежно від кількості доданої води утворюється високодисперсний порошок (при обмеженій кількості води), вапняне тісто або вапняне молоко (за надлишком води) [40, 41, 42].

На практиці вапняне тісто та вапняне молоко широко застосовують на бетонорозчинних заводах та в цехах як пластифікуючу добавку для виробництва цементно-вапняних та чисто вапняних розчинів різного призначення – мурувальних, штукатурних та інших. Тому доцільно здійснювати гашення грудкового вапна безпосередньо на виробничих установках, оскільки транспортування вапняного тіста або, особливо, вапняного молока на великі відстані є економічно не вигідним [40, 41].

Для промислового гашення вапна виготовляють машини різних конструкцій. Процес гашення у таких машинах, що можуть працювати циклічно або безперервно, можливий як з відходами, так і без них [41].

На рисунку 1.1 показано конструкцію вапногасильної машини СМ-1247 барабанного типу. Всередині обертового барабана 2 відбувається подрібнення та змішування грудкового вапна з водою, що приводить до утворення вапняного

молока. Барабан обертається на опорних котках. Барабан являє собою зварений циліндр, на одному кінці якого розташоване днище з люком для подачі грудкового вапна та води, а на протилежному кінці встановлена решітка 3 для безперервного зливу вапняного молока у спеціальний приймальний лоток [41].

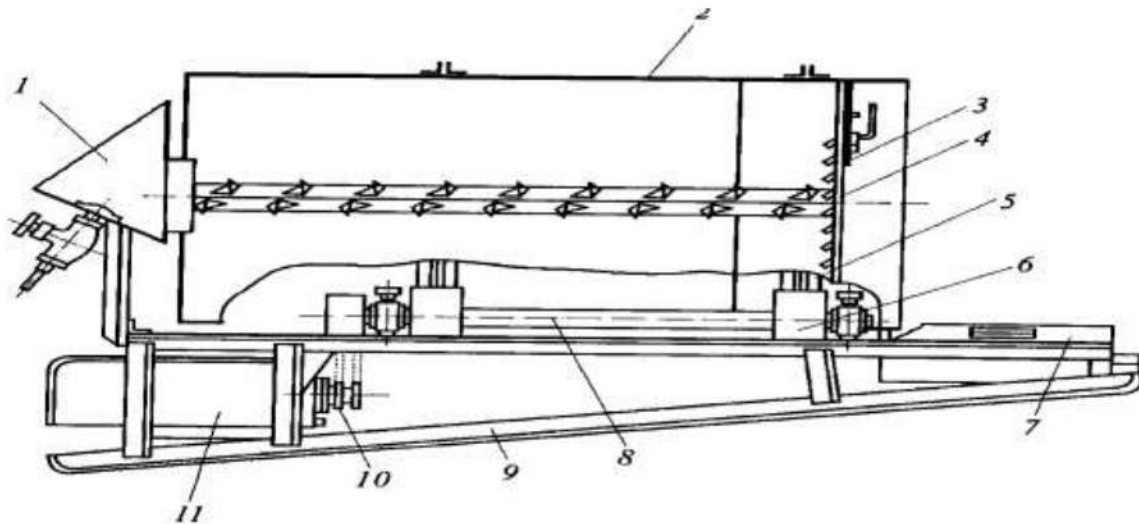


Рис. 1.1. Машина для гашення вапна.

1 – ємність завантажувальна; 2 – барабан; 3 – решітка; 4 –зубчаста гребінка; 5 – бандаж; 6 –каток опорний; 7 –лоток зливний; 8 – вал привідний; 9 – рама; 10 –передача; 11 – електричний двигун.

Решітка обладнана люком, призначеним для періодичного очищення барабана від відходів гашення. Усередині барабана змонтовані поздовжні гребінки із зубцями, які під час обертання інтенсифікують процес перемішування вапна з водою, забезпечуючи швидке й ефективне гашення. На зовнішній циліндричній поверхні барабана встановлені бандажі, за допомогою яких він спирається на котки привідних валів. Привідні вали, у свою чергу, розміщені на конічних роликотіпідшипниках, змонтованих у корпусах на похилій площині рами [40].

Рама машини виконана у вигляді зварної конструкції на полозках, що забезпечує можливість її переміщення. Верхня поверхня рами має нахил у межах

6–8° з метою забезпечення самовивантаження матеріалу під дією сили тяжіння. Продуктивність обладнання становить до 3 т грудкового вапна за годину [40].

Гашельні установки зазвичай включають такі основні елементи: склад негашеного (грудкового) вапна, відділення гашення та відстійники для зберігання вапняного тіста. Існують два основні способи гашення вапна: тривале витримування в резервуарах із водою та безпосередня переробка у пушонку з використанням вапногасильних машин. Схема вапногасильної установки, що працює за першим методом, представлена на рисунку 1.2 [40].

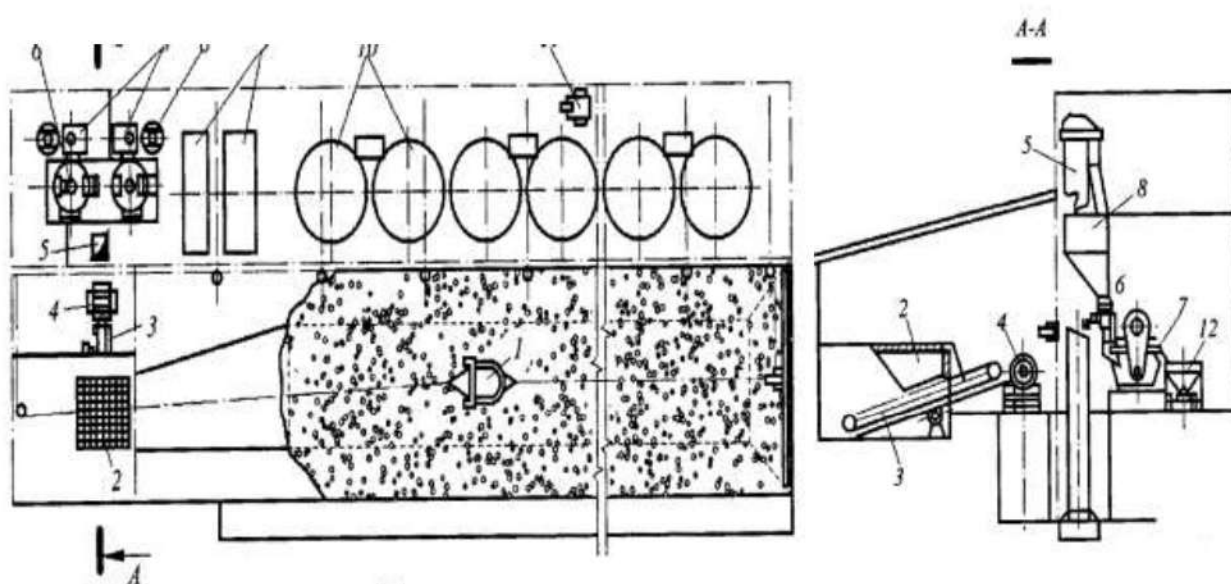


Рис. 1. 2 Установка для гашення вапна:

1 – ківш; 2 – ємність для завантаження; 3 – конвеєр стрічковий; 4 – дробарка; 5 – елеватор ківшовий; 6 – живильник тарілковий; 7 – машина для гашення вапна; 8 – ємність для вапна подрібленого; 9 – приймальники вод промивних; 10 – резервуар; 11 – насос; 12 – насос для розчину.

Із складського приміщення грудкове вапно подається за допомогою підйомного механізму (скрепера) до початкового бункера, а потім стрічковим конвеєром транспортується до дробарки для подрібнення. Подрібнений матеріал піднімається елеватором до проміжного бункера, звідки точно відміряна порція подається живильником у спеціальну машину для гасіння вапна [41].

Отриманий рідкий розчин вапняного молока з гасильної машини надходить у наземні резервуари, де він відстоюється протягом кількох днів. Кількість та об'єм цих резервуарів визначаються необхідною тривалістю витримки. Під час відстоювання з кожної тонни загашеного вапна виділяється приблизно 1,5 м³ води, яку збирають і повторно використовують у процесі гасіння [40].

Вапняна паста, що утворилася, подається по трубопроводах за допомогою насосів до обладнання для змішування розчинів або безпосередньо у транспортні засоби. Перевагою такого «мокрого» способу гасіння є майже повна відсутність утворення пилу, що значно покращує умови праці та гігієну виробництва [41].

Альтернативний спосіб полягає у гасінні вапна безпосередньо до порошкоподібного стану – так званої пушонки. Завдяки попередньому подрібненню грудкового матеріалу та відмові від тривалого витримування в резервуарах, цей метод дає змогу зменшити площу, необхідну для розміщення установки, а також скоротити капітальні витрати на її спорудження [40].

У цьому разі вапно обробляють у вапногасильних машинах, що працюють під тиском або з його періодичним зниженням; тривалість процесу не перевищує однієї години. Для гасіння також можуть застосовуватися гвинтові конвеєри. Після завершення процесу готовий продукт витримують у сховищах протягом кількох годин [41].

Під час виробництва пушонки грудкове вапно спочатку надходить у дробарку, після чого стрічковим конвеєром транспортується на циліндричний грохот для розсіву. Частинки розміром менше 1 мм за допомогою елеватора подаються до сепаратора. Крупніші фракції спрямовують у кульовий млин для додаткового подрібнення, а потім тим самим елеватором також подають у сепаратор [40].

Із сепаратора подрібнене негашене вапно елеватором і гвинтовим конвеєром подається в бункер, звідки через дозувальний пристрій надходить до гасильної машини. Після завершення процесу гасіння установка розвантажується, і отримана вапняна пушонка надходить у бункер. Звідти вона

за допомогою гвинтового конвеєра та елеватора транспортується до відділення приготування розчинів. Головною перевагою цього способу є його практично безвідходний характер, що усуває необхідність очищення гасильних машин під час їх роботи [40, 41].

1.8. Машини розчинозмішувальні

Пересувні розчинозмішувачі періодичної дії зазвичай характеризуються невеликою продуктивністю – від 5 до 10 м³ на годину – і застосовуються переважно для виконання робіт невеликого обсягу безпосередньо на будівельних майданчиках [43, 44].

Верхній вал 3 призначений для підймання та опускання ковша 2 скіпового підйомника. Подача води до змішувального барабана здійснюється через систему водопостачання, що включає турбінний дозатор, запірний кран і зливний патрубок [44].

Розчинозмішувач типу С-588 з відкидними лопатями використовується для приготування штукатурних розчинів, у тому числі гіпсових і гіпсо-тирсових, безпосередньо на будівельних об'єктах з невеликими обсягами робіт. Об'єм одного замісу в такій установці становить 80 л (рис. 1.3) [43].

Розчинозмішувач складається з трьох основних вузлів: приводу, тачки-бункера 1 та візка 11. Привід оснащений вертикальним електродвигуном 9, який підключається до мережі через гнучкий броньований кабель 8. Передача крутного моменту здійснюється через триступеневий редуктор 7 із циліндричними зубчастими колесами. Підйом і опускання лопатевого вала у корпус-чашу відбувається завдяки повороту редуктора навколо його осі 4 [44].

Лопатевий вал 6, шарнірно з'єднаний з рамою змішувача через вузол 10, може займати два положення: робоче та неробоче (підняте). На валу розташовано три ряди змішувальних лопатей. Додатково до корпуса редуктора на кронштейнах закріплені нерухомі лопаті 2, які підвищують інтенсивність перемішування. Положення лопатей у бункері регулюють за допомогою рукоятки 4. Тачка-бункер 1 являє собою вертикально встановлений циліндр на

колісному ході. Вона виготовлена з трубних елементів і встановлюється на дві опори візка таким чином, щоб осі приводу та бункера були точно суміщені [44].

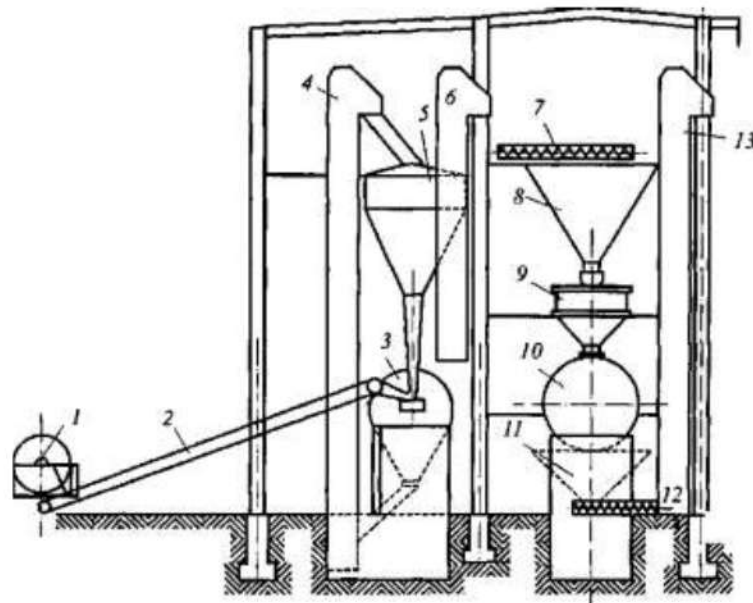


Рис. 1.3. Схема установки для гашення вапна в пушонку.

1-дробарка; 2 - конвеєр стрічковий; 3 - млин кульовий; 4, 6 і 13 - елеватори ківшові; 5 - сепаратор; 7 і 12 - конвеєри гвинтові; 8 і 11- бункери; 9 - дозатор; 10 - машина вапногасильна.

Під час роботи установки матеріали завантажують у тачку-бункер, яку розміщують під лопатевим валом. Потім вал опускають, вмикають електродвигун і проводять перемішування суміші. Після закінчення замісу вал піднімають, бункер відводять із-під лопатей і транспортують на місце використання розчину – вручну або на причепі. На його місце встановлюють наступний бункер, і процес повторюється. Сучасні модифікації цих машин мають підвищену продуктивність та полегшену експлуатацію [43].

Щоб змішувальний механізм працював стабільно й ефективно, необхідно підтримувати певний зазор між робочими елементами (лопатями, скребками) і внутрішньою поверхнею чаші. Рекомендований розмір цього зазору становить близько 6 мм [44].

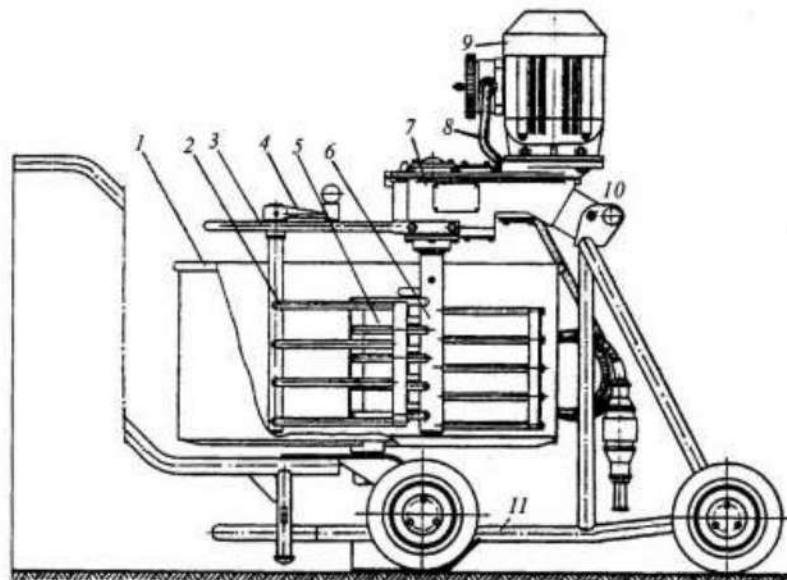


Рис. 1.4. Розчинозмішувач ТИПУ С-588

1 - тачка-бункер; 2 - лопасті, які не обертаються; 3 - кронштейн; 4 - рукоятка; 5 - змішувальні лопаті; 6 - лопатевий вал; 7 - редуктор; 8 - кабель; 9 - електродвигун; 10 - шарнір; 11 – візок

Для приготування будівельних розчинів широко застосовують бетонозмішувачі примусової дії різних конструкцій: роторні, двовальні, турбулентні та активаторні. На великих об'єктах для безперервного виробництва використовують двовальні лоткові змішувачі. З метою підвищення продуктивності при роботі з високопродуктивними змішувачами їх підключають до розчинонасосів, що забезпечує безперервну подачу готового розчину та суттєво прискорює виконання будівельно-монтажних робіт [43, 45].

1.9. Обладнання для змішування розчинів

Для ефективного та якісного виробництва різноманітних будівельних сумішей, включаючи розчини та бетони, у сучасній будівельній індустрії використовується широкий спектр спеціалізованого змішувального обладнання. Це обладнання поділяється на мобільні (пересувні) та стаціонарні установки, кожна з яких може функціонувати як у циклічному (періодичному), так і у безперервному (потоківому) режимі [46]. Портативні циклічні змішувачі, які

забезпечують порційне приготування сумішей, зазвичай характеризуються порівняно скромними показниками продуктивності, що рідко перевищують 5–10 кубічних метрів готової суміші за годину. Внаслідок цього вони знаходять своє основне застосування на невеликих будівельних об'єктах та локальних майданчиках, де обсяги робіт не вимагають високопродуктивного устаткування [46].

Дозування та транспортування сировинних компонентів до робочої камери змішування часто реалізується за допомогою спеціального скіпового механізму. У цій системі привідний вал виконує ключову роль, забезпечуючи вертикальне переміщення завантажувального ковша для ефективної подачі сухих інертних матеріалів. Одночасно подача рідких складових, таких як вода та хімічні добавки, здійснюється через автономну систему водопостачання, яка включає турбінний витратомір для точного дозування, надійну запірну арматуру та зливний трубопровід, що гарантує контрольовану подачу компонентів [46, 47].

Одним із представників компактного обладнання, що заслужило визнання на будівельних майданчиках, є змішувач моделі С-588. Цей апарат оснащений відкидними лопатями і спроектований для вискоефективного приготування широкого спектра штукатурних, шпаклювальних та інших будівельних розчинів, включаючи суміші на гіпсовій основі [46]. Його продумана конструкція дозволяє виконувати заміси значного обсягу, до 80 літрів за один цикл, безпосередньо на місці проведення робіт, що значно оптимізує виробничий процес та знижує логістичні витрати [46, 47].

Базова конструкція агрегату інтегрує в себе три ключові функціональні модулі: потужний силовий привід, просторий приймальний бункер та зручний пересувний візок. Привідна система представлена вертикально розташованим електродвигуном, живлення якого забезпечується від стандартної електричної мережі через спеціалізований гнучкий кабель із посиленням захистом. Передача обертового руху від двигуна до робочих органів змішувача здійснюється за допомогою багатоступінчастого редуктора, оснащеного системою зубчастих передач, що гарантує оптимальний крутний момент [46, 47]. Варто зазначити, що

регулювання робочого положення лопатевого вала досягається за рахунок повороту всього редуктора навколо своєї вертикальної осі [47].

Ключовий робочий елемент – вал із закріпленими на ньому лопатями – інтегрований у загальну раму через спеціальний шарнірний вузол. Таке конструктивне рішення забезпечує можливість легкого переведення вала з активного робочого положення в підняте, що зручно для обслуговування. По всій довжині вала стратегічно розташовані численні ряди лопатей, конфігурація яких гарантує інтенсивне та рівномірне змішування всіх компонентів [47]. Для додаткового підвищення ефективності процесу на зовнішньому корпусі редуктора встановлені спеціальні нерухомі елементи-відбивачі, положення яких регулюється оператором вручну [46].

Ємність для приймання сировини, або приймальний бункер, виконана у формі вертикально орієнтованого циліндра, змонтованого на мобільній колісній платформі для зручності переміщення. При його позиціонуванні на робочих опорах приділяється увага точному центруванню: необхідно забезпечити, щоб геометрична вісь бункера збігалася з віссю обертання змішувального механізму, що є запорукою ефективного та безперешкодного змішування [46, 47].

Операційний цикл змішування відбувається за чітко визначеним алгоритмом. Спочатку точно дозовані компоненти суміші завантажуються в приймальний бункер. Після цього бункер переміщується під змішувальний агрегат, змішувальний вал з лопатями опускається в ємність, електричний привід активується, і розпочинається інтенсивний процес перемішування. По завершенні заданого циклу роботи, змішувальний вал піднімається, а бункер із готовою сумішшю оперативно транспортується до точки її застосування, після чого на місце встановлюється наступний бункер для забезпечення безперервності робочого процесу [46].

Запорукою оптимальної, ефективної та безперебійної роботи установки є підтримання стабільного технологічного зазору між робочими лопатями та внутрішніми стінками змішувальної чаші (бункера), що має становити

орієнтовно 6 мм для досягнення найкращих результатів змішування та запобігання пошкодженню обладнання [47].

Крім того, у великомасштабній будівельній практиці значне поширення отримали змішувачі примусової дії для бетону та розчинів (роторні, двовальні, турбулентні, активаторні). Для реалізації великих проєктів, що вимагають високої продуктивності та безперервності процесу, особливо доцільним є використання двовальних змішувачів безперервного циклу разом із розчинонасосними станціями. Це дозволяє значно прискорити транспортування та укладання великих обсягів будівельних розчинів, забезпечуючи високу ефективність роботи на об'єкті [46, 48].

РОЗДІЛ 2. МЕТА РОБОТИ

Мета роботи полягає у проведенні експериментальних досліджень міцнісних характеристик будівельних розчинів, їх здатності утримувати воду та стійкості до розшаровування при використанні виробничого відходу — вапняне тісто (дефекат). Також передбачено створення оптимальних складів розчинових сумішей і розроблення методик виконання лабораторних випробувань.

Завдання дослідження:

- підібрати рецептури розчинів із показниками міцності M300, M200, M150, M100, M75 і M50;
- проаналізувати, як кількість дефекату впливає на водоутримувальну здатність і схильність розчину до розшаровування;
- визначити закономірності впливу вмісту дефекату та цементу на основні експлуатаційні властивості будівельних розчинів;
- створити методику оцінювання водоутримувальної здатності розчинових сумішей.

Об'єкт дослідження — зразки будівельних розчинів, розчинові композиції та дефекат як мінеральна добавка.

Методи дослідження включають випробування на міцність при стиску, визначення водоутримувальної здатності розчинів, а також обробку експериментальних результатів із застосуванням математико-статистичних методів і комп'ютерного аналізу.

РОЗДІЛ 3. МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1. План експерименту

Планування експериментальних досліджень і вибір складів будівельних розчинів із застосуванням математико-статистичних підходів доцільно здійснювати для кількох варіантів сумішей, що відрізняються показниками рухливості. Це необхідно для побудови коригувальних залежностей, які використовуються під час виробництва розчинів за новими технологіями, а також у разі застосування автоматизованих систем управління технологічними процесами [49].

Підбір складу кладочних розчинів з використанням промислових відходів на основі математико-статистичних методів зводиться до встановлення функціонального зв'язку між заданими експлуатаційними властивостями суміші та витратами її компонентів. Отримана математична модель застосовується для пошуку і вибору оптимальних рецептур [50].

Формування таких залежностей здійснюється на підставі серії лабораторних експериментів із подальшою перевіркою та уточненням результатів у виробничих умовах [51].

Лабораторні дослідження виконуються за наступною схемою: визначення параметрів, що підлягають оптимізації залежно від поставленої мети (міцність, технологічні або спеціальні показники тощо); встановлення факторів, які впливають на зміну вибраних параметрів; розрахунок базового експериментального складу розчину; задання діапазонів зміни кожного фактора [49, 52].

Як фактори, залежно від конкретного завдання, можуть виступати витрати води, цементу, заповнювачів та інших складників [49].

Величина кожного фактора у вихідному (базовому) складі називається основним або нульовим рівнем.

Під час експерименту фактори можуть змінюватися на трьох рівнях – середньому (базовому), нижньому та верхньому, причому відхилення від базового рівня однакові і називаються інтервалом варіювання, або на двох рівнях

– тільки верхньому та нижньому. Для зручності обробки результатів рівні факторів приймають умовні позначення: верхній рівень відповідає значенню (+1), базовий – (0), нижній – (-1), що означає перехід до нормалізованої (кодової) шкали параметрів [50, 52]:

$$X_i = \frac{(X_i - X_{i0})}{\Delta X_i}, \quad (3.1)$$

де X_i – значення i -го фактору в новому кодовому масштабі;

X_j – значення i -го фактору в натуральному масштабі;

X_{i0} – основний рівень i -го фактору;

ΔX_i – інтервал зміни i -го фактору.

Іноді при складанні плану експерименту одиницю не позначають, і тоді кодові рівні факторів позначаються символами «+», «0» та «-». Проведення дослідів (експериментальні записи) здійснюється відповідно до розробленого плану або матриці, яка формується з урахуванням кількості факторів та специфіки досліджуваної задачі. Приклад такої матриці представлено у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1

План експерименту

№ досліджу	Матриця планування (x _i)		Квадрати перемінних (x ² _i)		Взаємодія (x _i x _j)		Властивості будівельного розчину (вихід)				
	x ₁	x ₂	x ² ₁	x ² ₂	x ₁ x ₂	x ₁ x ₃	R _{ст7}	R _{ст28}	□ _m	n	v
1	+	+	+	+	+	+					
2	-	+	+	+	-	-					
3	+	+	+	+	-	+					
4	-	+	+	+	+	-					
5	+	-	+	+	+	-					
6	-	-	+	+	-	+					
7	+	-	+	+	-	-					
8	-	-	+	+	+	+					
9	+	0	+	0	0	0					
10	-	0	+	0	0	0					
11	0	0	0	+	0	0					

При реалізації експериментальних випробувань, організованих відповідно до ретельно розробленої методології планування, що охоплювала матриці експерименту № 1 та № 2, особлива увага приділялася включенню контрольних замісів, відомих як «нульові точки». Ці експерименти, де всі впливові змінні були встановлені на свої базові, або стандартні, рівні, інтегрувалися в загальний процес дослідження таким чином, щоб забезпечити їх рівномірне розташування серед інших серій випробувань. Для підвищення достовірності та статистичної значущості отриманих даних ці контрольні вимірювання регулярно повторювалися через кожні три–п’ять основних експериментальних замісів [53, 54].

Згідно з основними цілями та поставленими завданнями даного дослідницького проєкту передбачалася часткова модифікація складу традиційного дрібнозернистого заповнювача. Ця модифікація полягала в заміщенні його певною часткою виробничого відходу – дефекату, який інкорпорувався в суміш у чітко визначених вагових пропорціях від загальної маси піщаного компонента. Детальна інформація щодо цих співвідношень та кількісних показників представлена у відповідних табличних матеріалах [55].

Усі отримані емпіричні результати експериментів були піддані всебічній обробці із застосуванням сучасних методів математичної статистики та регресійного аналізу. Зазначений комплексний аналіз дозволив сформулювати та верифікувати алгебраїчне рівняння, яке слугує ефективною математичною моделлю та докладно характеризує функціональну залежність основних фізико-механічних і експлуатаційних властивостей будівельного розчину від варіацій досліджуваних факторів і їх комбінацій [54, 56].

$$Y = b_0 + X_1b_1 + X_2b_2 + X_1^2b_1^2 + X_2^2b_2^2 + X_1X_2b_1b_2 \quad (3.2)$$

Результати досліджень представлені в розділі 5.

3.2. Методи досліджень будівельних розчинів

Методи досліджень розчинів відповідають державним нормам, ДСТУ Б В.2.7-239:2010 (EN 1015-11:1999, NEQ) [57].

Розшаровування суміші розчинової

В'язність характеризує розшаровування свіжоприготованої розчинової суміші її під динамічним впливом. Для його оцінки порівнюють масовий вміст заповнювача в верхній та нижній частинах контрольного зразка розміром 150×150×150 мм [57, 58].

Для проведення випробування використовують:

сталеві форми 150×150×150 мм;

лабораторну віброплощадку типу 435А;

лабораторні ваги з точністю до 2 г;

сушильну шафу;

сито з отворами 0,14 мм [57].

Виконання даної методики передбачає послідовність ретельно визначених кроків.

На початковому етапі, новоприготовлену композицію, що підлягає дослідженню, акуратно розміщують у спеціально підготовлену форму. Після цього матеріал піддається процесу інтенсивного ущільнення або консолідації з метою формування гомогенного контрольного зразка для подальших випробувань.

Далі, отриманий тестовий екземпляр поміщають на спеціалізованій лабораторній вібраційній стенд, де він піддається інтенсивному впливу коливальних рухів протягом однієї хвилини [57, 58].

По завершенні циклу вібраційної обробки відбувається розділення зразка. Поверхневий шар, що має чітко визначену товщину ($7,5 \pm 0,5$ міліметра), обережно відокремлюється та переміщується на підготовлений чистий лист (деко). Решту матеріалу, а саме нижній сегмент зразка, вивантажують на інший збірний контейнер (деко) шляхом контрольованого перевертання. Обидві виділені порції матеріалу підлягають точному зважуванню з дотриманням похибки не більше 2 грамів. Після цього вони проходять етап вологого просіювання із використанням спеціалізованого сита, що має розмір вічка 0,14

міліметра [57].

В процесі виконання вологого просіювання проби інтенсивно промиваються дистильованою або чистою водою. Це триває до моменту повного вилучення всіх водорозчинних складових з матеріалу. Фаза промивання вважається успішно завершеною тоді, коли рідина, яка проходить крізь сітчасту поверхню сита, набуває абсолютної прозорості та не містить видимих домішок. Згодом, ретельно відмитий агрегатний матеріал акуратно збирається на попередньо очищений лист (деко), після чого він піддається процесу висушування в сушильній шафі при температурному режимі від 105 до 110 градусів Цельсія. Сушіння продовжується до досягнення постійної (стабільної) маси, що свідчить про повне випаровування вологи. На фінальному етапі виконується контрольне зважування висушеного матеріалу з гарантованою точністю не більше 2 грамів [57, 58].

Масовий вміст заповнювача у верхній та нижній частинах ущільненого зразка визначається за формулою [57]:

$$V = \frac{m_1}{m_2} \times 100, \quad (3.3)$$

де m_1 – маса проби, відмитого заповнювача з верхньої (нижньої) частини зразка, г;

m_2 – маса проби розчину, відібраної проби з верхньої (нижньої) частини зразка, г.

Значення розшарування розчинової суміші n :

$$\bar{i} = \frac{\Delta V}{\Sigma V} \times 100, \quad (3.4)$$

Де ΔV – величина абсолютного розходження за вмістом заповнювача у верхній і нижній частинах зразка, %;

ΣV – сума заповнювачів верхньої і нижньої частин зразка, %.

Показник розшарування для кожної проби розчинової суміші визначають двічі. Результати обчислюють як середнє арифметичне двох вимірювань, округлене до 1 %. При цьому допустима різниця між двома результатами не

повинна перевищувати 20 % від меншого значення. Якщо розбіжність більша, вимірювання повторюють на новій пробі розчину.

Дслідження водоутримуючої здатності розчинової суміші

Водоутримуючу здатність визначають шляхом випробування шару розчину товщиною 12 мм, розміщеного на промокальному папері [57, 59].

Схема приладу для визначення водоутримуючої здатності суміші наведена на рис. 4.2. Перед початком випробування 10 аркушів промокального паперу зважують з точністю до 0,1 г і укладають на скляну підставку. Зверху розміщують марлеву прокладку і металеве кільце, після чого зважують конструкцію ще раз [57].

Ретельно перемішану розчинову суміш укладають у межах металевого кільця, вирівнюють поверхню і зважують. Після 10 хвилин витримки металеве кільце разом із марлею обережно знімають. Промокальний папір повторно зважують з точністю до 0,1 г.

Водоутримуючу здатність суміші VVV обчислюють як відношення вмісту води в пробі до і після випробування за формулою:

$$V = \left(100 - \frac{m_2 - m_1}{m_4 - m_3} \times 100 \right), \quad (3.5)$$

де m_1 – маса паперу до випробувань, г;

m_2 – маса паперу після випробування, г;

m_3 – маса без суміші розчину, г;

m_4 – маса з сумішшю розчину, г.

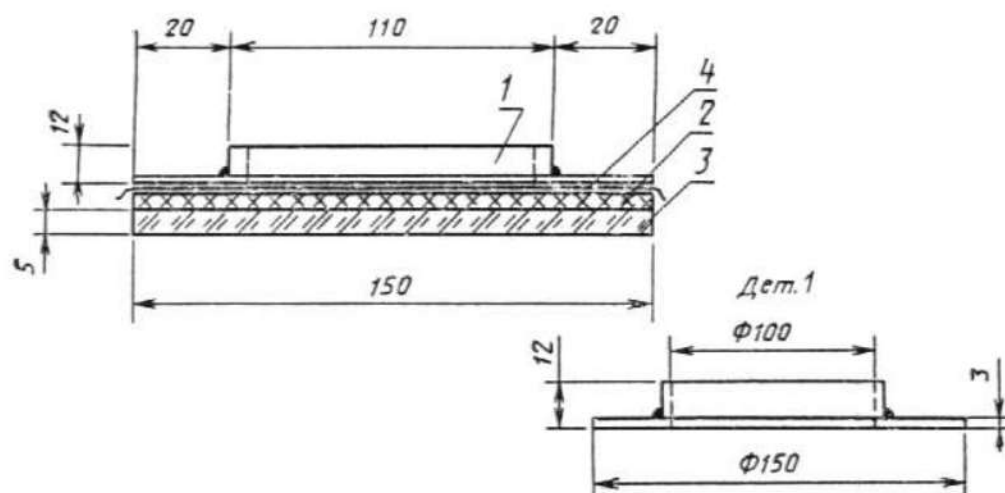


Рис. 3. 1 Визначення водоутримуючої здатності суміші розчину

Замість металевого кільця для випробування водоутримуючої здатності використовують металевий конус, який встановлюють на струшувальний столик (див. рис. 6.5.1). Обґрунтування застосування конуса ґрунтується на подібності об'ємів між цим приладом і стандартним циліндричним кільцем.

Об'єм циліндра визначають за формулою:

$$V_0 = \pi R^2 h = 3,14 \times 25 \times 1,2 = 94,2 \text{ м}^3. \quad (3.6)$$

Об'єм конуса:

$$V_{\text{к}} = \frac{\pi h}{3} (R_1^2 + R_2^2 + R_1 \times R_2) = \frac{3,14 \times 4}{3} (3,25^2 + 3,75^2 + 3,25 \times 3,75) = 154,11 \text{ м}^3. \quad (3.7)$$

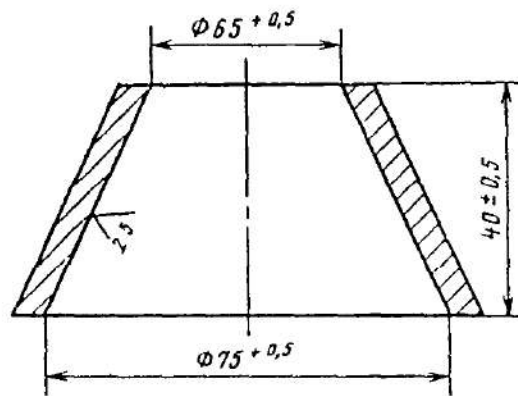


Рис. 3.2. Зрізаний конус для визначення водоутримуючої здатності

Водоутримуючу здатність кожної проби розчину визначають двічі, після чого обчислюють середнє арифметичне значення цих двох результатів. Результати вважаються достовірними, якщо їхня різниця не перевищує 20 % від меншого значення; у разі більшої розбіжності дослід повторюють на новій пробі.

3.3. Визначення якості цементу

Якість цементу контролюють на відповідність встановленим нормам [18]. На всі типи цементу поширюються положення [19], які регламентують порядок

проведення випробувань для визначення наступних характеристик:

- дисперсності помелу цементу;
- однорідності об'ємних змін цементу;
- консистенції цементного розчину;
- тонкості помелу за питомою поверхнею [20];
- нормальної густини та тривалості тужавіння цементного розчину [21];
- межі міцності на згин та стиск зразків-балочок, виготовлених із цементного розчину [22].

Отримані результати порівнювали з нормативними показниками, представленими у таблиці 4.1.

3.4. Визначення якості піску

Контроль якості піску проводиться відповідно до чинних норм ДСТУ Б В.2.7-32:2011 [60]. Для всіх видів піску застосовуються положення ДСТУ Б В.2.7-114:2015, що регламентують порядок випробувань для оцінки таких властивостей [61]:

- крупності піску, визначеної модулем;
- вмісту пилюватих та глинистих часток;
- наявності органічних домішок;
- насипної густини;
- пустотності;
- вологості матеріалу.

Результати проведених випробувань порівнювали з нормативними значеннями, що наведені в таблиці 4.2.

3.5. Якість добавки

Оскільки добавка-дефекат являє собою суміш вапна – відхід виробництва цукру, контроль її якості здійснюється згідно з вимогами ДСТУ Б В.2.7-90:2009 [62], а на всі типи вапна поширюються положення ДСТУ EN 459-1:2014 [63].

Характеристики матеріалу надані ТОВ «Агропромислове об'єднання “Цукровик Полтавщини”» [64].

РОЗДІЛ 4. ХАРАКТЕРИСТИКА ВИХІДНИХ МАТЕРІАЛІВ

4.1. Оцінка якості цементу

Контроль якості цементу здійснювався відповідно до вимог нормативних документів та методики, описаної в розділі 3.2 . Отримані результати випробувань представлені в таблиці 4.1 [65].

Таблиця 4.1

Характеристика в'язучого (портландцементу)

Показник	Нормативні вимоги	Результати
Тонкість помелу	проходження через сито №008 не менше 85%	92 %
Нормальна густина цементного тіста	$H_r=24 - 28\%$	26,5%
Терміни тужавіння цементу - початок - кінець	від 60 хв. до 10 год	65 хв 9,5 год
Границя міцності при згині	60 – 80	55,2 кгс/см ²
Границя міцності при стиску		425,88кгс/см ²
Консистенція цементного розчину	106 – 115	106 мм

4.2. Оцінка якості дрібного заповнювача

Визначення якості піску проводилося відповідно до методики, описаної в розділі 3.3 [66]. Результати проведених випробувань представлені в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2

Характеристики піску

Показник	Вимоги	Результати
Модуль крупності	Не нормується	0,9
Вміст пиловидних та глинистих часток	5 – 10%.	9%
Вміст органічних домішок	Еталонна суміш	норма
Істина густина	2,6	2,6 г/см ³
Насипна густина	до 1300	1269кг/м ³
Пустотність		50%
Вологість	6%	5,26%

4.2. Характеристики добавки (відходу виробництва)

Визначення якості дефекату виконувалося відповідно до вимог [67]. Основні характеристики дефекату наведені в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3

Характеристика дефекату

Показник	Одиниці	Значення
Вміст цукрових речовин	%	4
Питома поверхня	см ² /г	5000
Істина густина	г/см ³	2,7
Вологість	%	33,2
Густина	г/см ³	1,401

РОЗДІЛ 5. ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДІВ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

5.1. Витрати матеріалів

Відповідно до [68] розраховано склад досліджуваних будівельних розчинів, а розрахунок витрат матеріалів для марок М300, М200 та М150 наведено в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1

Витрати матеріалів для розчинів

Марка розчину	Цемент, кг	Пісок, кг
М300	565	1300
М200	440	1300
М150	315	1300
М100	240	1300
М75	190	1300
М50	140	1300

5.2. Аналіз впливу добавки на властивості будівельного розчину

Проведення експериментальних досліджень було здійснене з використанням передових математико-статистичних методів планування експериментів, детальний опис яких представлено у розділі 3 цього наукового дослідження [69, 70]. Як ключові параметри, що підлягали детальному вивченню та мали значний вплив на кінцеві властивості матеріалу, були обрані витрати цементу та дефекату [71]. Діапазони варіювання цих критично важливих факторів, що визначають умови проведення експериментів, детально відображені у таблиці 5.2, що дозволяє повною мірою охопити весь спектр досліджуваних значень [69].

Таблиця 5.2

Інтервали варіювання

Код.	Значення коду	Значення факторів	
		X_1 , кг	X_2 , кг
Основний рівень	0	440	60
Інтервал варіювання	ΔX_i	115	10
Верхній рівень	+1	565	80
Нижній рівень	-1	315	40

Матриця експерименту 1

№ досліджу	План експерименту		змінні натуральні значення		Міцність на стиск (7 діб), МПа	Міцність на стиск (28 діб), МПа	Розшарування, %	Водоутримуюча здатність, %	Середня густина, г/см ³
	X1	X2	X1	X2					
1	1	1	565	80	5,39	11,15	0,75	96,7	1,74
2	1	-1	565	40	6,01	12,12	2,33	97,9	2,13
3	-1	1	315	80	1,75	4,12	3,14	97,6	2,12
4	-1	-1	315	40	2,22	4,14	4,17	99,8	1,84
5	1	0	565	60	7,14	12,16	4,77	96,9	1,86
6	-1	0	315	60	4,21	4,18	4,88	97,8	1,85
7	0	1	440	80	4,21	7,17	10,14	97,8	1,84
8	0	-1	440	40	4,41	9,55	10,14	97,1	2,12
9	0	0	440	60	6,55	9,55	3,14	98,2	2,14
10	0	0	0	0	10,88	19,88	7,66	97,5	2,13
11	0	0	0	0	9,11	14,14	5,86	97,9	2,08

Виконано коригування витрат дефекату та піску з урахуванням того, що досліджуваний виробничий відхід містить 40 % вапна та 60 % дефекату, що відповідає вимогам до обліку складу мінеральних добавок під час проектування будівельних розчинів [72, 73]. Результати виконаного перерахунку наведені в таблиці 5.4.

Також здійснено коригування витрати води з урахуванням фактичної вологості дефекату відповідно до положень чинних стандартів щодо визначення та врахування вологості заповнювачів і добавок у будівельних розчинах [74, 75]. Результати відповідного перерахунку представлені в таблиці 5.5.

Корегування витрати добавки і піску

№ досліду	План		Цемент, кг	Вапно, кг	Дефекат, кг	Пісок, кг
	X1	X2	X1	X2		
1	1	1	565	80	290	1150
2	1	-1	565	40	156	1210
3	-1	1	315	80	290	1150
4	-1	-1	315	40	156	1210
5	1	0	565	60	213	1180
6	-1	0	315	60	213	1180
7	0	1	440	80	190	1150
8	0	-1	440	40	156	1210
9	0	0	440	60	223	1150

Таблиця 5.5

Витрати води на 1 м³ розчинової суміші

№ досліду	Цемент, кг	Дефекат, кг	Вода, л	Кількість води в дефекаті, л	Витрата води на 1 м ³ , л	Рухливість см
1.	565	290	318	96	414	10,4
2.	565	156	371	52	423	10,3
3.	315	290	378	96	474	11,4
4.	315	156	349	52	401	9,2
5.	565	213	378	76	454	10,5
6.	315	213	398	76	474	11,6
7.	440	190	346	96	442	10,3
8.	440	156	344	54	398	10,4
9.	440	223	355	76	431	10,7

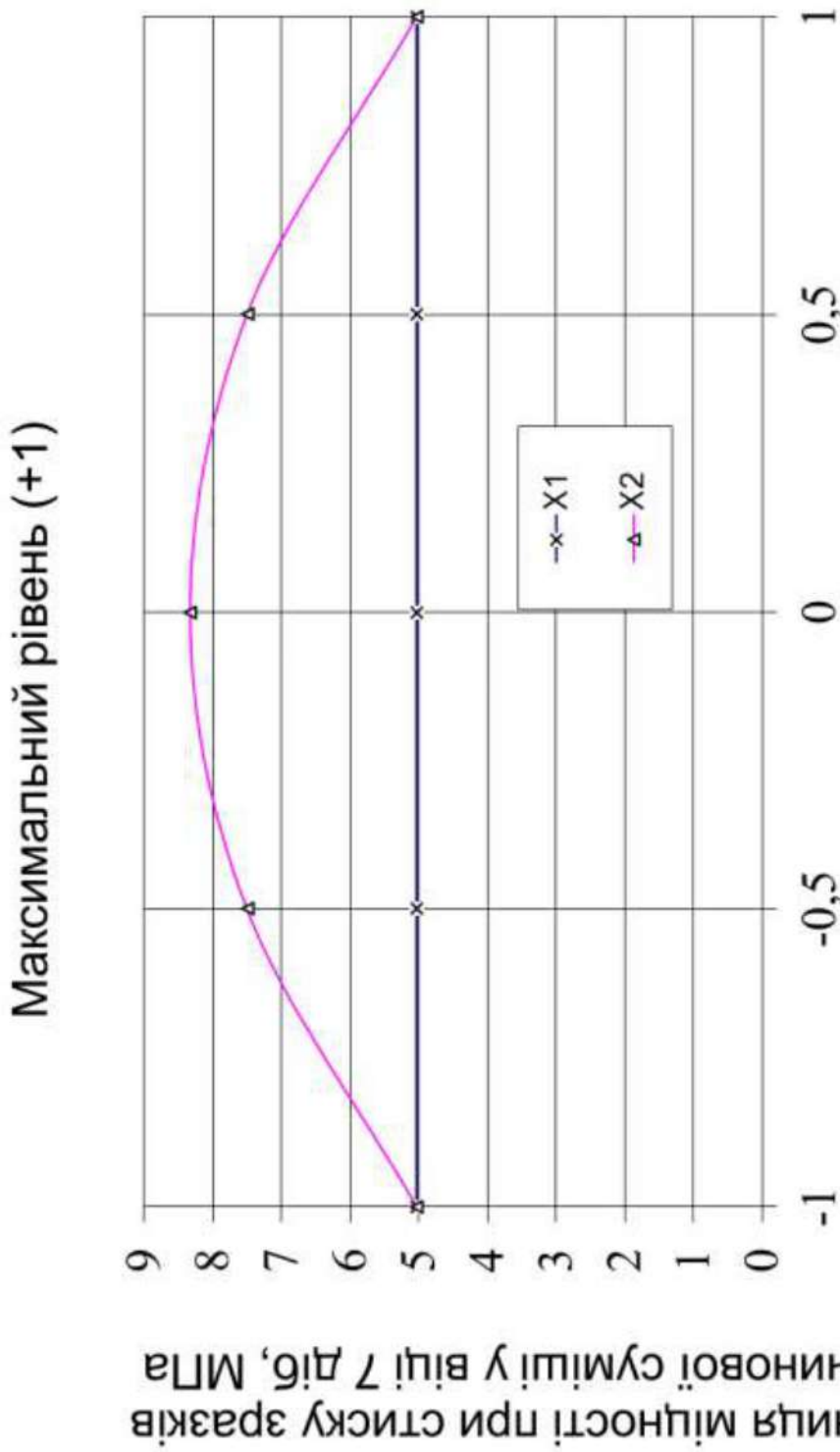
5.2.1. Міцність зразків будівельного розчину (7 діб)

Алгебраїчне рівняння міцності розчину

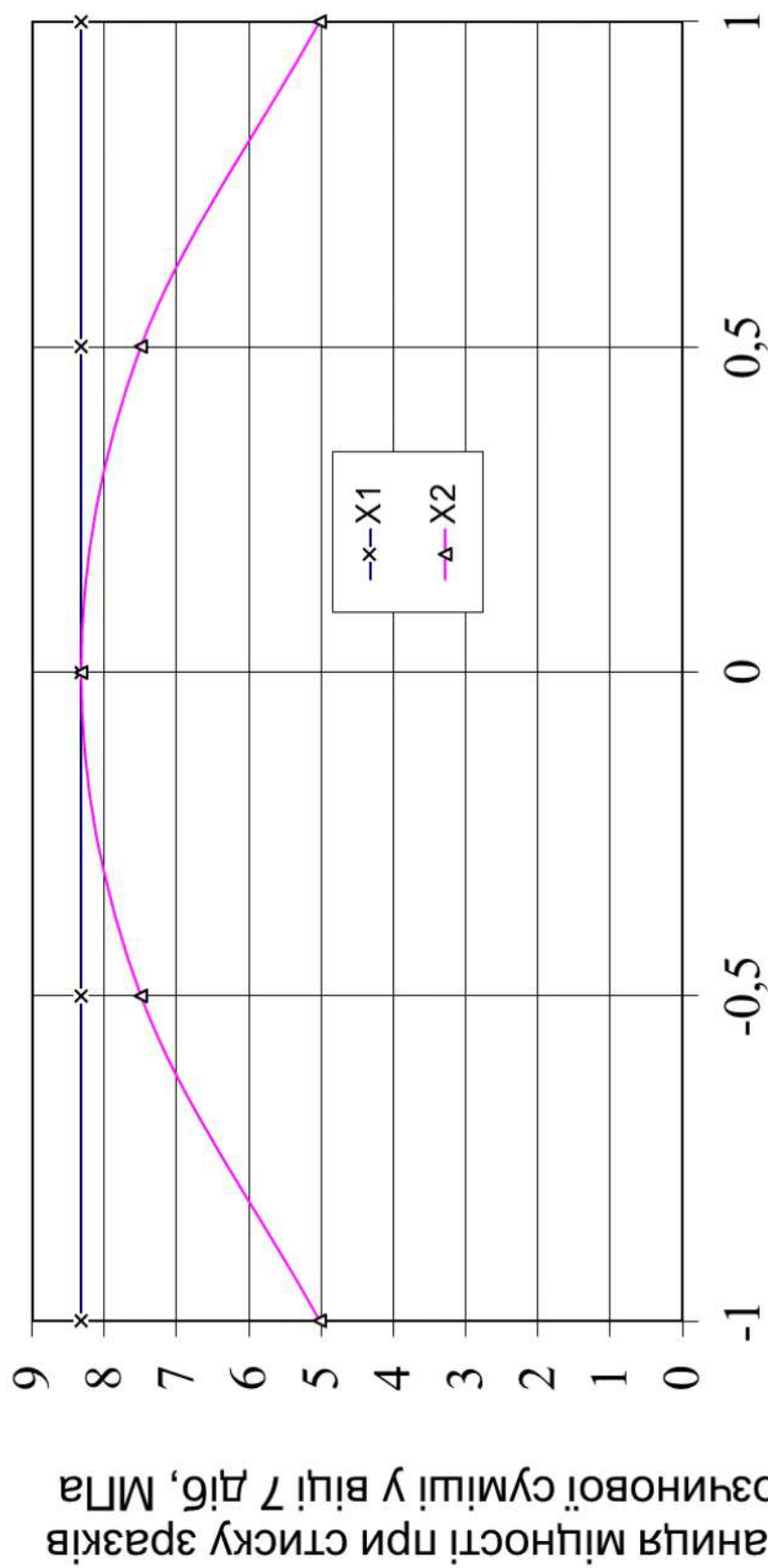
$$Y = b_0 + X_1b_1 + X_2b_2 + X_{12}b_{12} + X_{22}b_{22} + X_1X_2b_{1b2} \quad (5.1)$$

Згідно з критерієм Фішера, отримане рівняння адекватно описує вихідну залежність у межах досліджуваних значень факторів, оскільки обчислене значення $F=1,74$ $F_{кр} = 1,74$ значно менше критичного.

За рівнянням (5.1) побудовані графіки на рис. 5.1, 5.2, 5.3.



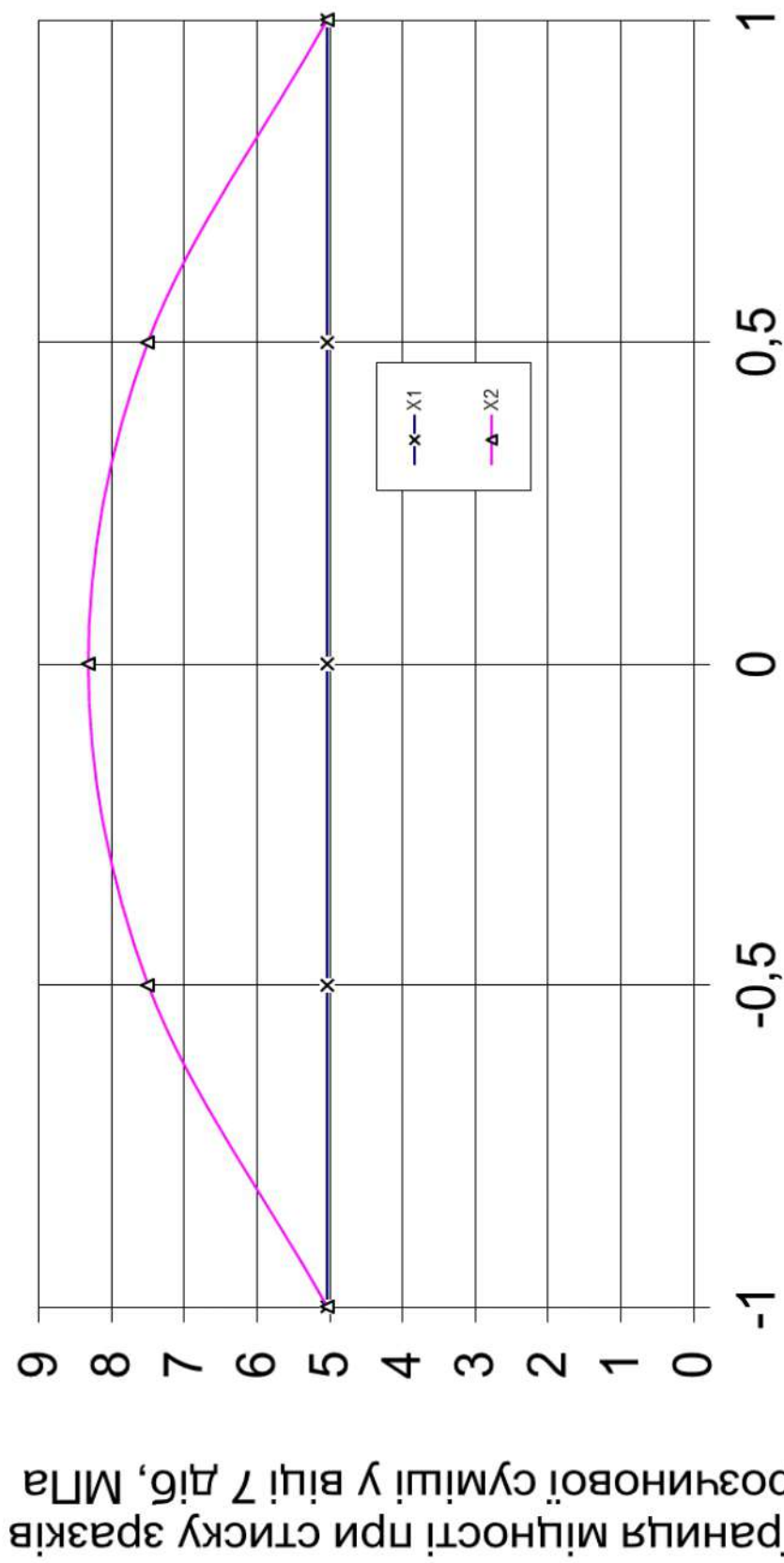
Основний рівень (0)



Змінні фактори X1, X2.

5.2. Дослідження впливу витрати цементу та дефекату на границю міцності на стиск у віці 7 днів розчинів (150-300)

Мінімальний рівень (-1)



Границя міцності при стиску зразків розчинової суміші у віці 7 діб, МПа

Змінні фактори X1, X2.

5.3. Дослідження впливу витрати цементу та дефекату на границю міцності на стиск у віці 7 діб розчинів (150-300)

Аналіз отриманого рівняння показує, що визначальний вплив на міцність будівельних розчинів має витрата цементу, що узгоджується з загальними положеннями теорії формування міцності цементних композицій та результатами експериментально-статистичних досліджень складу розчинів, наведеними у використаних джерелах [49, 53]. Графічні залежності у трьох варіантах (рис. 5.1) свідчать, що максимальні значення міцності досягаються при середньому рівні витрат компонентів навіть у разі встановлення факторів на граничних значеннях, що є характерним для квадратичних регресійних моделей, застосовуваних у технології будівельних розчинів [53, 57].

За базових (основних) значень факторів міцність розчинів також набуває максимальних значень саме при середньому споживанні матеріалів, що підтверджує адекватність обраної математичної моделі та коректність прийнятого плану експерименту [49, 57]. На рис. 5.3 показано, що мінімальні значення міцності відповідають умовам мінімальних витрат компонентів, що відповідає загальновідомим закономірностям формування структури та міцності цементного каменю [49].

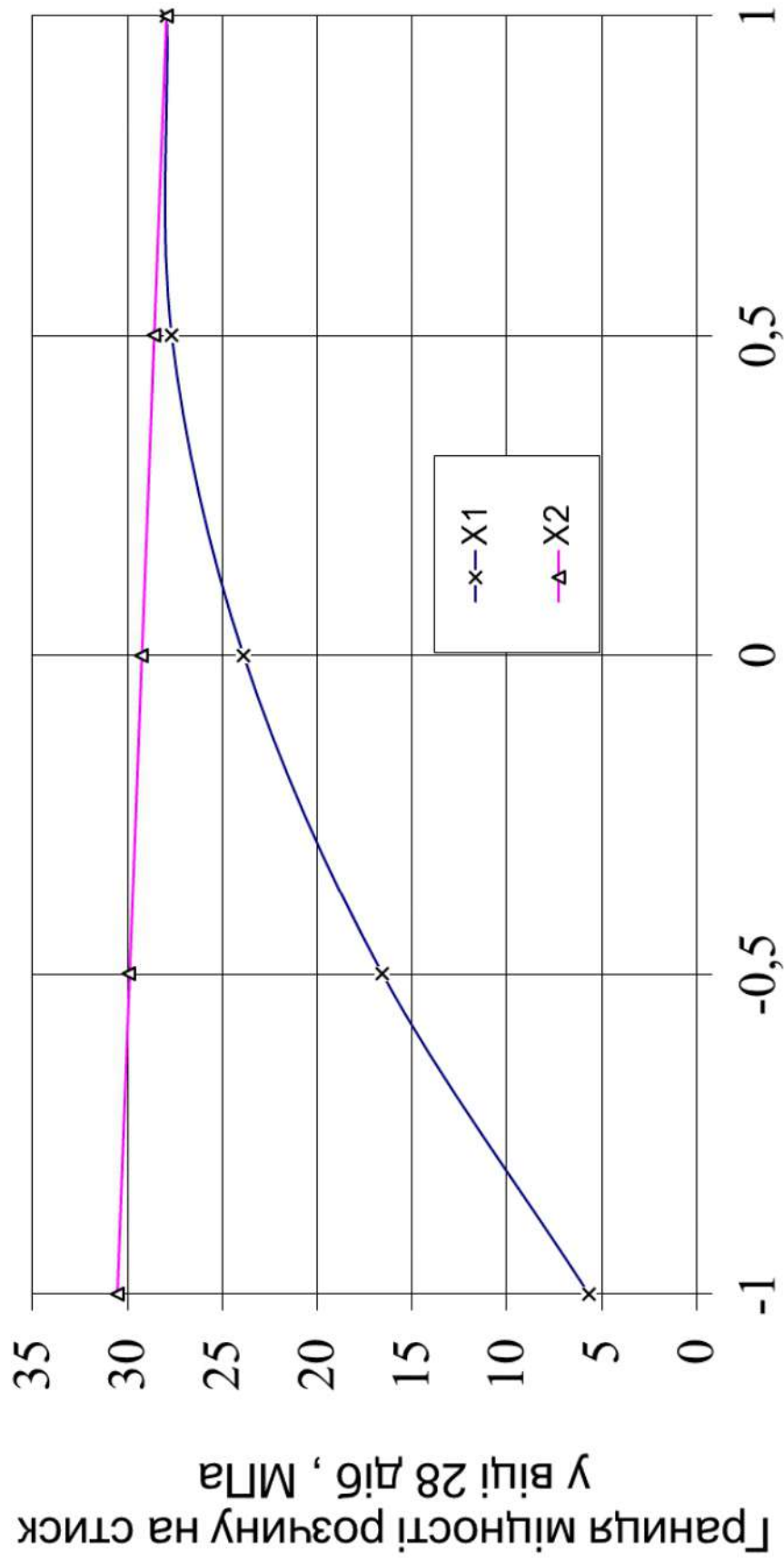
5.2.2. Міцність зразків будівельного розчину (28 діб)

Алгебраїчне рівняння міцності розчину

$$Y = b_0 + X_1b_1 + X_2b_2 + X_1^2b_1^2 + X_2^2b_2^2 + X_1X_2b_1b_2 \quad (5.2)$$

За критерієм Фішера рівняння визнано придатним для опису вихідної залежності в межах досліджуваних змін факторів, оскільки $12,52 < 19,1$. На основі рівняння (5.2) були побудовані графічні залежності, представлені на рис. 5.4, 5.5 та 5.6.

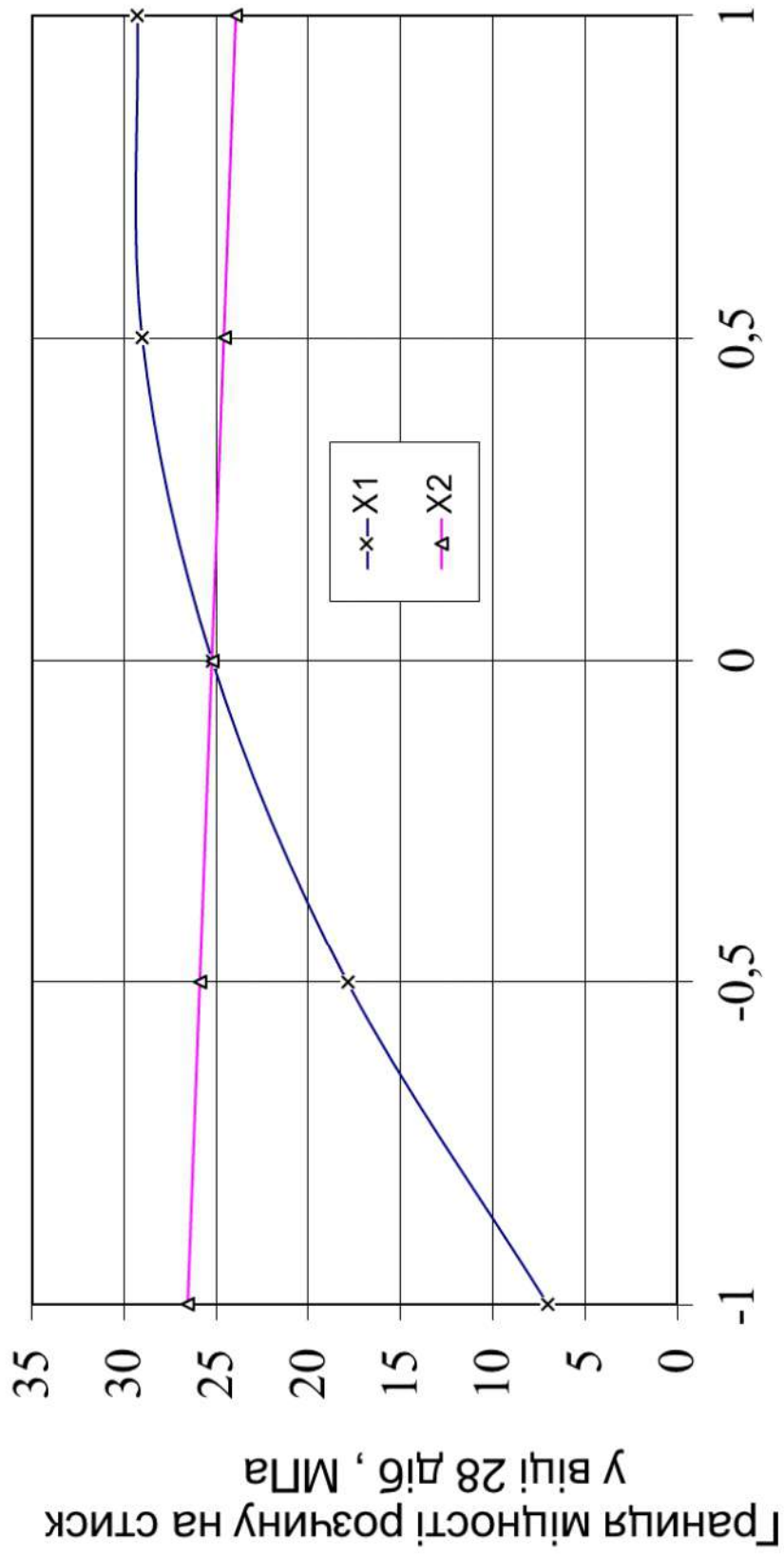
Максимальний рівень (+1)



Змінні фактори X1, X2.

5.4. Дослідження впливу витрати цементу та дефекату на міцність розчину у віці 28 діб (марки розчинів 150-300)

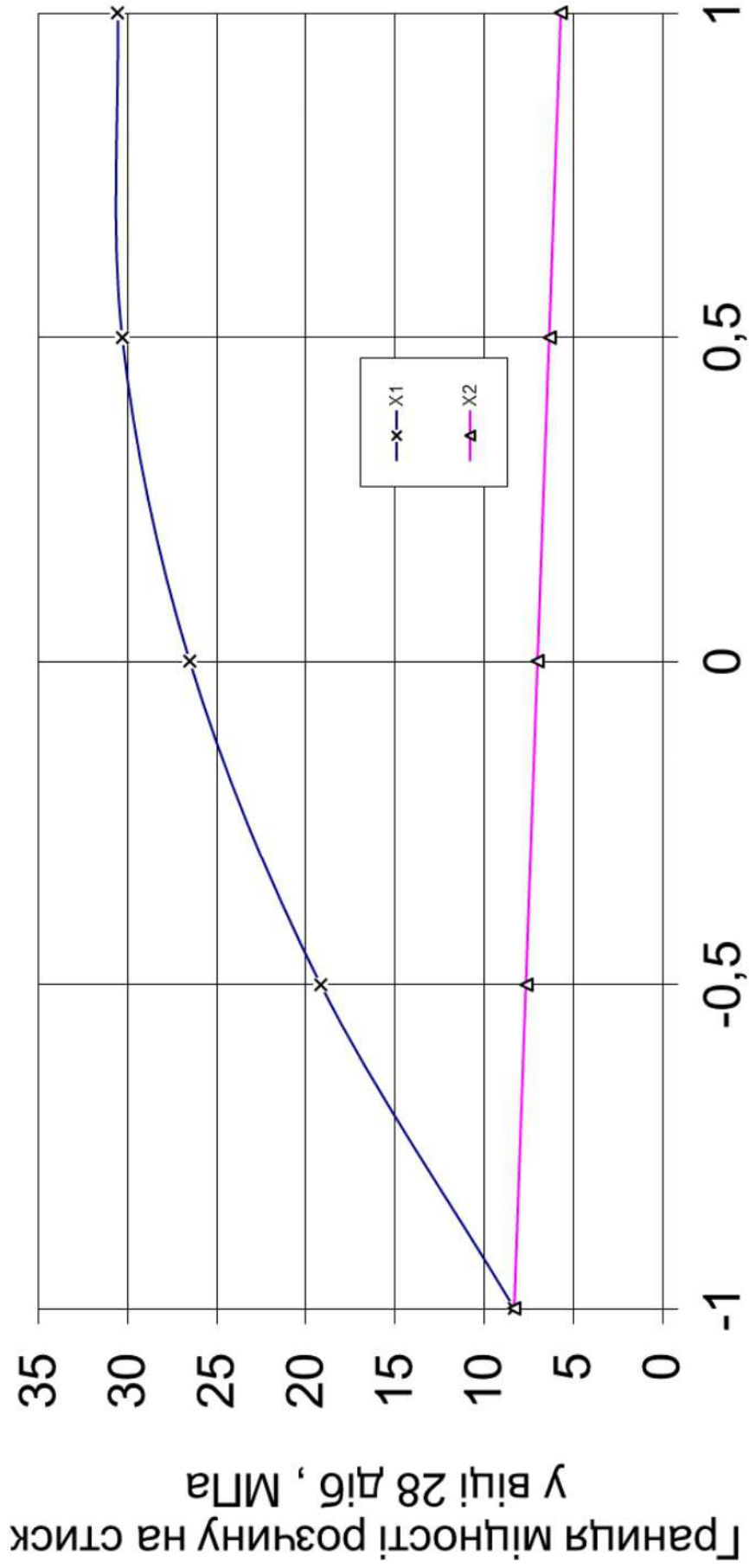
Основний рівень (0)



Змінні фактори X1, X2.

5.5. Дослідження впливу витрати цементу та дефекату на міцність розчину у віці 28 діб (марки розчинів 150-300)

Мінімальний рівень (-1)



Змінні фактори X1, X2.

5.6. Дослідження впливу витрати цементу та дефекату на міцність розчину у віці 28 діб (марки розчинів 150-300)

Аналіз отриманого рівняння показує, що на міцність розчинів найбільший вплив має кількість використаного цементу, що відповідає встановленим закономірностям формування міцності будівельних розчинів і положенням математико-статистичного моделювання складів композиційних матеріалів [27, 53]. Графіки залежностей (рис. 5.4) у трьох варіантах демонструють, що навіть при максимальних значеннях факторів міцність розчину досягає піку при максимальній витраті компонентів, що характерно для регресійних моделей з домінуючим впливом цементного чинника [53, 57].

Коли фактори встановлені на основному рівні, найвищу міцність також спостерігають при максимальному споживанні цементу, що підтверджує адекватність отриманої математичної моделі та коректність вибору інтервалів варіювання факторів [27, 53]. На рис. 5.6 видно, що мінімальні значення міцності відповідають умовам мінімальної витрати всіх компонентів, що узгоджується з експериментальними даними та загальними положеннями теорії структури й властивостей будівельних розчинів [27, 57].

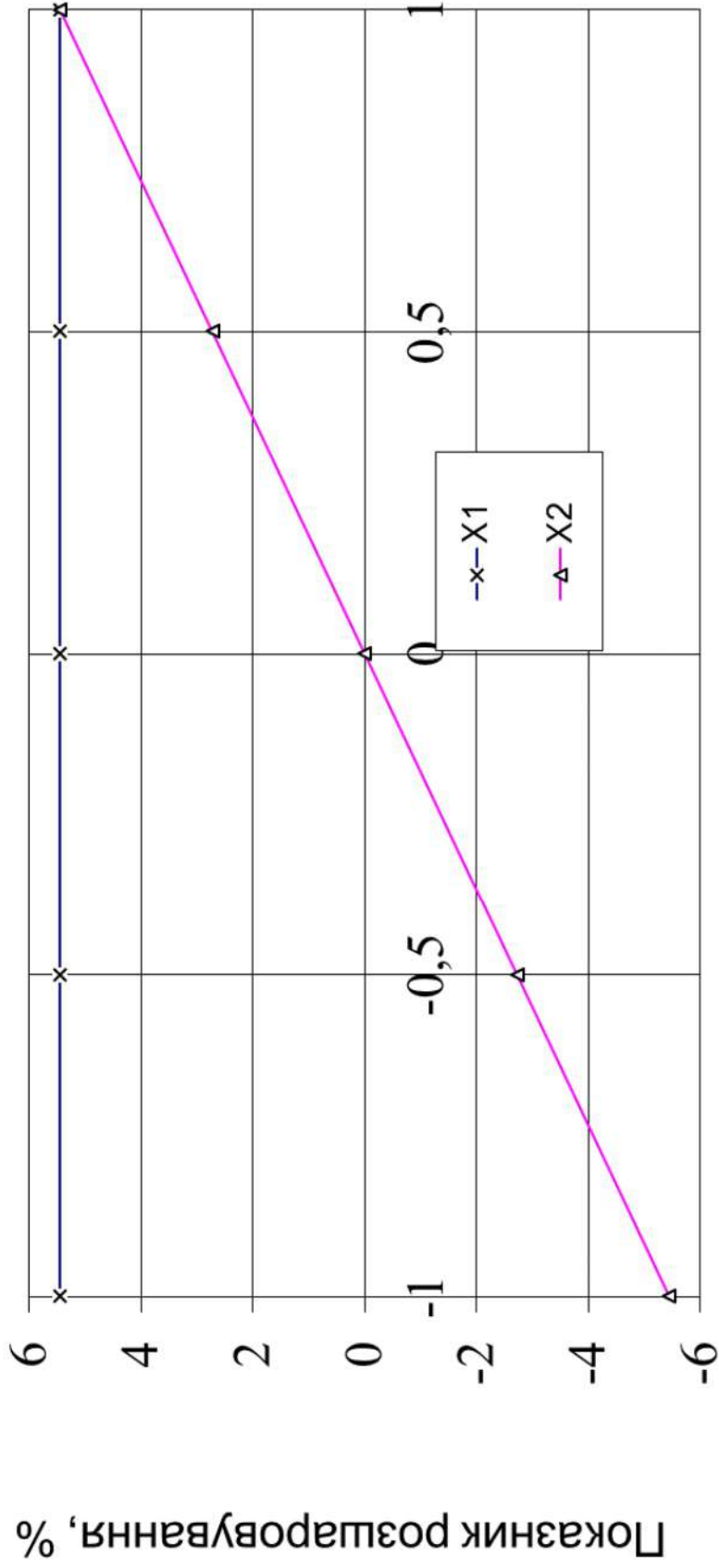
5.2.3. Розширення розчинової суміші

Алгебраїчне рівняння міцності розчину

$$Y = b_0 + X_1b_1 + X_2b_2 + X_1^2b_1^2 + X_2^2b_2^2 + X_1X_2b_1b_2 \quad (5.3)$$

Рівняння відповідає критерію Фішера і придатне для моделювання вихідної залежності в межах досліджуваних факторів, оскільки $17,32 < 19,1$. На основі рівняння (5.3) побудовано графічні залежності, представлені на рис. 5.7, 5.8 та 5.9.

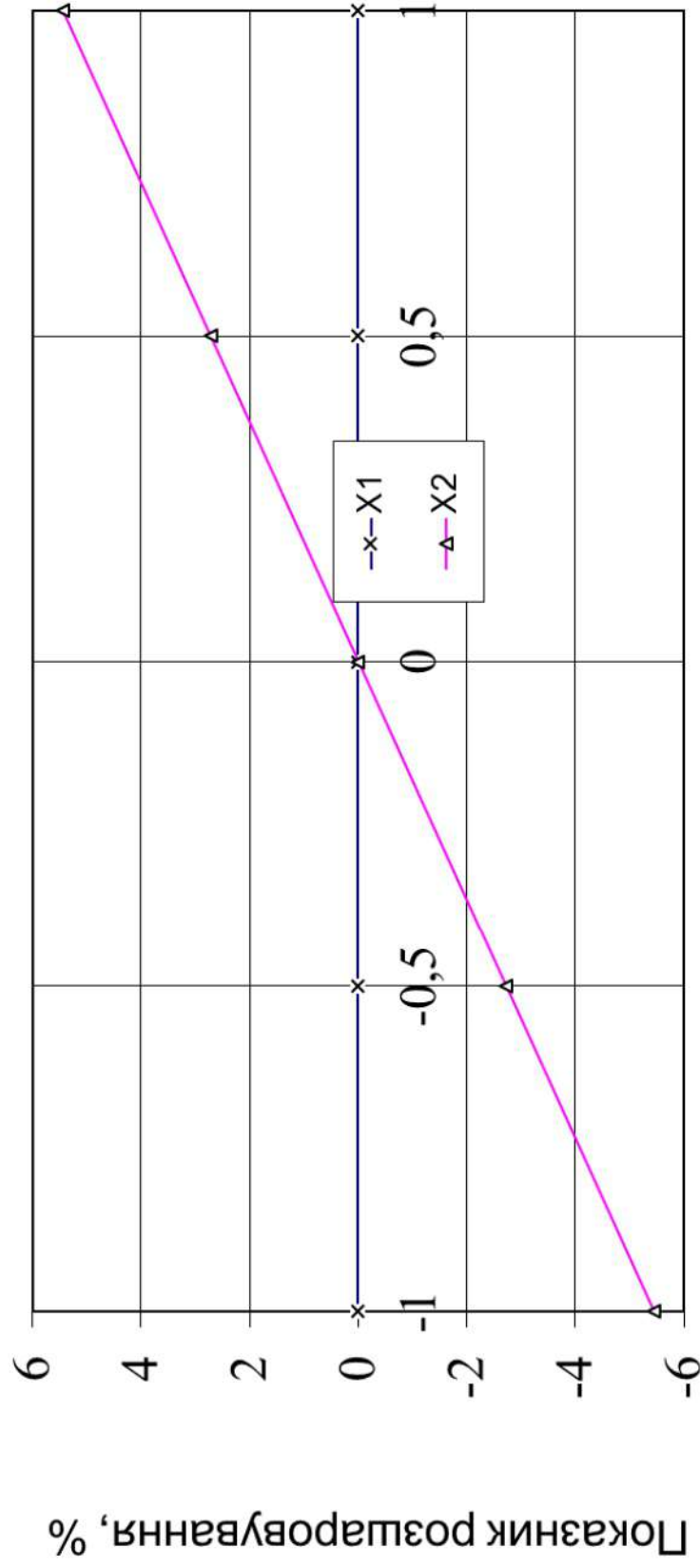
Максимальний рівень (+1)



Змінні фактори X1, X2.

5.7. Дослідження впливу витрат цементу на розшаровуваність розчинової суміші (марки розчинів 300-150)

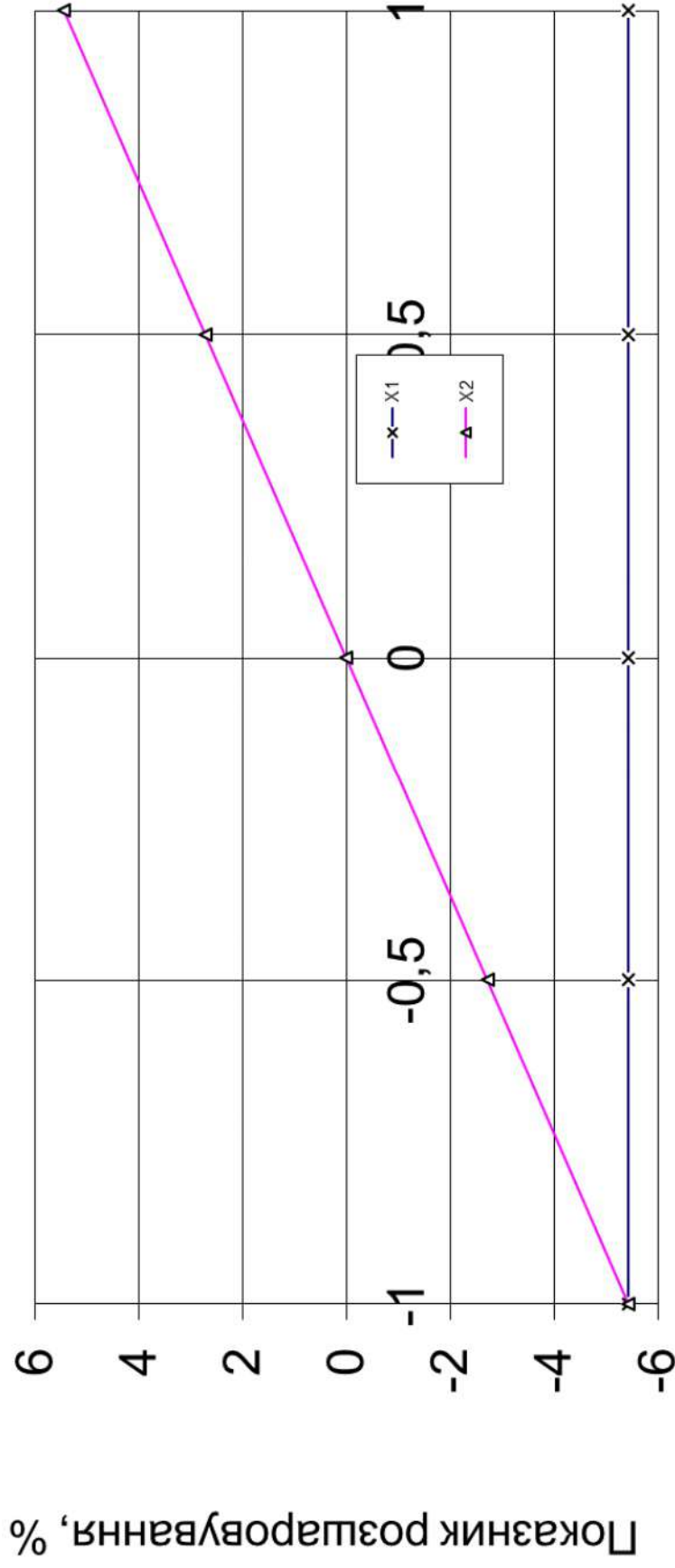
Основний рівень (0)



Змінні фактори X1, X2.

5.8. Дослідження впливу витрат цементу на розшаровуваність розчинової суміші (марки розчинів 300-150)

Мінімальний рівень (-1)



Змінні фактори X_1, X_2 .

5.9. Дослідження впливу витрат дефектаті цементу на розшаровуваність розчинової суміші (марки розчинів 300-150)

Аналіз отриманого рівняння показав, що визначальний вплив на розшаровуваність розчинової суміші має витрата цементу, що узгоджується з положеннями теорії структуроутворення цементних систем та результатами експериментально-статистичних досліджень, використаних у роботі [49, 53]. За графічними залежностями (рис. 5.7–5.9) встановлено, що при максимальних рівнях факторів розшаровуваність суміші досягає найбільших значень за середнього рівня витрат компонентів, що є характерним для квадратичних регресійних моделей складу будівельних розчинів [53, 57].

У разі встановлення факторів на базовому рівні максимальна розшаровуваність спостерігається при підвищеній витраті цементу, що пояснюється зростанням неоднорідності структури суміші за надлишкового в'язучого [49]. Мінімальні значення розшаровуваності відповідають умовам мінімальної витрати всіх компонентів, що підтверджується даними, наведеними на рис. 5.9, і відповідає загальновідомим закономірностям поведінки розчинових сумішей [49, 53].

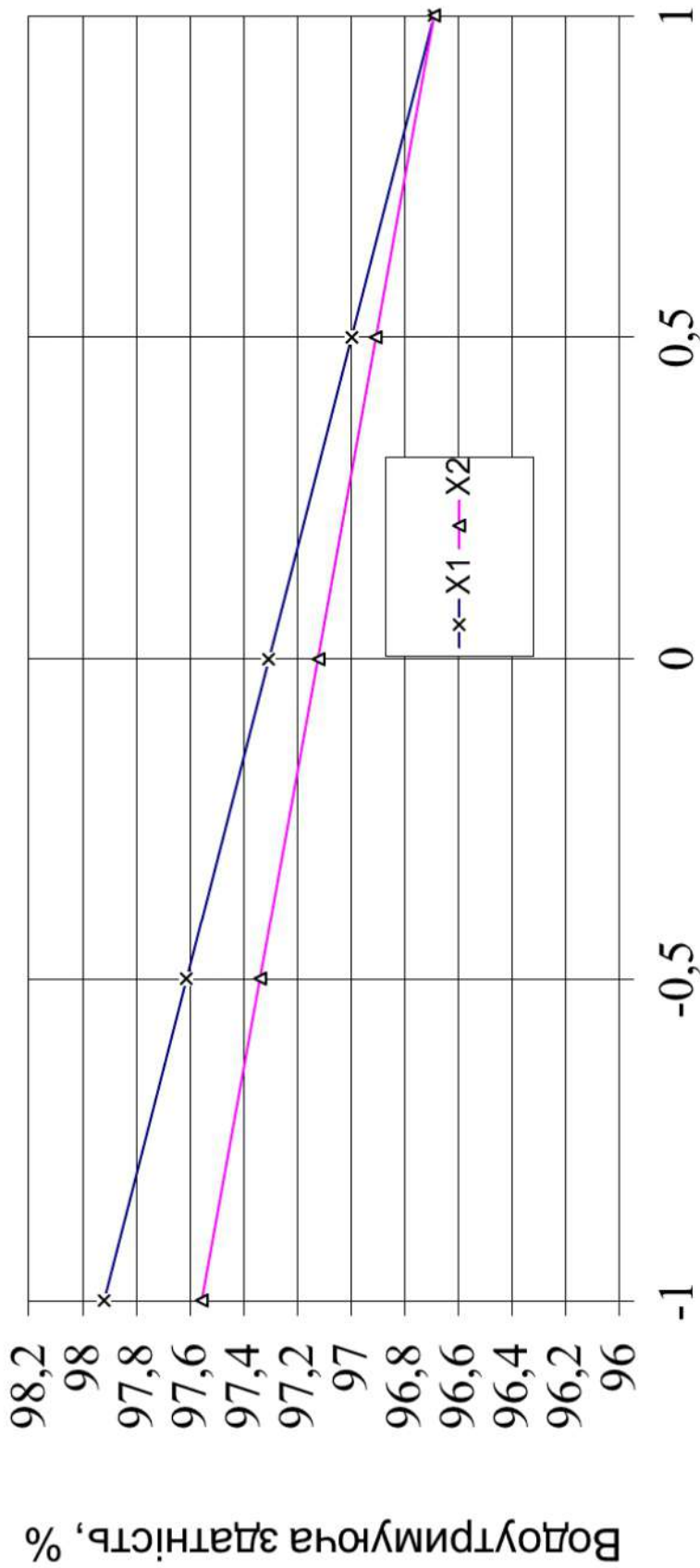
5.2.4. Водоутримуюча здатність суміші розчину

Алгебраїчне рівняння міцності розчину

$$Y = b_0 + X_1b_1 + X_2b_2 + X_1^2b_1^2 + X_2^2b_2^2 + X_1X_2b_1b_2 \quad (5.4)$$

За критерієм Фішера рівняння визнане придатним для опису вихідної залежності в межах досліджуваних факторів, оскільки значення $F = 3,31$ менше табличного 19,2. На основі рівняння (5.4) побудовані графічні залежності, представлені на рис. 5.10, 5.11 та 5.12.

Максимальний рівень (+1)



Змінні фактори X1, X2.

Рис.5.10.Дослідження впливу витрат дефекату цементу на водоутримуючу здатність розчинової суміші (марки розчинів 150-300)

ОСНОВНИЙ РІВЕНЬ (0)

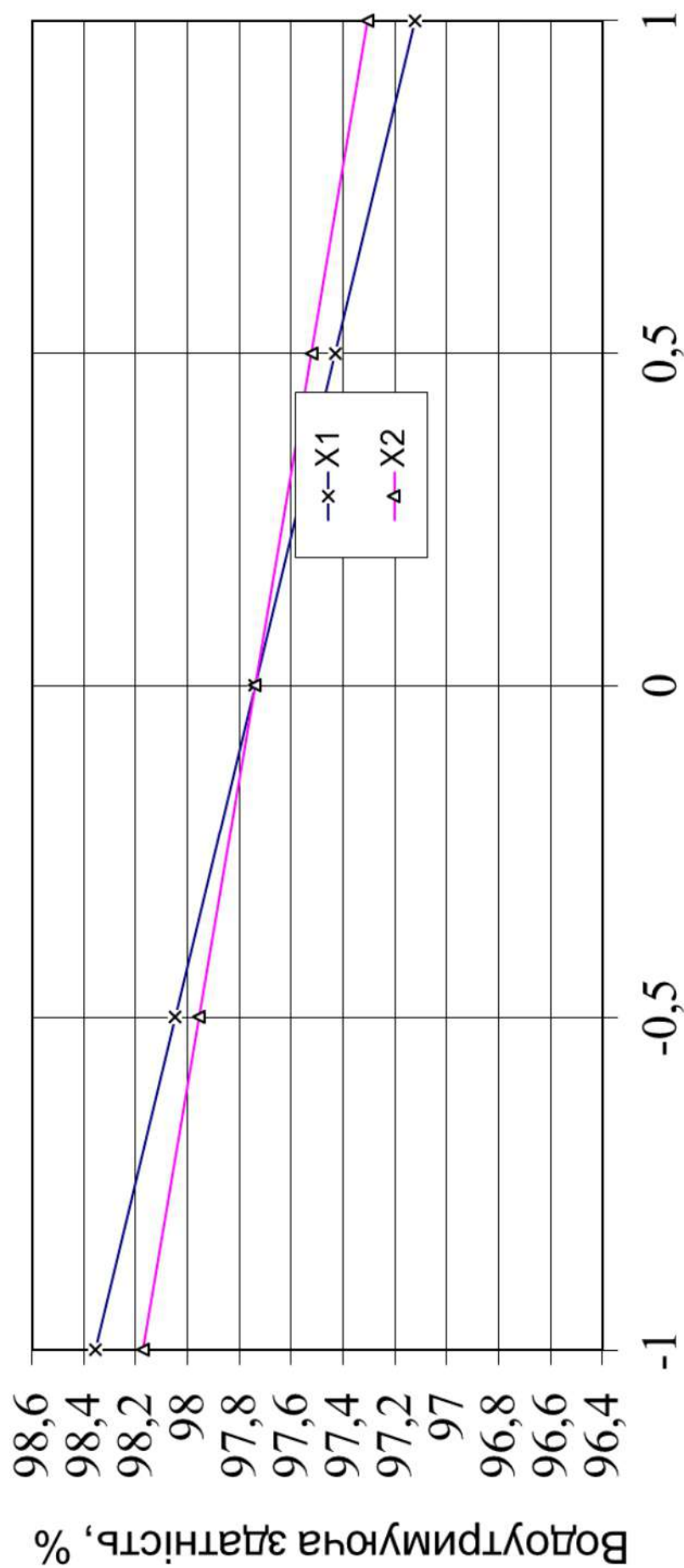


Рис.5.11.Дослідження впливу витрат дефектаті цементу на водоутримуючу здатність розчинової суміші (марки розчинів 150-300)

Мінімальний рівень (-1)

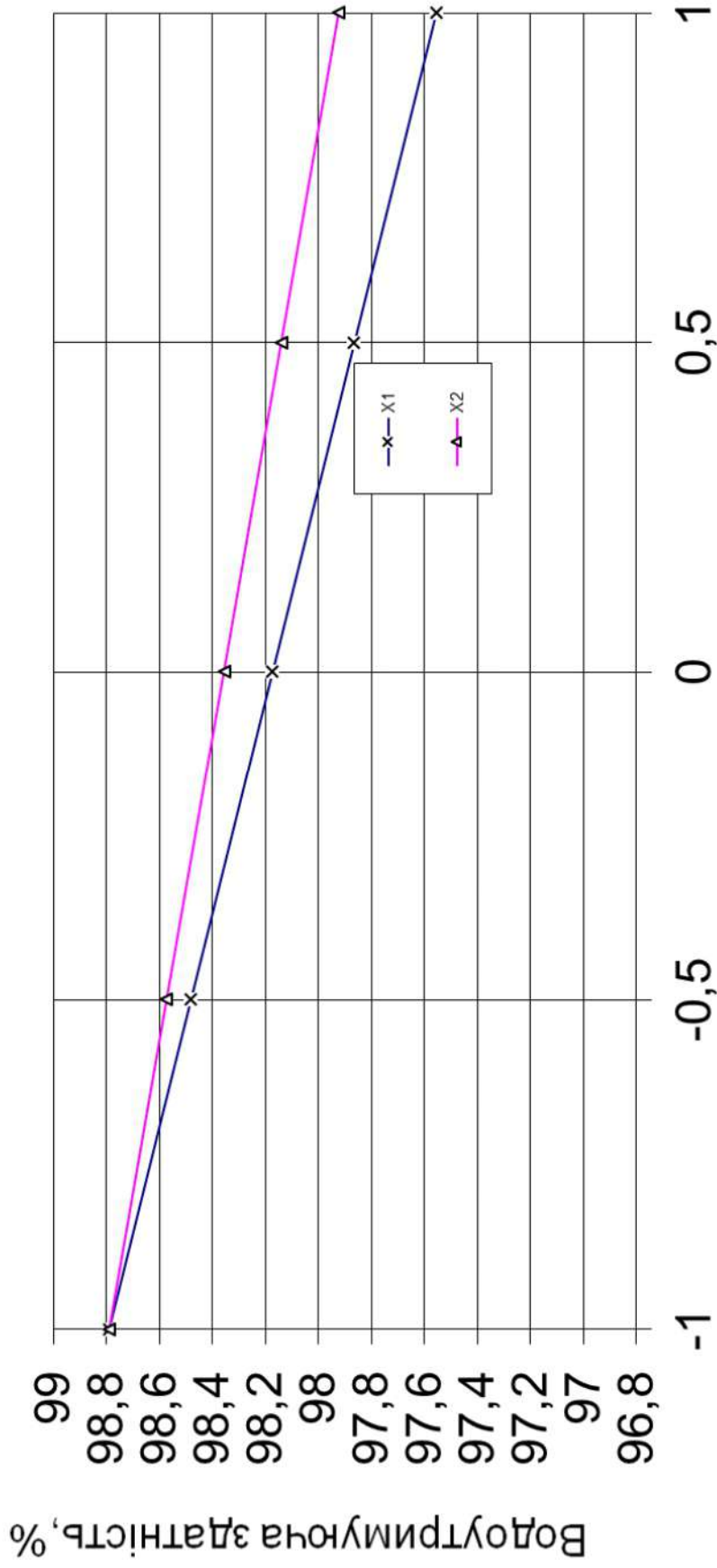


Рис. 5.12. Дослідження впливу витрат дефектату цементу на водоутримуючу здатність розчинової суміші (марки розчинів 150-300)

Аналіз рівняння показує, що витрата компонентів суттєво впливає на водоутримуючу здатність розчинів, що відповідає загальним уявленням про роль співвідношення в'язучих, заповнювачів і води у формуванні реологічних властивостей розчинових сумішей [49, 53]. З графіків (рис. 5.10) видно, що за максимального рівня факторів водоутримуюча здатність досягає мінімального значення, що пов'язано з порушенням оптимальної структури суміші та зменшенням здатності системи утримувати воду [53].

Якщо фактори встановлені на базовому рівні, найвища водоутримуюча здатність спостерігається при середньому внеску вапна, що пояснюється його пластифікуючою дією та стабілізуючим впливом на структуру розчинової суміші [49]. На рис. 5.12 показано, що найменші значення водоутримуючої здатності виникають при максимальних витратах компонентів, що узгоджується з відомими закономірностями зміни водоутримання розчинів за надлишкового вмісту складників [49, 53].

РОЗДІЛ 6. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ

6.1. Бетонні роботи

Під час виконання робіт з приготування, транспортування, укладання та догляду за бетоном і будівельними розчинами, а також при заготівлі, монтажі арматурних конструкцій та встановленні чи демонтажі опалубних систем, необхідно передбачати комплекс організаційних, технічних і санітарно-гігієнічних заходів, спрямованих на мінімізацію ризиків впливу на працівників небезпечних і шкідливих виробничих факторів відповідно до вимог чинних нормативно-правових актів з охорони праці у будівництві [77–79].

До основних факторів підвищеної небезпеки, що можуть виникати під час бетонних і розчинних робіт, належать:

- розташування робочих зон поблизу перепадів висоти понад 1,3 м;
- робота рухомих машин і механізмів, а також операції з підймання, переміщення та складування вантажів;
- ризик обвалення елементів опалубки, арматурних каркасів або конструкцій у процесі монтажу та демонтажу;
- підвищена температура арматури при виконанні робіт з попереднім напруженням;
- перевищення допустимих рівнів шуму, вібрації та недостатня освітленість робочих місць;
- несприятливі метеорологічні умови;
- небезпека ураження електричним струмом під час експлуатації електроінструменту та обладнання [77, 80].

Безпека виконання бетонних робіт повинна забезпечуватися на всіх етапах виробничого процесу відповідно до затвердженої проєктної та технологічної документації, а також вимог системи управління охороною праці на підприємстві [78]. При цьому обов'язковими є:

- визначення небезпечних зон і впровадження системи їх візуального маркування та огороження;

- застосування раціональних способів механізації процесів приготування, транспортування та укладання бетонних і розчинних сумішей;
- перевірка несучої здатності, стійкості та міцності опалубних систем перед їх експлуатацією;
- дотримання регламентованої послідовності монтажу та демонтажу арматурних конструкцій;
- впровадження спеціальних заходів безпеки при виконанні робіт на висоті;
- організація безпечного догляду за бетоном у літній та зимовий періоди [77–79].

Зберігання цементу повинно здійснюватися у закритих ємностях (силосах, бункерах, ларях або контейнерах), що виключає його запилення під час транспортування та завантажувально-розвантажувальних операцій. Завантажувальні отвори необхідно обладнувати захисними ґратами з блокувальними пристроями, що унеможливають випадкове потрапляння працівників у небезпечну зону [79, 81].

При використанні парового обігріву заповнювачів у бункерах або спеціалізованих ємностях слід передбачати технічні рішення, які виключають проникнення пари у виробничі приміщення. Допуск персоналу до парових камер дозволяється лише після повного припинення подачі пари та охолодження камери і матеріалів до температури не вище +40 °С, що відповідає вимогам нормативів з безпечної експлуатації теплотехнічного обладнання [80, 81].

Працівники, задіяні у виконанні бетонних і розчинних робіт, повинні бути забезпечені засобами індивідуального захисту відповідно до характеру виконуваних операцій (захисні каски, рукавиці, спецвзуття, засоби захисту органів дихання та слуху). Обов'язковими є проведення інструктажів з охорони праці, періодичне навчання та перевірка знань вимог безпеки, а також медичні огляди у встановлені терміни [77, 78].

6.2. Виконання будівельних робіт

Підготовчий етап та обов'язки керівника робіт

Перед початком бетонування відповідальна посадова особа (виконроб, майстер або керівник ділянки) зобов'язана перевірити готовність і безпечний стан будівельного майданчика відповідно до вимог нормативних документів з охорони праці у будівництві [77–79]. Особлива увага приділяється таким заходам:

- **Інспекція конструкцій** – перевірка надійності та цілісності опалубки, стійкості риштувань, правильності встановлення огорожень і захисних бар'єрів на робочих ярусах.
- **Справність техніки** – контроль технічного стану бетонозмішувачів, бетононасосів, маніпуляторів, вантажозахоплювальних пристроїв, тари та бункерів.
- **Забезпечення персоналу ЗІЗ** – видача і перевірка використання касок, захисного взуття, рукавиць, страхувальних поясів, засобів захисту органів слуху та зору [78].

Експлуатація змішувального обладнання

Під час роботи з бетонозмішувальним обладнанням суворо забороняється виконання будь-яких операцій з очищення або технічного обслуговування без повної зупинки агрегату та його знеструмлення [77].

- Очищення прямиків допускається лише за умови надійної фіксації ковша.
- Роботи всередині барабанів або корит виконуються виключно після відключення живлення та вивішування заборонних знаків.

Робота з арматурою

Заготівля, оброблення та монтаж арматурних елементів здійснюються з дотриманням таких вимог безпеки [77, 80]:

- **Зонування робіт** – ділянки розмотування бухт і випрямлення арматури обов'язково огорожуються.
- **Захист від уламків** – при різанні арматурних елементів довжиною до 30 см застосовуються захисні кожухи та екрани.

- **Безпека на верстатах** – робочі зони двобічних верстатів відокремлюють захисними сітками висотою не менше 1 м; виступаючі кінці стрижнів ізолюють.

- **Зберігання і логістика** – арматуру складують лише у відведених місцях; у проходах шириною понад 1 м торці стрижнів обов'язково закривають.

- **Підіймання та транспортування** – стропування та підйом арматурних каркасів кранами виконують лише навчені стропальники.

Монтажні та висотні роботи

Монтаж арматурних каркасів колон і стін здійснюється з інвентарних помостів шириною не менше 0,8 м, розташованих по висоті з кроком не більше 2 м [78, 79].

При роботі на висоті всі робочі місця мають бути огорожені. Якщо встановлення огорожень неможливе або поверхня має ухил понад 20°, працівники зобов'язані застосовувати страхувальні пояси та канати, закріплені відповідно до вимог технологічних карт.

Спеціальні умови та завершення монтажу

- **Зварювальні роботи** у приміщеннях виконують із застосуванням вогнетривких екранів та перегородок.

- **Фіксація арматури** – арматурні блоки формують у пакети, зручні для підіймання та транспортування.

- **Обмеження доступу** – до повного закріплення каркасів перебування на них або під ними заборонене [77].

Пересування по арматурі дозволяється лише по спеціальних настилах шириною не менше 0,6 м, жорстко закріплених до каркаса. Всі арматурні випуски висотою до 1 м повинні бути захищені м'якими кожухами. Під час установлення фіксаторів застосовують подовжені інструменти для зменшення ризику травмування [80].

Бетонування та робота з обладнанням

Переміщення бункерів із бетонною сумішшю допускається лише із закритим затвором. При вивантаженні відстань від нижньої кромки бункера до поверхні не повинна перевищувати 1 м, якщо інше не передбачено проєктом [79].

Перед початком роботи бетононасосів перевіряють справність сигналізації, герметичність і міцність з'єднань бетоноводів. Розбирання трубопроводів дозволяється лише після повного скидання тиску. Під час продування систем персонал повинен перебувати на відстані не менше 10 м [78].

Усунення заторів стисненим повітрям виконують із використанням захисних щитів і суворим контролем тиску. У разі неуспіху тиск негайно скидають до нуля та виконують ручне розбирання системи [77].

Опалубка та віброущільнення

Демонтаж опалубки дозволяється лише після досягнення бетоном не менше 70 % проєктної міцності. Використання ковзної або самопідіймальної опалубки здійснюється виключно за інструкціями виробника; перебування сторонніх осіб на секціях під час їх руху заборонено [79, 80].

Електровібратори переміщують тільки за допомогою спеціальних тяг, при перервах у роботі їх обов'язково вимикають. Експлуатація обладнання з пошкодженою ізоляцією категорично заборонена [77].

Електропрогрів бетону та погодні умови

Роботи з електропрогрівання бетону виконуються лише працівниками з групою електробезпеки не нижче III. Зона робіт огорожується, встановлюються попереджувальні знаки та сигнальне освітлення, підключене до системи автоматичного відключення [78, 81].

Бетонні роботи на риштуваннях забороняються під час грози, ожеледиці, сильного туману та при швидкості вітру понад 12 м/с [77].

Робота з маніпуляторами та стрілами-розподільниками

Під час роботи гідравлічних маніпуляторів персоналу заборонено перебувати під стрілою або в радіусі 4 м від бетоноводу. Роботи не допускаються в охоронних зонах ЛЕП, за критичних температур чи перевищення допустимого вітрового навантаження. Керування обладнанням дозволяється лише навченому персоналу [78, 80].

Додаткові вимоги з охорони праці та промислової безпеки під час бетонних і арматурних робіт

Особливу увагу при виконанні бетонних і арматурних робіт необхідно приділяти організації робочих місць, оскільки значна частина операцій виконується в умовах підвищеної небезпеки. Робочі зони повинні бути чітко визначені, освітлені та забезпечені безпечними проходами, відповідно до вимог чинних будівельних і санітарних норм [82, 83].

Перед початком кожної зміни виконується обов'язковий цільовий інструктаж працівників із фіксацією в журналі охорони праці. Персонал допускається до робіт лише за наявності підтвердженої кваліфікації, проходження медичного огляду та навчання безпечним методам виконання робіт [82].

Організація безпечних проходів і робочих зон

Проходи між зонами бетонування, арматурного монтажу та транспортування матеріалів мають бути очищені від сторонніх предметів, неслизькі та достатньої ширини для безпечного пересування працівників. При роботі в темний час доби або у приміщеннях з обмеженим природним освітленням застосовується додаткове штучне освітлення, параметри якого повинні відповідати нормативним вимогам [83, 84].

У місцях можливого падіння інструменту або матеріалів устанавлюються захисні козирки та сигнальні огороження. Забороняється перебування працівників у зоні дії підймальних механізмів без відповідного дозволу відповідальної особи [82].

Засоби індивідуального та колективного захисту

Працівники, задіяні у бетонних роботах, зобов'язані використовувати сертифіковані засоби індивідуального захисту: захисні каски, спецодяг, рукавиці, взуття з антиковзкою підошвою та металевим носком. Під час виконання операцій з підвищеним рівнем шуму або вібрації застосовують протишумові навушники та антивібраційні рукавиці [84, 85].

Колективні засоби захисту (огороження, запобіжні сітки, сигнальні знаки) повинні мати достатню міцність і бути встановлені таким чином, щоб унеможливити випадковий доступ до небезпечних зон [82].

Безпека при роботі з електроінструментом і механізмами

Електрифікований інструмент і обладнання допускаються до експлуатації лише після перевірки справності ізоляції, заземлення та відповідності напруги вимогам технічної документації. Забороняється використання кабелів з механічними пошкодженнями або прокладання їх у місцях можливого перетирання чи затоплення [83, 86].

Роботи з ремонту або налагодження електрообладнання виконуються виключно після повного знеструмлення. У вологих умовах або при роботі на металевих конструкціях дозволяється застосування лише пониженої напруги або інструменту з подвійною ізоляцією [86].

Пожежна та вибухова безпека

На будівельному майданчику повинні бути передбачені первинні засоби пожежогасіння, розташовані у легкодоступних місцях. Забороняється зберігання легкозаймистих матеріалів поблизу зон електропрогрівання бетону або зварювальних робіт [84, 87].

Під час проведення вогневих робіт обов'язковим є оформлення наряду-допуску та призначення відповідального за пожежну безпеку. Після завершення робіт виконується огляд робочої зони з метою унеможливлення тління або займання матеріалів [87].

Аварійні ситуації та дії персоналу

У разі виникнення аварійної ситуації (обрив бетоноводу, відмова опалубки, ураження електричним струмом) всі роботи негайно припиняються, а персонал виводиться у безпечну зону. Повідомлення відповідальних осіб та надання першої домедичної допомоги здійснюється згідно з інструкціями підприємства та чинними нормативами [82, 85].

План ліквідації аварійних ситуацій повинен бути доступний для всіх працівників і регулярно переглядатися з урахуванням змін технології або умов виконання робіт [88].

6.3. Вимоги до робочих місць

При бетонуванні перекриттів обов'язковою умовою є встановлення захисних огорожень по всьому периметру опалубки, що забезпечує запобігання падінню працівників і будівельних матеріалів з висоти та відповідає загальним вимогам охорони праці у будівництві [82, 83]. Усі технологічні отвори в настилі перекриттів повинні бути надійно закриті інвентарними щитами, розрахованими на нормативне навантаження, а отвори, що використовуються для вентиляції або освітлення, – захищені міцними металевими ґратами з фіксованим кріпленням [82].

Зони розташування опорних стояків опалубки підлягають чіткому маркуванню заборонними та попереджувальними знаками безпеки. Доступ сторонніх осіб до таких зон суворо обмежується, що дозволяє мінімізувати ризик травмування у разі локальних деформацій або аварійних ситуацій [84].

У випадках монтажу стін, колон, ригелів або інших вертикальних елементів, коли виконання робіт потребує перебування працівників поза основною підлогою, заздалегідь улаштовують робочі помости шириною не менше 0,8 м. Помости повинні мати суцільне огороження з поручнями, бортовими дошками та відповідати вимогам щодо несучої здатності, встановленим проєктною та технологічною документацією [83, 85]. При застосуванні ковзної або самопідіймальної опалубки після демонтажу її окремих елементів обов'язково захищають торцеві зони, а для забезпечення безпеки персоналу на підвісних риштуваннях установлюють захисні козирки, які повністю перекривають ширину робочої зони [82, 86].

Усі операції, пов'язані з переміщенням бетонної суміші, використанням стропів, бадей, контейнерів та іншої тари, повинні виконуватися з дотриманням вимог правил безпечної експлуатації вантажопідіймальних механізмів [82, 87]. На ділянках натягування арматури встановлюють захисні огороження висотою не менше 1,8 м, а натяжне обладнання оснащується справною світловою або звуковою сигналізацією, що попереджає персонал про початок небезпечних

операцій [84]. Під час термічного нагріву арматурних стержнів забороняється перебування людей на відстані меншій за 1 м від нагрітих елементів у зв'язку з ризиком термічних опіків і ураження тепловим випромінюванням [85].

Збирання великогабаритних арматурних каркасів здійснюється виключно на спеціально підготовлених майданчиках з рівною основою та достатнім простором для безпечної роботи підйимальної техніки [83]. У разі використання хімічних добавок до бетонних сумішей персонал зобов'язаний застосовувати засоби індивідуального захисту органів зору та шкіри – захисні окуляри, рукавички та спецодяг, що відповідають вимогам чинних стандартів [85, 88].

Окремі вимоги встановлюються для бетонних естакад і рамп: вони повинні бути обладнані відбійними брусами, мати пішохідні проходи шириною не менше 0,6 м, а на тупикових ділянках – поперечні стопори, які унеможливають неконтрольований рух транспортних засобів [82, 87]. Під час очищення кузовів автосамоскидів від залишків бетонної суміші працівникам категорично забороняється перебувати в кузові або на його бортах; очищення допускається лише з використанням спеціальних пристроїв та інструментів із дотриманням безпечної дистанції [82].

ВИСНОВКИ

Використання добавки (дефекату) в цементних розчинах демонструє значний вплив на їхні фізико-механічні властивості, зокрема, спостерігається суттєве уповільнення процесу набору міцності. Наприклад, через відносно короткий період у 7 діб тверднення, міцність розчину з додаванням дефекату досягає лише мізерних 2,6 % від цільової марочної міцності. Це свідчить про необхідність врахування тривалішого терміну для досягнення проектних характеристик.

Однак, застосування дефекату може мати певні переваги в оптимізації витрат. Для забезпечення марки розчину М300 із необхідною міцністю 30 МПа, було визначено, що найбільш раціональна витрата цементу становить 512,5 кг при супутньому використанні мінімального обсягу дефекату – 166 кг. Такий підхід дозволяє досягти відчутної економії цементу до 52,5 кг порівняно з традиційними сумішами, де використовується звичайне вапно. Водночас, для марки М150, що вимагає 356 кг цементу та ті ж 166 кг дефекату, значної економії матеріалів не фіксується, що підкреслює доцільність його застосування для вищих марок розчинів.

Ключовим фактором, що визначає схильність розчину до розшарування (розшаровуваність), виявилася саме витрата цементу. Для марки М150 показник розшаровуваності становить 4 %, тоді як для марки М300 він дещо зростає, сягаючи 6 %. Це вказує на потребу у збалансованому підборі компонентів для забезпечення належної однорідності суміші. Водоутримуюча здатність, навпаки, демонструє відмінні показники: для марки М300 вона становить 98,1 %, а для М150 – 98,7 %. Ці високі значення свідчать про чудові водозберігаючі властивості розчинів з дефекатом, що є критично важливим для забезпечення належного гідратації та запобігання передчасному висиханню.

Навіть при скорочених обсягах використання цементу (250 кг) та дефекату (233 кг), ранній набір міцності залишається обмеженим: міцність у 7 діб сягає лише 1,7 МПа, що еквівалентно приблизно 4 % від потенційної максимальної міцності для даної суміші. При цьому, абсолютна максимальна міцність,

досягнута в оптимальних умовах, може складати 4,25% від її проектного значення, що ще раз підтверджує повільність процесу тверднення. В умовах низького споживання цементу, його вплив на розшаровуваність стає мінімальним, а на водоутримуючу здатність він практично не позначається. Це пояснюється переважаючою роллю дефекату, який, завдяки своїм фізико-хімічним властивостям, домінує у формуванні консистенції та здатності утримувати воду в суміші. При досягненні матеріалом його максимальної міцності, водоутримуюча здатність розчину зберігає вражаючий показник на рівні 97,2 %, що додатково підтверджує його високу стабільність та якість навіть після завершення процесу тверднення.