

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: **«Підвищення водостійкості бетонів на  
основі магнезіальних в'язучих»**

Виконав:	А.О. Сербін
студент групи 601- БТ	
спеціальності 192 – будівництво та цивільна інженерія, ОП «Технології будівельних конструкцій, виробів і матеріалів»	
Керівник	О.В. Демченко
Завідувач кафедри	О.В. Семко

## Зміст

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ .....	9
1.1. Розвиток промисловості ніздрюватих бетонів .....	9
1.2. Теоретичні основи випалювання магнезиту і доломіту .....	13
1.3. Виробництво магнезіальних в'язучих.....	16
1.4. Властивості і застосування каустичного магнезиту і каустичного доломіту .....	21
РОЗДІЛ 2 МЕТА РОБОТИ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	36
РОЗДІЛ 3 МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ .....	37
3.1. Виготовлення зразків.....	37
3.2. Визначення міцності бетону при стиску. ....	37
3.4. Визначення коефіцієнта розм'якшення.....	38
3.6. Випробування дрібного заповнювач (дефікату).....	41
3.9. Планування дослідів з використанням математико-статистичних методів. ....	44
РОЗДІЛ 4. ХАРАКТЕРИСТИКА ВХІДНИХ МАТЕРІАЛІВ.....	45
4.1. В'язуче .....	45
4.2. Дефекат .....	45
4.3. Розчин бішофіту Полтавського родовища .....	46
РОЗДІЛ 5 АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ .....	48
5.1. Підбір складу бетону з використанням магнезіальних в'язучих.....	48
5.2. Лабораторний підбір складу бетону з використанням магнезіальних в'язучих.....	48
5.3. Дослідження впливу витрати бутаналу на властивості бетону з використанням магнезіальних в'язучих у віці 7 діб .....	49
5.4. Дослідження впливу витрати бутаналу на границю міцності при стиску бетону на основі магнезіальних в'язучих .....	50
5.5. Дослідження впливу витрати бутаналу на водопоглинання магнезіального бетону.....	52

	4
5.6 Дослідження впливу витрати бутаналу на коефіцієнт розм'якшення магнезіального бетону .....	54
5.7 Дослідження впливу витрати бутаналу на властивості магнезіального бетону у віці 28 діб .....	56
5.9 Дослідження впливу витрати бутаналу на водопоглинання магнезіального бетону .....	60
5.10 Дослідження впливу витрати бутаналу на коефіцієнт розм'якшення магнезіального бетону .....	62
5.11 Дослідження впливу витрати асидол-милонафту на властивості магнезіального бетону у віці 7 діб .....	64
5.12 Дослідження впливу витрати асидол-милонафту на границю міцності при стиску магнезіального бетону .....	65
5.13 Дослідження впливу витрати асидол-милонафту на водопоглинання магнезіального бетону .....	68
5.14 Дослідження впливу витрати асидол-милонафту на коефіцієнт розм'якшення магнезіального бетону .....	70
5.15 Дослідження впливу витрати асидол-милонафту на властивості магнезіального бетону у віці 28 діб .....	72
5.16 Дослідження впливу витрати асидол-милонафту на границю міцності при стиску магнезіального бетону .....	73
5.17 Дослідження впливу витрати асидол-милонафту на водопоглинання бетону на основі магнезіальних в'язучих .....	76
5.18 Дослідження впливу витрати асидол-милонафту на коефіцієнт розм'якшення магнезіального бетону .....	78
РОЗДІЛ 6 .....	80
ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ .....	80
6.1 Забезпечення належних умов праці для робітників .....	80
ВИСНОВКИ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ДОСЛІДЖЕННЯ .....	87
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....	88

## ВСТУП

Енергоефективність та енергозбереження сьогодні визнані пріоритетними напрямками в економічній політиці багатьох держав. Враховуючи, що будівництво є основною фондоутворюючою галуззю, воно має відігравати провідну роль у реалізації цих стратегічних цілей. Фундаментом для впровадження енергоощадливих ініціатив слугують проєктні рішення, що передбачають застосування ефективних будівельних матеріалів. У більшості сучасних інженерних розробок значну перевагу віддають ніздрюватим бетонам завдяки їхній доступності та помірній вартості.

В останній час в Україні стрімко зростає напрямок виробництва продукції із застосуванням магнезійних в'язучих речовин. Ці матеріали значно перевершують традиційні цементні в'язучі за низкою ключових характеристик. Основні тенденції розвитку промисловості в'язучих матеріалів, такі як високі темпи росту виробництва, підвищення якості продукції, організація випуску нових, більш ефективних видів цементу, застосування більш потужного і сучасного обладнання та інші, зумовлені вимогами технічного прогресу, визначають, у свою чергу, і напрям подальших наукових пошуків у цій галузі.

В умовах сучасної економічної ситуації в Україні, в будівництві використовують багато матеріалів із різними властивостями. В даний час майже немає якої-небудь галузі народного господарства, де застосування термоізоляційних матеріалів не давало б високого техно-економічного ефекту.

З огляду на значне зростання вартості транспортування та енергоносіїв, актуальним завданням стає налагодження виробництва недорогих, але якісних будівельних матеріалів. Одним із ефективних рішень у цьому контексті є використання ніздрюватого бетону (зокрема, газобетон).

Ніздрюватий бетон являє собою пористий будівельний матеріал, який містить від 40 до 90 % повітряних пор. Середня густина бетону при цьому складає 200 - 1200 кг/м<sup>3</sup>. По своїм властивостям ніздрюваті бетони різних видів відносяться до ефективних матеріалів сучасного будівництва[5].

Газобетон на основі магнезіальних в'язучих виготовляється із: кварцевого піску або дефекату, магнезиту, і газоутворювача, яких на Україні є в достатній кількості достатньо хорошої якості. Газобетон, виготовлений на основі магнезіальних в'язучих, вирізняється низкою переваг, зокрема: високою міцністю на ранніх етапах тужавлення, малою питомою вагою, а також стійкістю до впливу масел, лаків та фарб. Окрім цього, цей піздрюватий бетон вважається одним із найбільш екологічно чистих матеріалів, має виражені бактерицидні властивості, а його використання забезпечує економію коштів на всіх етапах виробничого циклу.

Ефективність піздрюватого матеріалу, як конструкційного матеріалу, особливо проявляється при використанні його в огороджуючих конструкціях будівель та споруд різноманітного призначення. Обумовлюється це на сам перед тим, що його фізико-механічні властивості найбільш задовольняють вимогам, які ставляться до даних конструкцій. Низька густина бетону дозволяє знизити масу стіни в декілька раз. Трудовитрати зведення будівель з газобетонних конструкцій в 2 рази менше, ніж при виготовленні аналогічних будівель з цегли. Затрати на опалення при цьому зменшуються в 1,5 рази.

Каустичний магнезит отримують шляхом низькотемпературного випалу природних мінералів, багатих на карбонат або гідроксид магнію (таких як магнезит чи доломіт). При замішуванні цього порошку водними розчинами магнезівих солей, близьких за складом до морської води (зокрема, сульфатом або хлоридом магнію — бішофітом), утворюється пластична маса з вираженими в'язучими властивостями. Властивості цієї сполуки вперше описав у середині XIX століття французький інженер Сорель, який започаткував її використання в будівельній сфері [47]. Унікальність магнезіального в'язучого полягає в синергії його високої в'язучої здатності та універсальної сумісності майже з усіма типами заповнювачів, включаючи органічні матеріали природного чи штучного походження. Кінцевий цементний камінь являє собою твердий розчин солей зі складною структурою. Саме на основі цього в'язучого виробляють різноманітні

каменеподібні композити із заданими характеристиками, об'єднані загальною назвою «магноліт».

Залежно від типу використаних наповнювачів, магноліт демонструє низку унікальних характеристик:

**Механічна міцність:** Міцність на стиск цього матеріалу співставна з показниками високоміцних бетонів. При цьому міцність на вигин у 3–5 разів перевищує аналогічні показники бетонів без додаткового армування, а набір міцності відбувається за короткий термін. Це також найміцніший теплоізоляційний матеріал на мінеральних в'язучих при однаковій щільності з іншими аналогами.

**Стійкість до зовнішніх впливів:** Матеріал має атмосферостійкість на рівні більшості традиційних будівельних матеріалів. Він абсолютно стійкий до масел, нафтопродуктів та солей (контакт з морською водою чи маслами лише підвищує його міцність).

**Естетичні властивості:** Магноліт є декоративним матеріалом. Завдяки сумісності з різними пігментами, відмінній поліруємості та прозорості в'язучого в тонкому шарі, він може достовірно імітувати широкий спектр природних матеріалів — від деревини до малахіту.

**Пожежна безпека:** При достатній масивності конструкції з магноліту здатні витримувати пожежі 5-ї категорії без деструкції та виділення канцерогенних речовин.

**Біоцидні властивості:** Фунгіцидні, бактерицидні та біоцидні якості перешкоджають розвитку грибків і бактерій. Гірко-солоний смак бішофіту також відлякує комах і гризунів.

**Електричні характеристики:** Матеріал має низьку діелектричну проникність та електропровідність, які є стабільними у часі та мало залежать від вологості. Це робить його незамінним для конструкцій спецпризначення, що захищають від електромагнітних випромінювань. Поверхні не електризуються та виключають іскроутворення.

Властивості підлогових покриттів: Магnezійні підлоги є безпильними, довговічними, високоміцними, мають низьку стиранисть і високу твердість. Вони практично не дають усадки, що дозволяє влаштувати суцільне покриття без необхідності нарізання деформаційних швів.

Адгезійні характеристики та захисні властивості: Даний матеріал відрізняється чудовою здатністю до зчеплення як з органічними, так і з мінеральними наповнювачами. Висока адгезія спостерігається при контакті з цегляними, дерев'яними та бетонними поверхнями. Специфічною перевагою магноліту є його консервуючий ефект: він здатен нейтралізувати токсичні компоненти у заповнювачах, забезпечуючи відповідність готових виробів санітарно-гігієнічним стандартам. Крім того, завдяки високій концентрації хімічно зв'язаної води, цей вид бетону є одним із найефективніших засобів біологічного захисту від радіації.

Магnezіальні в'язучі матеріали та виготовлена на їхній основі продукція характеризуються повною біологічною інертністю, що підтверджує їхню високу екологічну безпечність. Однак використання цих перспективних матеріалів обмежується критичним недоліком: низькою водостійкістю магнезиту. Подолання саме цієї суттєвої проблеми водостійкості є ключовою науковою та практичною метою, яка буде вирішуватися в межах даної дипломної роботи.

## РОЗДІЛ 1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

### 1.1. Розвиток промисловості ніздрюватих бетонів

На сучасному етапі розвитку промисловості будівельних матеріалів передбачається випуск значної кількості легких матеріалів із яких найбільш економічно вигідними є ніздрюваті бетони.

Вперше ніздрюватий бетон був отриманий німецьким інженером Гоффманом у 1891 році, шляхом виділення газу при введенні в цементний розчин деяких хімічних речовин. Пізніше цей спосіб отримання пористої будови матеріалів за допомогою газу - спосіб газобетону неодноразово змінювався. це пов'язано з вибором газоутворюючих речовин. Найбільше розповсюдження отримали добавки тонко меленої металеві пудри (алюмінія або цинка). З 1917 року також відомий і біотехногенний спосіб отримання матеріалів пористою структури. Так в Голландії використовувалися звичайні дріжджі, як газоутворювач для виготовлення ніздрюватих бетонів.

В 1911 році дацький інженер Байер запропонував на той час нову, технологію отримання ніздрюватих матеріалів. Її розробка заключалась в змішуванні розчину в'язучого з особливо стійкою піною. Цей винахід відразу не отримав практичного застосування. Лише в 1925 році спочатку в Германії, а потім і в інших країнах технологію виготовлення піноматеріалів взяли на озброєння.

В 29-30-тих роках в той час, коли на заході широко використовується газоутворювачі, насході застосовується головним чином піноутворювачі. Вченими та винахідниками А.Брюшковим, М.Гензлерем, К.Шульцем були вирішені ряд технологічних ускладнень, починаючи з отримання піноутворювачів, які б давали стійку піну, спеціальних машин і закінчуючи технологічним процесом в цілому.

З 1930 року новий матеріал починає впроваджуватися в будівельну практику помітно застосовуються піносілікати на різноманітних будівлях, в якості теплоізоляційного матеріалу. За декілька років об'єм піноматеріалів склав 20 тис.м<sup>3</sup> [8].

Виробництво піносілікатних виробів було ініційовано наприкінці 1940-х років у Харкові [28]. Пізніше, у 1953 році, на Уралі (м. Березники) освоїли технологію виготовлення великогабаритних будівельних елементів з автоклавного пінобетону та піносілікату [31].

В Україні розвиток промисловості ніздрюватого бетону розпочався з матеріалів автоклавного твердіння. Це стало можливим завдяки постачанню технологічного обладнання з Польщі протягом 1960–1962 років.

На розвиток та удосконалення виготовлення ніздрюватих бетонів, в той час, проводилися наукові дослідження в області удосконалення піноутворювачів, заміни портландцементу більш дешевими в'язучими, проводилися спостереження за станом споруд з ніздрюватих бетонів.

Більше 20 років переважна більшість вітчизняних заводів та підприємств випускали будівельні матеріали на основі піноутворювачів. Але в середині 60-х років тенденція змінилася та розвиток одержали заводи по виробництву виробів переважно газосілікатів замість піносілікатів.

Ніздрюватий бетон являє собою трифазну систему. Його твердий компонент утворює несучий каркас, який забезпечує міцність матеріалу. При цьому фазові перетворення, що відбуваються у структурі бетону, мають визначальний вплив на його фізико-механічні характеристики.

Хоча газобетон і пінобетон належать до одного класу ніздрюватих бетонів згідно з класифікацією та мають зовнішню структурну схожість, вони суттєво відрізняються за своїми фізико-технічними властивостями. Ці відмінності зумовлені головним чином різними способами формування пористої структури, що, своєю чергою, висуває специфічні вимоги до вихідної сировини та технології виробництва.

Ключова технологічна різниця полягає в тому, що поризація суміші шляхом піноутворення відрізняється від поризації газоутворенням (що спричиняє якісну різницю між піно- та газоструктурою). У газобетонах змішування, формування та газовиділення відбуваються в період індукційного структуроутворення. Якщо ж поризація суміші відбувається вже після завершення газовиділення, це

супроводжується деструктивним впливом газових бульбашок на процес тужавлення системи.

У основу виробничого процесу призначена технологічна схема виготовлення газобетонних виробів на змішаному в'язучому (цемент і мелене вапно). Отриманий у млині шлам перекачується пневматичними камерними насосами СМ-550 по трубопроводах у нижні басейни ємністю 28 м<sup>3</sup> кожний. У басейнах установлені шламшалки і підведене стиснуте повітря, що сприяє одержанню суміші постійної об'ємної ваги. З цих нижніх басейнів шлам перекачується у верхні (видаткові). На кожний змішувальний агрегат є по два басейни, які використовуються по черзі; поки з одного басейну витрачається шлам, в іншому проводиться його коригування відповідно до заданої густини і температури. Подача шлама в газобетonomішалку регулюється об'ємним дозатором. На цьому ж дозаторі змонтована пропелерна мішалка ємністю 20 л для готування водяної суспензії алюмінієвої пудри, що по окремому трубопроводі надходить у газобетonomішалку[21].

Вже в 1972 році загальний обсяг конструкцій з піноматеріалів складав приблизно 11 % загального виробництва ніздрюватих бетонів. Інше складали різноманітні газовироби, що обумовлено їхніми перевагами, які виявилися при масовому виготовленні виробів, особливо крупнорозмірних. Поверхні виробів із газобетона не мають відшарувань "шкірочок", що часто утворюються на поверхнях виробів із пінобетонів. Для затворення сумішей на газоутворювачі можна застосовувати більш гарячу воду, не боячись осадки. Застосування гарячої води прискорює процес газовиділення і забезпечує температуру суміші близько 60 °С до моменту закінчення вспучування. У результаті суміш твердне швидше і час витримки виробів перед автоклавною обробкою може бути скорочений з 10 (при використанні піноутворювачів у виробках) до 3 – 4 год. При підвищеній температурі виробів, що надходять на автоклавную обробку, зменшуються деструктивні явища.

Надалі частка матеріалів на піноутворювачі у загальному обсязі виробництва буде ще менше, тому що всі нові заводи проектуються і будуються

тільки орієнтовані на випуск матеріалів на газоутворювачі автоклавного твердіння.

У процесі автоклавної обробки кремнеземисті компоненти - мелені піски, золи вступають у хімічну взаємодію з головним в'язучим (цементом і вапном) і одержують частково властивості в'язучих речовин, завдяки чому забезпечується підвищена відносна міцність ніздрюватого бетону.

Так, сучасні, найбільше поширені вітчизняні ніздрюваті бетони мають при середній густині  $700 \text{ кг/м}^3$  ( у сухому стані ) контрольну міцність 5 МПа (у висушеному стані). Показану міцність при такій середній густині не мають інші бетони, включаючи легкі типу керамзитобетону і перлітобетону. Таким чином, ніздрюваті бетони є найбільш ефективними бетонами для різноманітних конструкцій .

Сполучення таких міцнісних показників і середньої густини дозволило розробити теплоізоляційно-конструкційні матеріали.

Використання газобетону неавтоклавного тверднення є економічно вигідним рішенням, що дає змогу знизити загальну собівартість будівельних робіт.

Основні переваги та можливості застосування:

Зниження виробничих витрат: Економія досягається завдяки зменшенню енерговитрат на підготовку (подрібнення та помел) сировинних компонентів для ніздрюватобетонної суміші. Відсутність етапу автоклавного тверднення також знижує енергоспоживання.

Зменшення кошторисної вартості: Нижча собівартість кінцевої продукції безпосередньо впливає на загальну кошторисну вартість будівництва як у житловому, так і в промисловому секторі.

Гнучкість рецептури: Можливість використання різноманітних відходів виробництва (наприклад, із енергетичного сектору) та різних хімічних добавок як сировини дозволяє широко варіювати склад суміші.

Керування властивостями матеріалу: Змінюючи склад та добавки, можна в широкому діапазоні контролювати та спрямовано впливати на характер

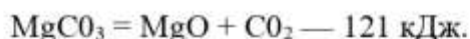
структури матеріалу, що, своєю чергою, визначає його кінцеві експлуатаційні властивості (міцність, теплоізоляція).

Ці особливості роблять неавтоклавний газобетон привабливим для детального аналізу залежності його властивостей від характеру пористої структури.

Нові економічні умови в країні обумовлюють новий підхід до вибору ефективних будівельних матеріалів для житлового будівництва. Різке зростання цін на паливо, мінеральні й органічні сировинні матеріали, висока вартість транспорту відбиваються насамперед на самому об'ємному і крупнотонажному будівельному матеріалі - стінових виробках і конструкціях [23].

## 1.2. Теоретичні основи випалювання магнезиту і доломіту

Процес дисоціації карбонату магнію ( $MgCO_3$ ) ініціюється вже за температури 400 °С, проте інтенсивне термічне розкладання спостерігається лише при перевищенні позначки у 600 °С. При цьому виділяється близько 95 – 96 %  $CO_2$ , залишок  $CO_2$  виділяється лише при 900 – 1000 °С. Реакція розкладання магнезиту оборотна:



Пружність пари, що виділяється під час дисоціації, можна з великою точністю розрахувати за наступною формулою

$$I_{gP_{CO_2}} = (5710/t) + 1,75 I_{g t} + 1.09$$

$MgO$  залежно від температури випалювання одержують в різних станах. При температурі 650-800 °С — це крихкий порошок щільністю близько 2,3 г/см<sup>3</sup>. При підвищенні температури випалювання спостерігаються ріст кристалів, рекристалізація і підвищення щільності. Так, при 1200 °С розмір кристалів  $MgO$  становить 0,05 – 0,08, а при 1400 °С – 1 – 4 мкм. Домішки істотно впливають на швидкість рекристалізації. Спікання прискорюється при наявності катіонів, що мало відрізняються за іонними радіусами від  $Mg^{2+}$  ( $Fe^{2+}$ ,  $Zn^{2+}$ ,  $Ni^{2+}$ ).

Активність MgO та швидкість гідратації оксиду з збільшенням температури різко знижуються. Так, якщо MgO, випалений при 800 °С, гідратується на 75,4 %, то MgO, випалений при 1300 °С, лише на 14,62 % (табл. 1) [32].

Таблиця 1. Ступінь гідратації MgO, отриманого випалюванням при різних температурах (за кількістю зв'язаної води)

Тривалість гідратації, доба	Ступінь гі.			% при $t$ , °С	
	800	1200	1300	1400	1800
1	75,4	66,	14,62	4,72	3,95
3	100,0	48	38,15	9,27	14,12
30	99,82	94,76	69,50	32,80	36,40

За даними О. Я. Вайвада, висока активність MgO, випаленого при низьких температурах, пояснюється тим, що він має значну кількість атомних дефектів. Надлишкова кількість енергії, що перевищує теплоту розчинення стабільної форми MgO — периклазу, становить 6,8 – 28,1 кДж/моль під час випалювання в інтервалі 500 – 900 °С. Якщо припустити, що енергія утворення дефектів у структурі MgO становить 1 – 1,2 еВ, то кількість вакансій при температурі 500 °С становить 0,2, а при 600 °С — 0,018 – 0,021 ат. часток.

Отже, для добування активного MgO, що здатний до швидкої дегідратації, магнезит випалюють при температурі ~ 700 – 750 °С. Підвищення температури випалу негативно впливає на в'язучі властивості матеріалу, різко погіршуючи їх. Зокрема, процес термічної обробки при 1400 °С призводить до утворення так званого «намертво випаленого» магнезиту. Цей матеріал втрачає в'язучі властивості і застосовується переважно в металургійній промисловості для виробництва вогнетривких виробів. Щільність металургійного магнезиту, або мінералу периклазу, — 3,5—3,6 г/см<sup>3</sup>, твердість — 5,5. Кристалізується периклаз у кубічній сингонії, кристалічна решітка типу NaCl. У природі периклаз трапляється дуже рідко, оскільки швидкість взаємодії його з водою та вуглекислим газом досить велика. Під дією води він перетворюється на брусит або гідромагнезит[36].

Також важливо відмітити, що MgO в основному добувають не тільки з магнезиту, але й із гідроксиду магнію  $Mg(OH)_2$ . Гідратна вода що міститься в гідроксиді магнію видаляється при температурі 385—410 °С. На практиці випалювання гідроксиду магнію  $Mg(OH)_2$  проводять при температурі близько 500°С. Оксид магнію, отриманий з гідроксиду магнію  $Mg(OH)_2$ , активніший, ніж із  $MgCO_3$ .

Під час дослідження процесів добування MgO встановлено, що на початковому періоді отримання він зберігає структуру початкової речовини. А вже під час розкладання гідроксиду магнію  $Mg(OH)_2$  утворюється оксид магнію MgO з шаруватою структурою бруситу, а під час розкладання карбонату магнію  $MgCO_3$  — своєрідні псевдоморфози, що зберігають зовнішні контури магнезиту.

Термічне розкладання доломіту відбувається у два етапи в інтервалі 700–900 °С, що фіксується двома ендотермічними піками на термограмі. Перший пік припадає на 720–760 °С, другий — на 895–910 °С. Механізм цих перетворень є

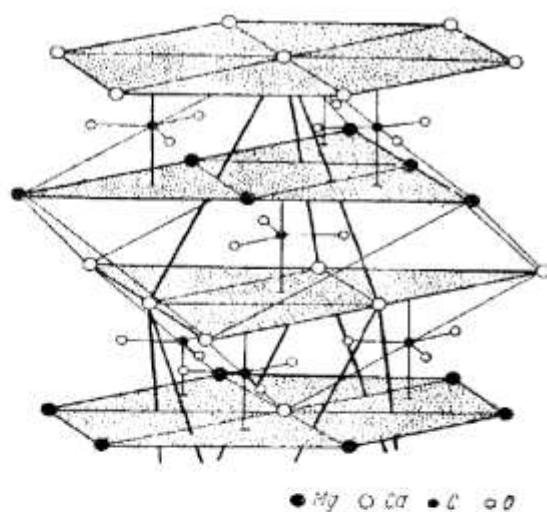


Рис. 1 Кристалічна решітка доломіту

предметом дискусій. Згідно з найбільш обгрунтованою точкою зору, підтвердженою електронною мікроскопією, процес включає проміжне утворення кальциту ( $CaCO_3$ ) та периклазу ( $MgO$ ). Щодо характеру процесів, що відбуваються на кожній із стадій, існують різні точки зору. Найбільш ймовірною, на користь якої свідчать електронно-мікроскопічні

дослідження, є дисоціація, на першій стадії якої утворюються MgO і  $CaCO_3$ :  
 $CaMg(CO_3)_2 = CaCO_3 + MgO + CO_2$ , а на другій стадії  
 $CaCO_3 = CaO + CO_2$ .

Висунуто також припущення, що крім MgO на першій стадії дисоціації утворюється твердий розчин карбонатів  $MgCO_3 \times nCaCO_3$  або основний карбонат

$\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgO}$ . Однак рентгенографічно ні твердий розчин, ні основний карбонат виявити поки не вдалося [48].

С. В. Потапенко, Л. Г. Берг та інші вважають, що на першій стадії при  $730^\circ\text{C}$  кристалічна решітка доломіту руйнується і він розкладається на  $\text{CaCO}_3$  і  $\text{MgCO}_3$ . Оскільки температура розкладання  $\text{MgCO}_3$  майже на  $100^\circ\text{C}$  нижча, ніж  $\text{CaCO}_3$ , він відразу ж розкладається. При парціальному тиску  $\text{CO}_2$   $0,1$  МПа температура початку дисоціації  $\text{MgCO}_3$  буде найменшою ( $640^\circ\text{C}$ ),  $\text{CaCO}_3$  — найбільшою ( $906^\circ\text{C}$ ), а доломіту — проміжною ( $730^\circ\text{C}$ ). Це пояснюється тим, що іони  $\text{Mg}^{2+}$  внаслідок того, що мають малі радіуси, значно сильніше деформують іони  $\text{CO}_3^{2-}$ , ніж іони  $\text{Ca}^{2+}$ . Тому притягання між атомами в іоні  $\text{CO}_3^{2-}$  послаблюється і він розщеплюється на  $\text{CO}_2$  і  $\text{O}^{2-}$  легше, ніж  $\text{CaCO}_3$ . У кристалічній решітці доломіту (рис. 1) [34], де чергуються шари іонів  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ , і  $\text{Ca}^{2+}$ , першими розщеплюються іони  $\text{CO}_3^{2-}$ , оточені іонами  $\text{Mg}^{2+}$ , а іони  $\text{CO}_3^{2-}$ , що перебувають в оточенні іонів  $\text{Ca}^{2+}$ , стійкіші. Додавання випаленого магнезиту як готових центрів кристалізації не відіграє ключової ролі. Це зумовлено тим, що визначальним етапом трансформації решітки є не формування зародків, а низька швидкість дифузії іонів до них. Аналогічний вплив має і гіпс. Використання цих домішок сприяє інтенсифікації процесу розкладання доломіту за нижчих температур [50].

### 1.3. Виробництво магнезійних в'язучих

Технологія виробництва магнезійних в'язучих:

Процес виробництва магнезійних в'язучих включає три основні стадії: попереднє дроблення сировини, термічний випал та фінальний помел.

Підготовка сировини та випал:

Розмір фракції вихідної сировини залежить від конструктивних особливостей печей. При використанні шахтних печей застосовують куски розміром  $50\text{--}60$  мм, тоді як для обертових печей оптимальний розмір становить  $10\text{--}15$  мм.

Дисоціація магнезиту і доломіту є ендотермічним процесом. Для розкладання 1 кг магнезиту необхідно витратити 1440 кДж теплоти, для доломіту цей показник дещо вищий.

Для випалювання сировини використовують шахтні печі з топками що винесені або обертові печі. Температурний режим у шахтних печах підтримується на рівні 700–800 °С, тоді як в обертових печах температура вища— 900–1000 °С. Тому різниця температур пояснюється значно меншою тривалістю перебування матеріалу в обертових агрегатах. Шахтні печі мають продуктивність 20–30 т/добу при витраті палива 10–15% від маси готової продукції. Обертові печі є потужнішими (50–120 т/добу), але потребують більшої кількості палива (20–30%).

Помел та пакування:

Випалений матеріал подрібнюють за допомогою кульових млинів; найефективнішими є млини, оснащені сепараторами. Якщо випал проводився в шахтній печі, перед основним помелом потрібне додаткове подрібнення. Тонкість помелу каустичного магнезиту регламентується: залишок на ситі № 02 не більше 5%, та на ситі № 008 — 25%. Готовий магнезит пакують у металеві барабани для захисту від гідратації (зволоження). За стандартом каустичний магнезит поділяють на чотири марки: ПМК-88, ПМК-87, ПМК-83, ПМК-75 із вмістом MgO відповідно не менше 88, 87, 83 і 75 %. Магнезит ПМК-88 застосовують для спеціальних цілей, магнезити ПМК-87 і ПМК-83 призначені для хімічної, енергетичної і скляної промисловості, магнезит ПМК-75 можна використовувати як в'язуче. Технологічний процес отримання каустичного доломіту майже ідентичний виробництву каустичного магнезиту. Кінцевий склад і призначення добутого матеріалу залежать від температурного режиму випалу [32].

Для добування каустичного доломіту випалювання потрібно проводити так, щоб продукт отримав щонайбільше оксиду магнію MgO і мінімальну кількість (1 – 2 %) CaO. Щільність каустичного доломіту має бути 2,78 – 2,85 г/см<sup>3</sup>.

Якщо ж щільність більша то це свідчить про великий вміст вільного вапна. Каустичний доломіт містить не менше ніж 15 % MgO, втрати при прожарюванні становлять 30 – 35 %. Як магнезіальне в'язуче можна застосовувати також кальцинований магнезит (відхід виробництва металургійного магнезиту), який є пилом, що осаджується в пилоосаджувальних пристроях обертових печей. В кальцинованому магнезиті міститься значна кількість перепалу і недопалу. Його щільність коливається в межах 2,9 – 3,4 г/см<sup>3</sup>.

#### Замішувачі для магнезіальних в'язучих

Особливістю магнезіальних в'язучих порівняно з іншими в'язучими є те, що для їх замішування використовуються розчини солей, а не вода.

MgCl<sub>2</sub> • 6H<sub>2</sub>O випускається промисловістю у вигляді технічного плавленого продукту. Сировиною для виробництва *хлориду магнію* є карналіт або ропа. Хлорид магнію високогігроскопічний. Тому вироби з каустичного магнезиту, замішані хлоридом магнію, досить гігроскопічні. Хлорид магнію звичайно застосовують у вигляді водного розчину щільністю 1,08 – 1,25 г/см<sup>3</sup>, мас. частка компонентів, %: MgO – 62 – 67; MgCl<sub>2</sub> • 6H<sub>2</sub>O – 33 – 38.

*Сульфат магнію* MgSO<sub>4</sub> • 7H<sub>2</sub>O входить до складу ропи всіх самосадних озер. Це так звана *гірка сіль*. Хоч міцність в'язучих, замішаних сульфатом магнію, нижча за міцність в'язучих, замішаних хлоридом магнію, гігроскопічність їх значно менша. Густина розчинів MgSO<sub>4</sub> × 7H<sub>2</sub>O, що використовуються як замішувачі, коливається від 1,10 до 1,15 г/см<sup>3</sup>, мас. частка компонентів, %: MgO – 80 – 84; MgSO<sub>4</sub> (безводного) – 16 – 20. Іноді в суміші з MgCl<sub>2</sub> застосовують також залізний купорос FeSO<sub>4</sub> • 7H<sub>2</sub>O, який збільшує водостійкість виробів і знижує їх гігроскопічність.

Чим вища концентрація замішувачів, тим повільніше відбуваються тужавіння і тверднення і тим більша кінцева міцність. Однак застосування розчинів з густиною понад 1,30 г/см<sup>3</sup> призводить до виникнення тріщин та утворення висолів. Б. Г. Скрамтаєв запропонував замішувати магнезіальні в'язучі 5 – 15 %-ми розчинами соляної або сірчаної кислоти. При цьому можуть використовуватись кислотовмісні відходи хімічної промисловості, а якщо

врахувати, що при виробництві  $MgCl_2$  і  $MgSO_4$  витрачаються кислоти, то отримується значна економія. Недоліком цього способу є необхідність вжиття спеціальних мір з техніки безпеки. При виробництві магнезиту із ропи озер в'яжучі можна замішувати самою ропою.

### Гідратація і тверднення магнезіальних в'яжучих

$MgO$  порівняно з  $CaO$  характеризується більшою інертністю під час взаємодії з водою. Це пояснюється тим, що плівка  $Mg(OH)_2$ , що утворилась, перешкоджає проникненню води вглиб зерен. Теплота гідратації  $MgO$  становить від 38 до 42 кДж/кг і залежить від умов гідратації. Встановлено, що  $Mg(OH)_2$  може мати дві форми: стабільну і метастабільну. Метастабільна форма має вигляд гелю, який з часом кристалізується.

*Гідроксид магнію* — брусит – кристалізується в тригональній сингонії. Гідроксильні групи утворюють надзвичайно щільну гексагональну упаковку. Кожний пакет структури складається з двох гідроксильних шарів, між якими розміщений шар іонів магнію, що займають усі октаедричні і пустоти. Кожен іон магнію оточений шістьма гідроксильними групами. Пакети між собою зв'язані слабкими залишковими зв'язками [32].  $Mg(OH)_2$  має дуже малу розчинність. Розчинність свіжовиготовленого  $Mg(OH)_2$  становить при 18 °C  $1,61 \cdot 10^4$  моль/г, а після старіння –  $7,0 \cdot 10^4$  моль/л. Добуток розчинності стабільної форми  $Mg(OH)_2$  становить  $1,2 \cdot 10^4$ , а метастабільної –  $6,0 \cdot 10^{10}$ . Отже, навіть незначні домішки іонів  $OH^-$  або  $Mg^{2+}$  різко знижують розчинність бруситу. Розчинність  $Mg(OH)_2$ , як і  $Ca(OH)_2$ , знижується також при збільшенні температури (табл. 2).

**Таблиця 2. Розчинність  $Mg(OH)_2$  у воді при різних температурах**

$t, ^\circ C$	Розчинність, г/л	$t, ^\circ C$	Розчинність, г/л
18	0,0098	110	0,0043
35	0,0099	142	0 0024
45	0,0087	150	0,0022
75	0,0059	158	0,0018
100	0,0012	178	0,0002

Процес взаємодії оксиду магнію (MgO) з водою розпочинається із затримкою. Приблизно через 3–4 години температура суміші сягає пікових значень, що призводить до закипання води, яка не встигла вступити в реакцію. Внаслідок цього процес гідратації переривається, а цементне тісто розтріскується. Оскільки кінцеві вироби мають низьку міцність, магнезіальні в'язучі, замішані на звичайній воді, не набули широкого практичного застосування. Ситуація кардинально змінюється при використанні замість води розчинів солей: міцність на розтягування затверділого каменю може перевищувати 10 МПа. Найбільш поширеними у будівництві є магнезіальні цементи, замішані на розчині хлориду магнію (бішофіту).

Процес твердіння каустичного магнезиту при вмісті солей відбувається так. Під час гідратації на першому етапі при наявності  $MgCl_2$  утворюється гідроксихлорид магнію, що має склад  $MgCl_2 \cdot 5Mg(OH)_2 \times 7H_2O$  який з часом розщеплюється на  $MgCl_2 \cdot 3Mg(OH)_2 \cdot 7H_2O$  і  $Mg(OH)_2$ . У затверділому каустичному магнезиті рентгенофазовим аналізом встановлена наявність  $MgCl_2 \cdot 3Mg(OH)_2 \cdot 7H_2O$  і  $Mg(OH)_2$ .  $MgCl_2 \cdot 3Mg(OH)_2 \cdot 7H_2O$  кристалізується у вигляді волокон і надає матеріалу збільшену границю міцності при згині. Під час гідратації при наявності  $MgSO_4$  утворюється  $MgSO_4 \times 5Mg(OH)_2 \cdot 3H_2O$ , який при температурі понад 50 °C переходить в  $MgSO_4 \cdot 3Mg(OH)_2 \cdot 8H_2O \cdot Mg(OH)_2$ , як і  $Ca(OH)_2$ , може карбонізуватися з утворенням тригідрату карбонату магнію, що поліпшує цементуючі властивості.

Під час тверднення каустичного доломіту також утворюється оксихлорид магнію.  $CaCO_3$  створює центри кристалізації, що підвищують щільність виробів.  $Mg(OH)_2$  може вступати у взаємодію з високодисперсним оксидом кремнію  $SiO_2$  вже при нормальній температурі. Найшвидше така реакція здійснюється в автоклаві при 174 °C і залежно від співвідношення  $MgO : SiO_2$  та температури утворюються кероліт  $Mg_4 [Si_4O_{10}] \cdot (OH)_4 \times 4H_2O (4MgO \cdot 4SiO_2 \cdot 6H_2O)$ , сепіоліт  $Mg_8 (H_2O)_4 \cdot [Si_6O_{15}] (OH)_4 \times 8H_2O (8MgO \cdot 12SiO_2 \cdot nH_2O)$ , або серпентин  $Mg_6 [Si_4O_{10}] (OH)_8 \times (3MgO \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O)$ , що виділяються у вигляді гелів, а

потім перетворюються на волокнисті кристали. Вони не тільки підвищують міцність, але й діють як армуючий матеріал.

На базі каустичного магнезиту існує можливість виробництва матеріалу, відомого як гелевий цемент. Принцип його тужавлення полягає в ущільненні та подальшій кристалізації гелю гідроксиду магнію ( $Mg(OH)_2$ ) шляхом видалення адсорбованої води через додавання оксиду магнію ( $MgO$ ). Як альтернативу оксиду магнію ( $MgO$ ) для хімічного зв'язування води можна використовувати інші прожарені оксиди, зокрема  $Al_2O_3$ ,  $BaO$  або  $CaO$ . Затверділий гелевий цемент є високоміцним матеріалом, що складається з гідроксиду магнію або суміші гідроксидів магнію, алюмінію, барію чи кальцію. На основі каустичного магнезиту можна також отримати так званий *гелевий цемент*.

#### **1.4. Властивості і застосування каустичного магнезиту і каустичного доломіту**

Середня щільність каустичного магнезиту в насипному стані становить 700 – 850 кг/м<sup>3</sup>.

*Каустичний магнезит* являється швидкотверднучим в'язучим. Початок тужавлення складає не швидше 20 хв, а кінець має бети не пізніше ніж 6 год від початку затворення.

Строки тужавіння каустичного доломіту розтягнуті. Початок тужавіння зазвичай наступає через 3 – 10, а кінець – через 8 – 20 год. Під час випробовування у тістї пластичної консистенції каустичний магнезит, замішаний розчином  $MgCl_2$ , густиною 1,2 г/см<sup>3</sup> у віці 1 доба повітряного тверднення, має міцність при розтяг не менше 1,5 МПа, а через 28 діб отримаємо 3,5 – 4,5 МПа. Міцність при стиску ущільнених зразків із розчину з піском (1 : 3) після 28 діб тверднення на повітрі становить 40 – 60 МПа. При високій якості магнезиту міцність може досягати 80 – 100 МПа.

У перші строки тверднення темп наростання міцності високий. Звичайно у віці 1 доба міцність бетонів і розчинів досягає 30 – 50, а у віці 7 діб становить близько 60 – 90 % максимуму. Після 28 діб збільшення міцності дуже незначне або навіть зовсім відсутнє.

Магнезіальні в'язучі демонструють високий ступінь адгезії як до мінеральних, так і до органічних наповнювачів. Це дозволяє створювати якісні композитні матеріали з використанням відходів деревообробної промисловості, зокрема стружки та тирси. Завдяки відносно низькому показнику рН магнезіального цементу в процесі тужавлення та високій кінцевій щільності матеріалу, органічні компоненти у його складі надійно захищені від процесів гниття.

Зразки із суміші каустичного магнезиту і деревної тирси (3:1) мають міцність на стиск 40—50 МПа, а на розтягування – 3,0 – 3,5 МПа. Тверднення таких сумішей супроводжується об'ємними деформаціями, причому в перший період (до 5 діб) вони набухають (до 0,5 – 1 мм/м), а потім дають усадку. Набухання виробів різко зростає при збільшенні відносної вологості повітря до 85—90 %, що негативно відбивається на якості виробів. Міцність каустичного доломіту значно нижча. Зразки з трамбованого розчину складу 1 : 3 на цьому в'язучому міцність при стиску 10 – 30 МПа.

І каустичний магнезит, і каустичний доломіт є повітряними в'язучими. У воді й у вологій атмосфері їх міцність різко знижується.

Найбільш поширеним підходом є застосування магнезіального цементу в комбінації з органічними заповнювачами. Отримані вироби характеризуються низкою цінних властивостей, зокрема: підвищеною ударною в'язкістю, легкістю обробки, жароміцністю та добрими звукоізоляційними якостями.

Вироби з магнезіальних в'язучих, заповнювачем у яких є тирса, дістали назву *ксилолітових* (ксилоліт – по-грецькому дерево-камінь). У практику будівництва ксилоліт ввів С. Копфельд у 1882 р. Із ксилоліту виготовляють плитки, сходи, плити для підвіконників тощо. Виготовляють з нього також і теплі безшовні підлоги, що мають низький коефіцієнт стираності, малу теплопровідність і високу гігієнічність.

До складу маси для ксилолітових підлог поряд з  $MgO$ ,  $MgCl_2$  і тирсою іноді вводять дрібний азбест, тальк, які підвищують щільність, та мармуровий дрібняк, що збільшує стійкість проти стираності.

Каустичний магнезит також використовується для виробництва фіброліту — композитного матеріалу, де в якості заповнювача виступає довговолокниста деревна маса. Фіброліт доступний у формі плит або пластин. Ці плити мають середню густину в діапазоні 400–600 кг/м<sup>3</sup> та міцність на вигин від 0,5 до 3,0 МПа.

Крім того, на основі магнезійних в'язучих виробляють різноманітні теплоізоляційні матеріали, зокрема піно- та газобетони. Піщано-магнезійні розчини також знаходять застосування у штукатурних роботах.

Виробничо-будівельна компанія «Сорель-Екологі» є виробником будівельних і декоративно обробних матеріалів на основі магнезійного в'язучого. За 7 років роботи, фахівцями компанії розроблені і успішно застосовані на практиці склади магнезійних бетонів із заданими експлуатаційними характеристиками. Відпрацьовані технології пристосовуваності магнезійної промислової, високоміцної, монолітної підлоги – технологія «Сорель», тепло-звукоізоляційних піномагнезійних підстилаючих шарів під підлогові покриття, виготовлення стінових піномагнезійних пазогребневих блоків, виробництво облицювальних стінових матеріалів.

Сучасні наукові дослідження у галузі будівництва окреслюють профіль ідеального матеріалу майбутнього. Критерії такого матеріалу включають універсальність — поєднання високих конструкційних характеристик і теплоізоляційних властивостей. Він має бути негорючим, довговічним, вологостійким, екологічно безпечним, а також володіти достатніми декоративними якостями, що мінімізує потребу в додатковому внутрішньому та зовнішньому оздобленні будівель. Бажаною умовою є використання мінеральної сировини у виробництві. Додатково цей гіпотетичний матеріал повинен легко інтегруватися в існуючі технологічні лінії та бути конкурентоспроможним за вартістю порівняно з вузькопрофільними аналогами.

Цікаво, що концепція такого інноваційного матеріалу — це, по суті, добре забуте старе рішення, яке потребує лише незначної модернізації. Виявляється,

відповідь на сучасний технологічний запит була знайдена попередніми поколіннями ще півтора століття тому.

Каустичний магнезит, отриманий шляхом низькотемпературного випалу природних мінералів, які містять значну кількість карбонату або гідроксиду магнію (наприклад, магнезиту чи доломіту), при замішуванні водним розчином магнієвих солей (таких як сульфат або хлорид магнію — бішофіт, склад якого подібний до морської води) формує пластичну масу з вираженими в'язучими властивостями. Властивості цієї сполуки були вперше описані в середині XIX століття французьким інженером Сорелем, який не тільки започаткував її використання в будівельній галузі, але й опосередковано дав назву сучасній їй компанії «Сорель-Екоłodжі» [45]. Фундаментальна унікальність магнезіального в'язучого полягає в синергії його високої в'язучої здатності та універсальної сумісності з широким спектром заповнювачів, включаючи органічні матеріали природного та штучного походження.

Властивості та застосування матеріалів на основі магнезіальних в'язучих (Магноліт)

Цементний камінь, що формується на основі магнезіального в'язучого, являє собою твердий розчин солей зі складною кристалічною структурою. Саме ця хімічна основа дозволяє створювати різноманітні каменеподібні композити з точно заданими експлуатаційними властивостями, які об'єднані загальною комерційною назвою «магноліт».

Спектр властивостей магноліту є надзвичайно широким і залежить від типу використаних наповнювачів:

Ключові фізико-механічні характеристики:

Висока міцність: Міцність на стиск цих матеріалів співставна з показниками найміцніших традиційних бетонів. При цьому міцність на вигин значно (у 3–5 разів) перевищує бетон без застосування додаткових армуючих елементів. Матеріал також швидко набирає міцність. При однаковій щільності магноліт визнаний найміцнішим серед усіх відомих мінеральних теплоізоляційних будівельних матеріалів.

**Довговічність та стійкість:** Магноліт демонструє атмосферностійкість на рівні стандартних будівельних матеріалів. Він абсолютно інертний до дії масел, нафтопродуктів та солей; цікаво, що контакт із морською водою або маслами лише сприяє подальшому зміцненню матеріалу.

**Експлуатаційні та естетичні якості:**

**Декоративність:** Матеріал має високі естетичні якості. Сумісність із різноманітними пігментами, відмінна поліруємість та напівпрозорість в'язучого у тонкому шарі дозволяють достовірно імітувати широкий спектр природних текстур — від цінних порід деревини до малахіту.

**Пожежна безпека:** Конструкції з магноліту при достатній масивності є вогнетривкими, здатними витримувати пожежі 5-ї категорії без руйнування матеріалу та виділення токсичних чи канцерогенних речовин.

**Біостійкість:** Завдяки вираженим фунгіцидним, бактерицидним та біоцидним властивостям, магноліт перешкоджає розвитку плісняви та бактерій. Гірко-солоний смак бішофіту в складі матеріалу додатково відлякує комах і гризунів.

**Спеціалізовані та електротехнічні властивості:**

**Електроізоляція:** Матеріал характеризується низькою діелектричною проникністю та електропровідністю, які є стабільними незалежно від рівня вологості навколишнього середовища. Ці параметри роблять магноліт незамінним для виготовлення спеціалізованих екрануючих конструкцій, призначених для захисту від електромагнітного випромінювання. Поверхні виробів з магнезиту не електризуються (антистатичні) та не утворюють іскор.

**Застосування у підлогових покриттях:**

Магнезійні підлогові покриття є безпильними, високоміцними, довговічними, мають високу твердість та низьку стиранисть. Вони стійкі до ударних навантажень і майже не дають усадки, що уможливило влаштування суцільних безшовних покриттів без необхідності нарізання деформаційних швів.

**Адгезійні характеристики:**

Матеріал демонструє виняткову адгезію (зчеплення) практично до всіх видів органічних і мінеральних заповнювачів у своєму складі, а також забезпечує надійне зчеплення з традиційними основами, такими як бетонні, цегляні та дерев'яні поверхні.

Окрім інших переваг, консервуючі властивості магноліту дозволяють використовувати навіть потенційно токсичні заповнювачі у виробництві будівельних виробів, забезпечуючи при цьому кінцевий радіаційний фон, що відповідає чинним санітарним нормам. Значний вміст хімічно зв'язаної води в структурі магнезійного цементного каменю робить магноліт оптимальним матеріалом серед існуючих бетонів для біологічного захисту від радіаційного випромінювання. Самі магнезійні в'язучі та продукти на їхній основі є біологічно інертними та екологічно безпечними.

Технологічні можливості сучасності дозволяють використовувати магноліт для виготовлення широкого спектра виробів. Зокрема, на його основі створюють елементи стін, конструкційні балки, а також блоки з піномагноліту, де фасадна сторона імітує фактуру натурального каменю чи цегли. Крім того, матеріал є ефективним для облаштування підлог та виготовлення декоративних елементів інтер'єру. Слід зазначити, що в будинках з магнолітових конструкцій створюється сприятливий для людини мікроклімат, що поєднує в собі достоїнства дерев'яного будинку і соляної печери, що надає бальнеологічний ефект для хворих астмою і іншими алергічними захворюваннями.

Магнезійні підлоги: ідеальне рішення для промислових та спеціалізованих приміщень.

Магнезійне в'язуче вважається ідеальним матеріалом для влаштування підлогових покриттів. Монолітні магнезійні підлоги використовуються в будівництві вже понад століття. Яскравим доказом їхньої виняткової довговічності є покриття у виробничих цехах Москви, які прослужили півстоліття без капітального ремонту, зберігаючи при цьому відмінний стан.

Ці покриття вигідно вирізняються унікальним поєднанням якостей, які рідко зустрічаються в інших матеріалах-аналогах. Вони є незамінними для об'єктів із підвищеними вимогами до:

**Пожежної безпеки:** Ідеально підходять для поліграфічних, текстильних, целюлозно-паперових та нафтопереробних виробництв.

**Чистоти та гігієни:** Застосовуються в приміщеннях, що вимагають виняткової чистоти (наприклад, у медичних установах або харчовій промисловості).

**Міцності та зносостійкості:** Використовуються в гаражах, на автостоянках, складах та виробничих площах з інтенсивним навантаженням.

**Декоративні можливості та технологія влаштування:**

Фахівці мають значний досвід у створенні естетичних, декоративних та мозаїчних підлог на основі магнезійного в'язучого. Для цього використовується спеціальна технологія:

**Вибір заповнювача:** Як великий заповнювач застосовують щабіль цінних мінералів (мармуру, граніту, серпентиніту, кварцу тощо).

**Пігментація:** Склад самого в'язучого забарвлюється кольоровим пігментом по всій масі. **Фінішна обробка:** Після шліфування поверхні підлоги оголюється природна структура каменю, поміщеного у кольорову магнезійну матрицю, що дозволяє створювати унікальний та довговічний декоративний орнамент [6].

Перешкоди на шляху масового впровадження магноліту як будівельного матеріалу вже в минулому. Ключовим компонентом є бішофіт який унікальний за складом, екологічно чистий мінерал (водний хлорид магнію ( $MgCl_2 \cdot 6 H_2O$ )), який утворюється при процесі кристалізації солей в замкнутих водних басейнах. Розробка та успішна експлуатація обпалювальних агрегатів киплячого шару уможливило отримання недорогого магнезійного в'язучого з доломіту — найпоширенішої магнезійної сировини. Магнезійні в'язучі, маючи цінних якостей, неводостійкі. Це, разом з певною дефіцитністю сировини, є серйозною перешкодою для їх застосування на практиці.

Численні дослідження показують, що підвищення розм'якшення магнезійних в'яжучих як на каустичному магнезиті, так і із застосуванням продукту напівспаленого доломіту можна досягти заходами:

1. Введенням залізного купоросу;
2. Введенням 0,02 – 3 % (по вазі) водорозчинної полімерної добавки з нагріванням суміші.
3. Покриттям поверхні виробів водозахисними речовинами;
4. Введенням різних форм аморфного  $\text{SiO}_2$ , метакаолініту і деяких інших дисперсних активних добавок.

Ці заходи не вирішують повністю проблеми, а лише дещо підвищують довговічність виробів на основі магнезійних в'яжучих.

Значний інтерес тому представляють фосфатні добавки завдяки яким повітряне магнезійне в'яжуче фактично перетворюється на гідравлічне. Для цієї застосовуються алюмо-, залізо-, каоліно-хромофосфатні суміші, співвідношення в яких  $\text{R}_2\text{O}_3/\text{H}_3\text{PO}_4$  відповідає отриманню середніх фосфатів після термічної обробки при 150—180 °С. Непогані результати дає і термічно оброблений суперфосфат. Кількість добавок залежно від заданих властивостей від 1 до 10 % від ваги цементу.

Фосфатні добавки покращують і інші властивості магнезійних в'яжучих: значно збільшується міцність, морозостійкість, адгезійні властивості, лугостійкість, зменшується тепловиділення. Магнезійне в'яжуче з фосфатними добавками може розширюватися (1,31 – 2,55 мм/м при повітряному твердінні, 1,40 – 3,4 мм/м при витримці у воді).

Механізм дії даних продуктів можна пояснити таким чином: фосфатні добавки піддаються гідролізу в розчині  $\text{MgCl}_2$ . При цьому хлористий магній діє каталітично на цей процес, прискорюючи його в 8—11 разів. Залежно від складу фосфатної добавки виникають колоїдні новоутворення  $(\text{Al}_2\text{Mg}_3)(\text{PO}_4)_4 \cdot 2\text{Mg}(\text{OH})_2 \cdot \text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  ( $\text{Fe Mg}_4$ )  $(\text{PO}_4)_4 \cdot 3\text{Mg}(\text{OH})_2 \cdot \text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  ( $\text{Ca}_2\text{Mg}_4$ ), які і визначають в нові властивості магнезійного цементу[46].

Підвищення розм'якшення і зменшення пористості, очевидно, зв'язане і з в порох затверділого матеріалу при зберіганні його у воді малорозчинних фосфатів магнію.

Сучасні переконання на процес твердіння з позицій фізико-хімічної механіки дисперсних структур дозволяє пояснити і оптимальне структуроутворення хлормagneзійального цементу у присутності фосфоровміщуючих добавок. Порівняно швидке виникнення необоротної кристалізаційної структури твердіння магnezійального в'язучого надалі до значних внутрішніх в місцях утворення контактів зрощення, що знижує механічні властивості цементного каменя. При введенні фосфатних добавок наголошується значне подовження термінів схоплювання магnezійального в'язучого, що створює сприятливіші умови для утворення кристалізаційної структури. В той же час в одиниці об'єму виникає велика кількість новоутворень дуже розвиненою поверхнею.

Про процес структуроутворення можна судити по зміні пластичної міцності, інтенсивне наростання якої можна прийняти за індукційний період утворення кристалізаційної структури. На цьому етапі наголошується поява максимальної кількості контактів в структурі, що утворюється. При зіставленні максимального утворення контактів зрощення і механічної міцності виготовлених зразків до 28 діб повітряного твердіння тих же складів можна визначити час оптимального структуроутворення (рис. 2). Триваліший процес утворення кристалізаційної структури погіршує міцнісні властивості, що, очевидно, пов'язано з меншою можливістю для обростання контактів зрощення новоутвореннями. Останнім часом магnezійний цемент добавкою екзотермофосфорного шлаку.

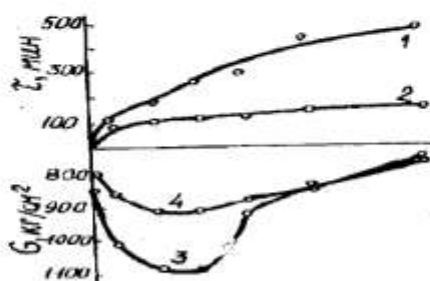


Рис 2. Час оптимального структуроутворення

Розробка ефективних матеріалів на основі каустичного магнезиту неможлива без поліпшення розм'якшення і зниження усадкових деформацій виробів на їх основі. Відомо, що поліпшення властивостей магnezіальних в'язучих можливо за рахунок використання модифікуючих добавок різного походження. При цьому інтерес представляють добавки, що мають в своєму складі сульфатний аніон, що приводить до формування аморфної структури магnezіального в'язучого.

Як сульфатовміщуючий модифікуючий компонент, використовуваний для отримання аморфної структури, вводилися природний ангідрит Горозубовського родовища і фторангідрит підприємства ВАТ «Галоген» техногенного походження, здатні нейтралізувати усадкові явища магnezіального в'язучого і що одночасно мають власні в'язучі властивості. Для забезпечення оптимальної організації структури пов'язуючої матриці застосовувався дисперсний сульфатовміщуючий відхід гальванічного виробництва карфосидерит  $\text{Fe}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_5 \cdot \text{H}_2\text{O}$  [5]. Фторангідрит і карфосидерит є техногенними матеріалами, що мають низьку вартість, що сприяє підвищенню ефективності використання модифікованих магnezіальних композицій. Для поліпшення технологічних властивостей, підвищення щільності структури і міцності магnezійних композицій використовувалася пластифікуюча добавка С-3.

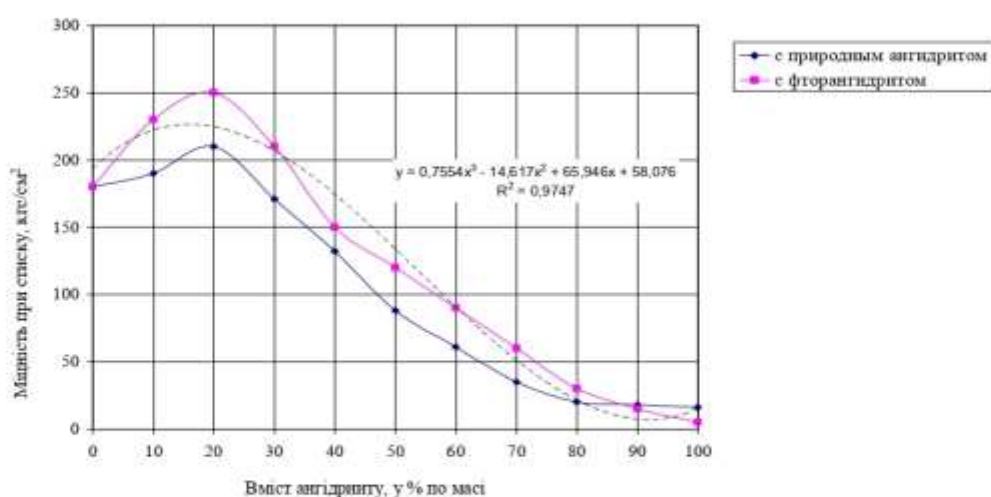


Рис. 3. Залежність міцності на стиск магnezіального в'язучого, модифікованого ангідритом у віці 7 діб.

Використання модифікуючої добавки фторангідрита підприємства ВАТ «Галоген» дозволило підвищити межу міцності на стиснення у віці 7 діб до 25,2 МПа, при додаванні меленої ангідридової породи Горозубовського родовища до 21 МПа. Приріст межі міцності на стиск при оптимальному співвідношенні основних компонентів для зразків, виготовлених з використанням техногенного ангідриту, склав 31 % порівняно із зразками, виготовленими без введення ангідриту.

Використання карфосидерита, як добавки що структурує, привело до істотного підвищення міцності композицій. Результати випробувань зразків у віці 7 діб представлені на мал. 4.

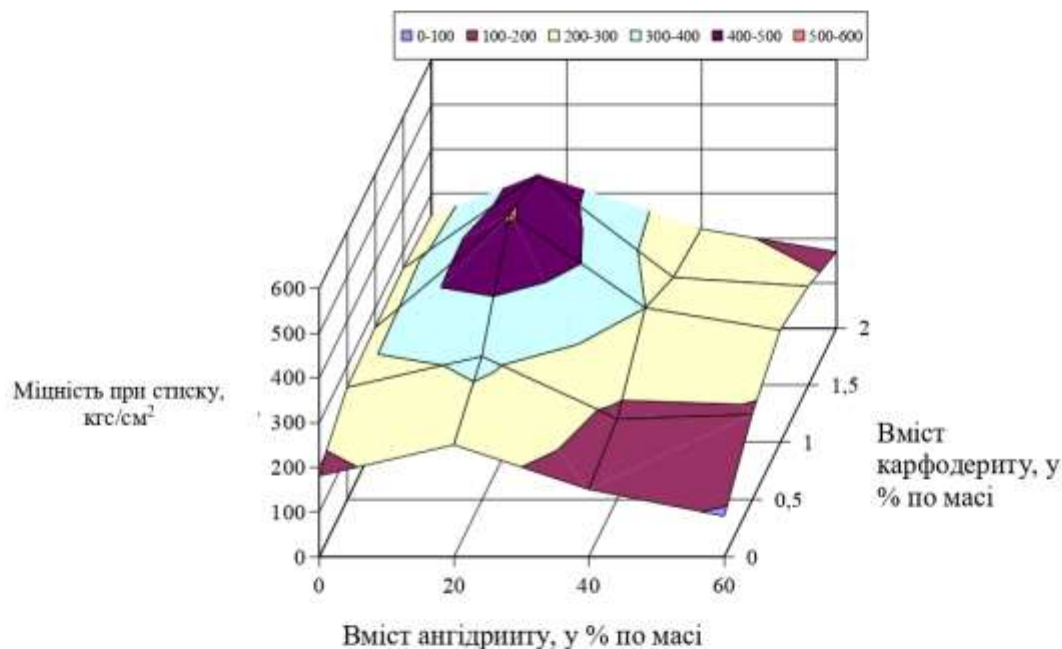


Рис. 4. Залежність міцності на стиск магnezіальних композицій у віці 7 діб, модифікованих фторангідритом і карфосидеритом

Як видно з рис. 4 оптимальні міцнісні характеристики модифікованого магnezіального в'язучого досягнуті при введенні 1 % добавки карфосидерита від маси в'язучого. Приріст межі міцності в порівнянні із зразками без введення карфосидерита склав 92 % і 80 % відповідно для композицій одержаних використання фторангідрита і природного ангідриту. Разом із зміною міцності модифіковане магnezіальне в'язуче має знижену схильність до усадкових

деформацій, що виникають в процесі твердіння композицій. Так, в початкові терміни твердження розширення при твердінні у модифікованого в'язучого нижче в два рази, а максимальне розширення, що настає через 3 доби в чотири рази нижче (рис. 6) порівняно з контрольним зразком.

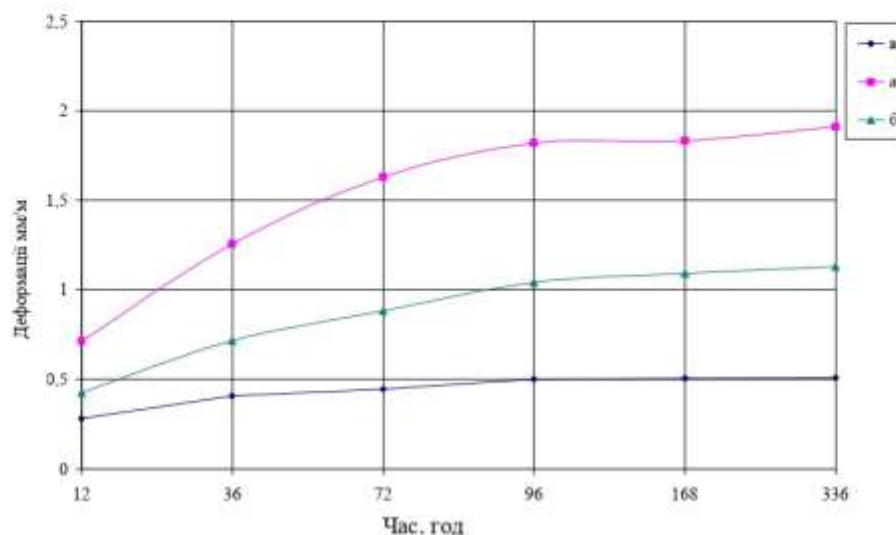


Рис. 5. Деформації магnezіальних в'язучих: (а) – без добавок, (б) – модифікованих фторангідритом, (в) - модифікованих комплексною добавкою  
Основні фізико-технічні характеристики модифікованого магnezіального в'язучого приведені табл. 3.

Таблиця 3. Показники фізико-технічних характеристик початкового і модифікованих магnezіальних в'язучих.

Вид магnezіального в'язучого	Порівняльні фізико-технічні характеристики				
	Терміни схоплювання (початок/кінець), хв	Нормальна густина, %	Міцність на стиск, МПа	Кр	Усадочні деформації, мм/м
Існуючий аналог (каустичний магnezит марки ПМК -75)	35/65	43,3	18	0,71	1,629
Магnezійне в'язуче, модифіковане ангідритом	27/45	41,6	25,2	0,76	0,882

Магнезіальне в'язуче, модифіковане комплексною добавкою (20 % ангідриду, 1 % карфосидерита)	39/60	42,1	51,4	0,92	0,411
--	-------	------	------	------	-------

Для подальших досліджень використовувався склад з введенням фторангідрида і карфосидерита у віці 9 місяців для виявлення змін в процесі експлуатації магнезіального в'язучого [49].

На рентгенівському спектрі модифікованого магнезіального в'язучого у віці 9 місяців наголошується зниження інтенсивності віддзеркалень оксихлоридів магнію  $Mg_3Cl(OH)_5 \cdot 4H_2O$  ( $d_\alpha = 7,56$  E) в 4,5 разу і істотне зростання інтенсивності тих, що карбонізують оксихлоридів магнію  $Mg_4Cl_2(OH)_2(CO_3) \cdot 6H_2O$  ( $d = 11,5$  E) (мал. 4). Віддзеркалення, відповідні оксиду магнію  $Mg(OH)_2$  ( $d_\alpha = 4,77; 2,37$  E) практично відсутні [31].

Таким чином, введення добавки, що структурує, прискорює процес тієї, що карбонізує мінеральної матриці із зміною мінералогічного складу. Новоутворення, що карбонізують, є міцнішими і стійкішими з'єднаннями, що веде до поліпшення фізико-механічних властивостей магнезійних композицій.

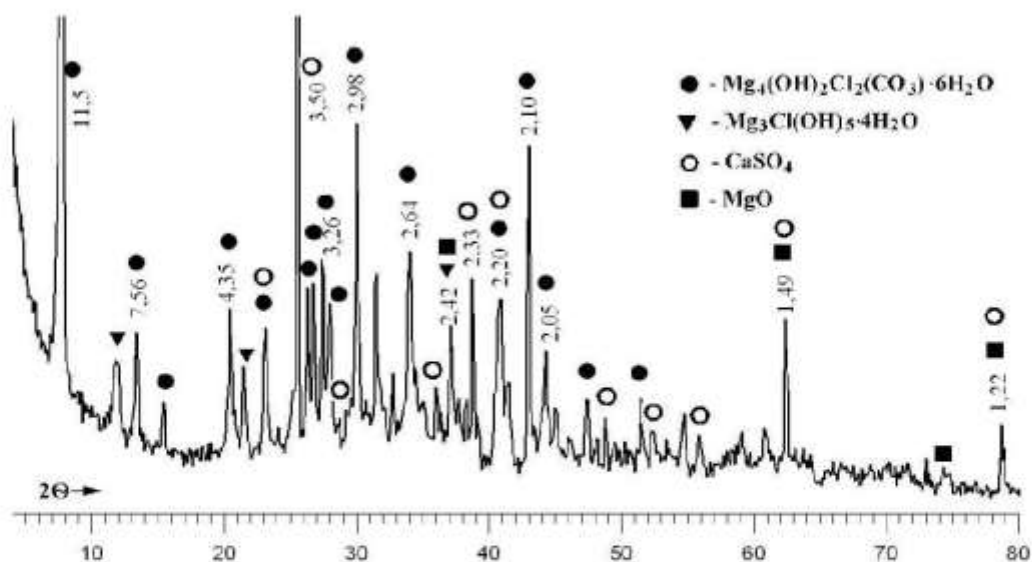


Рис. 6. Рентгенограма затвердлого магнезіального в'язучого у віці 9 місяців, модифікованого комплексною добавкою.

Дослідження мікроструктури магнезійного в'язучого під растровим електронним мікроскопом показало, що при твердінні магнезійного в'язучого хлориду магнію, що замішується розчином, формується структура з кристалогідратними новоутвореннями, що мають рихлу волокнисту структуру (рис. 7а). Введення 20 % фторангідриту дозволяє перевести структуру магнезійної матриці з кристалогідратної в аморфну і приводить до додаткового ущільнення структури магнезійного в'язучого за рахунок гідратації ангідриту з утворенням кристалів двохводного гіпсу (рис. 7б).

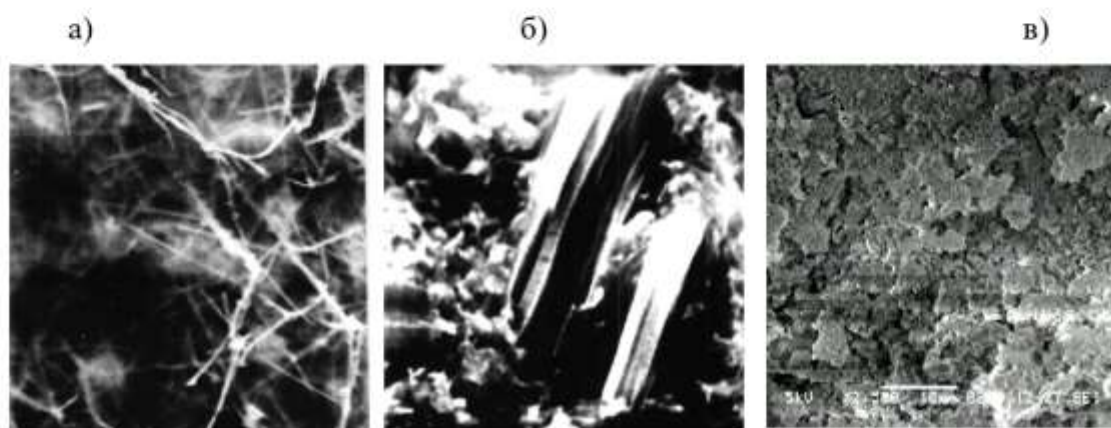


Рис. 7. Мікроструктура магнезійного в'язучого: (а) - без модифікуючої добавки (x8000), (б) – формування ущільнюючих новоутворень на основі  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  при введенні модифікованої добавки (x7000), (в) - структуризація магнезійної матриці карфосидеритом (x2500)

Ультра дисперсна добавка карфосидерит в кількості 1 % сприяє структуризації аморфної структури з формуванням орієнтаційно-структурованої оболонки в міжфазних шарах магнезійного в'язучого з властивостями і структурою близькими ультрадисперсній добавці (рис. 7 в).

Аналіз впливу модифікуючих добавок на процеси структуроутворення і фізико-технічні характеристики магнезійного в'язучого дозволив зробити наступні висновки:

1. При твердінні магнезійного в'язучого, такого, що замішується розчинами магнезійних солей формується структура з кристалогідратними

новоутвореннями, що мають рихлу волокнисту структуру, яка зумовлює при високих механічних показниках низьку водостійкість і підвищену деформативність магнезійних в'язучих.

2. Введення фторангідрита дозволяє перевести структуру магнезійної матриці з кристалогідратної в аморфну. Аморфні новоутворення підвищують щільність магнезійної матриці, покращуючи механічні характеристики композицій за рахунок зміни структури композицій. Додатково використання фторангідрита приводить до додаткового ущільнення структури магнезійного в'язучого за рахунок гідратації ангідриту з утворенням кристалів двоводного гіпсу.

3. Стабілізація аморфної структури в часі досягалася введенням ультрадисперсної добавки у вигляді карфосидерита, яка сприяла формуванню орієнтаційно-структурованої оболонки в міжфазних шарах магнезійного в'язучого з властивостями і структурою близькими ультрадисперсній добавці.

4. Застосування комплексної модифікуючої добавки приводить до прискорення процесів тієї, що карбонізує аморфної матриці з утворенням тих, що карбонізують оксихлоридів магнію, стійкіших до чинників навколишнього середовища. При цьому наголошується істотне зниження вмісту в модифікованій магнезійній матриці метастабільного гідроксиду магнію.

5. При використанні комплексної добавки досягається підвищення міцності модифікованого магнезійного в'язучого 92 %, збільшення коефіцієнта розм'якшення складає 0,92.

## РОЗДІЛ 2

### МЕТА РОБОТИ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕНЬ

**Основною метою даної роботи** – підбір складу та дослідження фізико-механічних властивостей магнезіальних ніздрюватих бетонів з підвищеною водостійкістю.

**Об'єкт дослідження** ніздрюватий бетон на магнезіальних в'язучих з підвищеними експлуатаційними характеристиками.

**Предмет дослідження** – фізико-механічні властивості та коефіцієнт розм'якшення магнезіального ніздрюватого бетону з використанням добавок.

#### **Задачі досліджень:**

1. Підібрати склад ніздрюватого бетону на магнезіальних в'язучих з використанням добавок
2. Експериментально дослідити можливості підвищення водостійкості легкого бетону з магнезіальними в'язучими з допомогою використання добавок
3. Визначити коефіцієнт розм'якшення легкого бетону на магнезіальних в'язучих
4. Розширення можливості використання сировинної бази виробництва.
5. Підбір можливості використання та оптимізація витрати добавок (бутаналу та асидол-милонфту).

## РОЗДІЛ 3

### МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

Методи дослідження: Визначення міцнісних характеристик бетону що проводилися за стандартними методиками дослідження. Експерименти проводилися з використанням математико-статистичних методів та комп'ютерною обробкою результатів дослідження.

#### 3.1 Виготовлення зразків

Для досліджень виготовлялися зразки-кубики розміром 3×3×3 см.

Склад бетону:

При підборі складу бетону було встановлено мінімальну витрату магнезиту на рівні 100 кг на 1 м<sup>3</sup> готового матеріалу. Розрахунки пропорцій компонентів проводилися для об'єму 1 м<sup>3</sup> бетону. Витрати всіх матеріалів розраховувалися з використанням двофакторної матриці планування експерименту.

- Спочатку на вагах зважуємо необхідну кількість магнезиту та дефекату, та мірним циліндром відміряємо потрібну кількість бішофіту та добавки;

- потім всі ці матеріали перемішуються на протязі 3-х хвилин та укладаються у форми;

- ущільнюється суміш на струшувальному столику – 20 струшувань;

- після цього зразки на одну добу залишаються у формах, для досягнення розпалубочної міцності, а потім продовжують набір міцності на повітрі.

Паралельно з дослідними зразками з добавкою, готуються і базові зразки для порівняння властивостей.

#### 3.2 Визначення міцності бетону при стиску.

Визначення міцності на стиск ( у зв'язку з дефіцитом вхідних матеріалів) проводимо за нестандартною методикою ( на зразках розміром 3×3×3 см.) у віці 1, 3, 7, та 28 діб на пресі Р - 5. Границю міцності при стиску легкого бетону розраховуємо за формулою:

$$R_{ct}=P/A, \text{ кгс/см}^2 \quad (3.1)$$

де: Р – руйнівне навантаження, кгс

А – площа поверхні, на яку прикладається навантаження, см<sup>2</sup>

### 3.3 Визначення водопоглинання.

Згідно ДСТУ Б В.2.7-170:2008 [19], водопоглинання, визначаємо наступним чином:

Спочатку на технічних вагах зважуємо зразки ( 3 зразки з добавкою і 3 зразки без добавки). Потім ці зразки висушують в сушильній шафі температура 60-70 °С до постійної маси далі зважуємо та опускаємо на 2 доби у воду.

Після цього їх повторно зважують та визначають водопоглинання за формулою:

$$W=(m_{\text{вол}}-m_{\text{сух}})/ m_{\text{вол}} \cdot 100 \% \quad (3.2)$$

де:  $m_{\text{сух}}$  – маса сухого зразка, г

$m_{\text{вол}}$  – маса зразка у насиченому водою стані, г

### 3.4 Визначення коефіцієнта розм'якшення.

Коефіцієнт розм'якшення визначається в наступному порядку:

Спочатку зразки з добавкою та без добавки висушують у сушильній шафі при температурі 60-70 °С до постійної маси та опускають їх у воду на дві доби. Потім, після 2-х діб, визначають границю міцності при стиску вологих зразків. Паралельно з цим визначають границю міцності при стиску зразків, які тверднули на повітрі. Коефіцієнт розм'якшення визначають за формулою:

$$K_{\text{в}} = K_{\text{в(вол)}}/K_{\text{в(сух)}} \quad (3.3)$$

де:  $K_{\text{в(вол)}}$  – коефіцієнт розм'якшення вологих зразків;

$K_{\text{в(сух)}}$  - коефіцієнт розм'якшення сухих зразків.

Результати випробувань обробляються математико-статистичним методом.

### 3.5 Випробування магнезиту.

Випробування магнезиту проводиться згідно ДСТУ EN 14016-1:2019 [13] ДСТУ EN 14016-1:2019 Речовини в'язучі для магнезитових стягувань. Каустична магнезія та хлорид магнію. Частина 1. Визначення та вимоги (EN 14016-1:2004, IDT)

### 3.5.1 Визначення насипної густини

1) Насипна густина сухого магнезиту за ДСТУ Б В.2.7-232:2010 [20].

Магнезит, висушений до сталої маси і просіяний через сито, насипають у воронку ЛОВ, випускний отвір якої закритий заслінкою. Зважують пусту посудину ( $m_1, g$ ) точністю до  $1 g$  і ставлять разом з піддоном під воронку, відкривають заслінку і насипають магнезит у мірну посудину без ущільнення до появи над поверхнею конусу. Не пересуваючи посудини, металевою лінійкою зрізають надлишок магнезиту врівень з краями посудини і посудину з магнезитом зважують ( $m, g$ ).

Насипну густина визначають за формулою:

$$\rho_n = \frac{m}{V}, \text{ кг/м}^3, \quad (3.4)$$

де  $V$  – об'єм мірної посудини,  $m$  – маса магнезиту. Визначення насипної густини проводять 2-3 рази, кожного разу для нової порції магнезиту.

### 3.5.2 Визначення строків тужавіння

*Прилади і матеріали:* Лабораторна механізована апаратура: мішалка для приготування тіста; прилад для автоматичного запису термінів схоплювання; апаратура, вживана при ручному виробництві: прилад Віка в комплекті з голкою, товкачиком і кільцем, а також чашки і лопатки, конструкція і розміри яких приведені в ДСТУ Б В.2.7-46:2010;

-секундомір;

-магній хлористий технічний, водний розчин густиною  $1,20 \text{ г/см}^3$ .

З каустичного порошку і розчину хлористого магнію готують тісто шляхом змішування компонентів в мішалці або вручну протягом 3—4 хв.

Кільце приладу Віка заповнюють цементним тістом за одну операцію. Для ущільнення матеріалу кільце обережно струшують 5–6 разів, постукуючи пластиною приладу по поверхні столу. Надлишок тіста акуратно зрізають ножом, попередньо протертим вологою тканиною, вирівнюючи поверхню по краях кільця.

Далі товкачик приладу швидко опускають до зіткнення з центром поверхні тіста і фіксують гвинтом. Після цього гвинт миттєво відпускають, дозволяючи товкачу вільно занурюватися в масу. Одночасно з початком занурення стрижня вмикають секундомір. Рівно через 10 секунд за шкалою приладу фіксують глибину занурення товкача. Нормальною густиною тіста з каустичного порошку вважається консистенція, при якій товкачик приладу занурюється в тісто на 4—10 мм.

У разі невідповідної консистенції цементного тіста необхідно скорегувати об'єм розчину хлористого магнію та повторно приготувати суміш. Процедуру повторюють до досягнення необхідної (стандартної) глибини занурення товкача.

Для визначення термінів тужавлення каустичного порошку використовують порцію тіста, нормальна густина якого була визначена раніше.

Голку приладу Віка підводять до поверхні тіста, фіксують стрижень затискним гвинтом, після чого гвинт відпускають, дозволяючи голці вільно занурюватися в масу. Оскільки на початковій стадії випробування тісто перебуває в рідкому стані, допускається легка затримка голки під час занурення для запобігання сильного удару об пластину приладу.

Вимірювання глибини занурення голки в тісто здійснюють з інтервалом 10 хвилин, починаючи від моменту замішування суміші і до повного завершення процесу схоплення. Під час кожної перевірки необхідно виконати щонайменше два вимірювання, щоразу переміщуючи кільце приладу, аби голка не потрапляла в ділянку, яка вже була випробувана. Після кожного занурення голку слід ретельно протирати. Протягом усього часу випробування кільце з тістом має бути розташоване в затіненому місці, захищеному від протягів і вібрацій.

Початком схоплення тіста з каустичного порошку вважається проміжок часу від початку його приготування до моменту, коли голка приладу не доходить до пластинки на 1–2 мм.

Кінцем схоплення вважається час, що минув від початку замішування тіста до моменту, коли голка занурюється в нього не більше ніж на 1 мм.

### 3.5.2 Визначення зернового складу

*Обладнання:* Ваги лабораторні погрішністю зважування не більше 0,01 г.

Сита з сітками з вічками розміром № 02 і № 009. Сита повинні бути круглими діаметром не менше 100 мм, завглибшки не менше 25 мм, заввишки обичайки не менше 40 мм. *Проведення випробування:* Сита встановлюють та складають за зростаючим розміром одне над іншим. Піддон поміщають під нижнім ситом. Наважку повітряно-сухого порошку масою 50 г висипають на верхнє сито і накривають кришкою. Підготовлений таким чином комплект сит струшують вручну або використовують механічний підтрушувач протягом 5 хвилин.

Після завершення процесу просіювання окремі фракції обережно висипають із сит, починаючи з того, що має найбільші вічка. Вміст кожного сита акуратно збирають і пересипають на чашку вагів для зважування. Залишки порошку, які прилипли до сітки або обичайки, обережно протирають, пропускаючи їх через сітку в наступне сито з меншими вічками. Зважують кожну отриману фракцію.

Масову частку залишку на ситі ( $X_d$ ) у відсотках обчислюють за формулою:

$$X_d = \frac{m_d \times 100}{m}, \quad (3.5)$$

де  $m_d$  — маса залишку на відповідному ситі, г;

$m$  — маса проби, г.

Похибка результату вимірювання складає для фракції більше 0,2 мм - 0,60 %, для фракції менше 0,09 мм - 1,40 %.

### 3.6 Випробування дрібного заповнювач (дефекату).

Нормативний документ на продукцію ДСТУ Б В.2.7-29 [18].

1) Насипна густина сухого дефекату за ДСТУ Б В.2.7-232 [11].

Дефекат, висушений до сталої маси і просіяний через сито, насипають у воронку ЛОВ, випускний отвір якої закритий заслінкою. Зважують пусту посудину ( $m_1$ , г) точністю до 1 г і ставлять разом з піддоном під воронку, відкривають заслінку і насипають дефекат у мірну посудину без ущільнення до появи над поверхнею

конусу. Не пересуваючи посудини, металевою лінійкою зрізають надлишок дефекату врівень з краями посудини і посудину з дефекатом зважують ( $m, z$ ).

Насипну густину визначають за формулою:

$$\rho_v = \frac{m}{V}, \text{ кг/м}^3, \quad (3.6)$$

де  $V$  – об'єм мірної посудини,  $m$  – маса дефекату. Визначення насипної густини проводять 2-3 рази, кожного разу для нової порції дефекату.

### **3.7. Випробування бішофіту.**

Бішофіт це водний хлорид магнію ( $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) є природним продуктом кристалізації солей із замкнених водних басейнів. Сам мінерал та його водні розчини слугують цінною сировиною для отримання металевих магнію, виробництва магнезійних в'язучих матеріалів, паст та інших хімічних продуктів.

У природному (копаемому) стані бішофіт зазвичай виявляється як зернисто-кристалічна соляна порода. Чисті кристали мінералу є прозорими, але можуть набувати білого, рожевого або бурого забарвлення залежно від наявних домішок.

Фізичні властивості бішофіту: він має гострий гіркувато-солоний пекучий смак, низьку твердість (1,5 за шкалою Мооса) та середню густину 1,59–1,61 г/см<sup>3</sup>. Мінерал є електропровідним і гігроскопічним (поглинає вологу з повітря). При досягненні температури 116 °С бішофіт розкладається.

Матеріал характеризується низькою корозійною активністю, яка не перевищує активність звичайної водопровідної води. Це дозволяє транспортувати та зберігати його у стандартних металевих ємностях, а також у скляному, керамічному чи пластмасовому посуді. Термін зберігання природного розчину бішофіту в герметично закритій тарі є необмеженим.

#### **3.7.1 Визначення густини та концентрації рідкої складової.**

Берем мірний циліндр об'ємом 100 см<sup>3</sup>, набираємо в нього 80 мл бішофіту і ареометром визначаємо густину рідкої складової. Потім за раніше визначеними залежностями густини розчину від концентрації визначаємо концентрацію бішофіту.

### **3.8. Випробування добавок.**

**3.8.1 Добавка: бутанал NS 198** Бутанал NS 198 служить для модифікації бітумів і катіонних бітумних емульсій, в цілях поліпшення механічних властивостей і атмосферостійкості. Він матеріалу високу адгезію, високу теплостійкість і кращу еластичність також і при низьких температурах. Катіонні бітумні емульсії застосовуються головним чином в дорожньому будівництві. Головними областями застосування є використання катіонних бітумних емульсій при ремонті дорожніх покриттів з холодного асфальту. Також Бутанал NS 198 додається в бітум, використовуваний для приготування гарячих сумішей. Бутанал NS 198 при виготовленні катіонних бітумних емульсій може вводитися у водну суміш. Можливо також додавання в теплу або холодну бітумну емульсію. Кількість, що додається, знаходиться між 2 % і 8 % полімеру, в перерахунку на твердий бітум. Якщо при виготовленні модифікованих бітумних емульсій виникає піна, то можуть бути використані звичайні піногасники.

**3.8.2 Добавка: Асидол-милонaft:** Асидол-милонaft або Каніфольне мило КМ, що є мазеподібною пастою від темно-коричневого до ясно-жовтого кольору, при обробці каніфолі водним розчином їдкого натру або кальцинованої соди і складається, в основному, з натрієвих солей, що містяться в каніфолі кислот. Як повітревтягуючі добавки великий інтерес представляють натрієві солі нафтоєвих кислот (М1, НРВ, А1, А2, ДНК) і натрієві солі нафтових сульфокислот (АБ, КЧНР, ПО-1, Н, СХ). Всі вони водорозчинні, мають нейтральне або слаболужне середовище, за винятком ДНК, АМН і АМ, водорозчинність якої забезпечується нейтралізацією їх NaOH або Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>. В цій дії утворюються легко розчинні у воді натрієві солі нафтоєвих кислот.

#### **3.8.3 Визначення густини та концентрації рідкої складової добавок.**

Берем мірний циліндр об'ємом 100 см<sup>3</sup>, набираємо в нього 80 мл добавки і ареометром визначаємо густину рідкої складової. Потім за раніше визначеними залежностями густини розчину від концентрації визначаємо концентрацію добавки.

### 3.9 Планування дослідів з використанням математико-статистичних методів.

Застосування математико-статистичного методів для проектування експериментів та оптимізації дозування добавок у бетонах на магнезіальній основі є доцільним у кількох ключових випадках. По-перше, це необхідно при роботі з сумішами різного ступеня рухливості для встановлення універсальних закономірностей. По-друге, математичне моделювання є незамінним під час впровадження інноваційних технологічних ліній, оскільки дозволяє оперативного коригувати рецептуру в реальному часі. Крім того, такий підхід є базовим для функціонування автоматизованих систем управління виробництвом.

Суть математичного планування полягає у виведенні функціональної залежності між цільовими характеристиками бетону та кількісними витратами його компонентів. Отримана математична модель слугує інструментом для точного розрахунку оптимального вмісту модифікуючих добавок, що гарантує мінімальні витрати

Побудова математичних залежностей проводиться на основі проведених лабораторних дослідів з послідовним їх уточненням у виробничих умовах.

Проведенню лабораторних дослідів повинні випереджати наступні етапи:

- уточнення в залежності від конкретної задачі параметрів що потрібно оптимізувати це (міцності бетону , заданих параметрів, спеціальних вимог і т.д.);
- вибір факторів, визначаючих змінність оптимізуємих параметрів;
- розрахунок експериментальних складів бетону ;
- вибір меж варіювання факторів;

У якості факторів що залежать від умов конкретно поставленої задачі можуть призначатися В/Ц суміші; витрата в'язучої речовини; витрата заповнювачів і т.д.

Для двофакторного експерименту - рівняння має вид:

$$Y_i = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_{11} x_1^2 + b_{22} x_2^2 + b_{12} x_1 \cdot x_2 \quad (3.8)$$

Для спрощення записів та послідовних розрахунків верхній рівень факторів позначається символом (+ 1), середній (0), а нижній (- 1).

## РОЗДІЛ 4. ХАРАКТЕРИСТИКА ВХІДНИХ МАТЕРІАЛІВ

### 4.1 В'язуче

В якості в'язучого використовуємо магнезит. Випробування магнезиту проводилося у відповідності з вимогам, які наведені у ДСТУ Б В.2.7-46:2010. Методика дослідження магнезиту описана у розділі 3, а результати випробувань наведені в таблиці 4.1

Таблиця.4.1 Результати випробування магнезиту

Назва показника	Вимоги нормативних документів	Результати випробувань
Тонкість помелу, %	проходження через сито № 009 не менше 85 %	91,47
Тужавіння магнезиту:		
початок	не раніше 30 хв.	40 хв.
кінець	не пізніше 6 год.	2 год.
Насипна густина	-	1,04 г/см <sup>3</sup>

### 4.2 Дефекат

#### 4.2.1 Насипна густина сухого дефекату

Засоби контролю та допоміжне обладнання технічні ваги з важками, мірна посудина ємністю 1 л, сито з круглими отворами діаметром 5 мм, совок, металева лінійка, піддон, воронка ЛОВ. Таблиця 4.2.1 Результати випробувань

Вид випробувань	Одиниця виміру	Позначення	1-е визначення	2-е визначення	Середньо-арифметичне значення
Об'єм мірного циліндра	л	V	1	1	1
Маса мірного циліндра	г	m	280	280	280
Маса мірного циліндра із дефекатом	г	m <sub>1</sub>	1054	1040	1047
Насипна густина	г/см <sup>3</sup>	ρ	0,765	0,767	0,766

### 4.3 Розчин бішофіту Полтавського родовища

Бішофіт являє собою кристалічну речовину  $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ , яка в природньому стані залягає на глибині 2400 – 2600 м. Отримують видобуванням та методом підземного вилужування у вигляді водного розчину з середньою густиною від 1,25 до 1,31 г/см<sup>3</sup>. Якість та властивості розчину бішофіту регламентується ТУ У14.4 – 01432492 – 001 – 2001.

Солевий склад розчину бішофіту (мас. %) : NaCl – 0,59; KCl – 0,31;  $MgCl_2$  –

Марка	Густина, г/см <sup>3</sup>	Загальна мінералізація, г/л	Вміст $MgCl_2$ , г/л
РБШІ	1,25	350	210 - 250
РБШІ	1,29	380	250 - 280
РБШІ	1,31	410	280 - 310

36,15;  $CaSO_4$  – 0,05;  $FeCl_3$  – 0,038;  $H_2O$  – 62,8.

### 4.4 Бутанал 198

Характеристика Бутанала NS 198 наведена в таблиці 4.4.1

Таблиця 4.4.1 Характеристика Бутанала NS 198

Показники	Бутанал 198
Клас полімера	Термоеластоласти
Зовнішній вигляд (агрегатний стан)	Водна дисперсія білого кольору, без запаху
Хімічна будова	Катіонний латекс блоксополімерів стирол-бутадієн-стиролу (СБС)
Характер взаємодії з бітумом	Фізична взаємодія, створення взаємодіючих сіток
Оптимальний вміст у бітумах, %	2,0-3,5
Концентрація, %	50 %
Густина, кг/м <sup>3</sup>	1040

Збільшення в'язкості при 25 °С	12-30 %	
Зміна в'язкості при 0 °С	±10 %	
Збільшення температури розм'якшення, °С	5-12	
Зменшення розтяжності при 25 °С, см	на (5-35) см або (6-45) %	
Збільшення розтяжності при 0 °С, см	на (2-13) см або в (1,5-4,0) рази	
Надання еластичності, %	60-75	
Зміна температури крижкості, °С	Знижує на 5-7	
Покращення адгезії, бали %	Покращує до 5 або до 95 %	
Інтервал пластичності, °С	75-86	
Зміна властивостей після прогріву	Залишкова penetрація	60-70 %

#### 4.5 Асидол-милонaft

Характеристика асидол-милонaftу наведена в таблиці 4.5.1

Таблиця 4.5.1

Концентрація, %	45
Густина, кг/м <sup>3</sup>	1061

## РОЗДІЛ 5

## АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

Обробка результатів дослідження проводився з використанням програмного комплексу MS Office Excel. У підрозділах 5.1 - 5.3 наведені результати проведених експериментів, що заплановані в розділі 3 роботи.

Проведено випробування на стиск досліджуваних зразків у віці 28 діб [16].

## 5.1. Підбір складу бетону з використанням магнезіальних в'язучих

Таблиця 5.1.1 Підбір складу бетону

№ складу	Витрата матеріалів на 1 м <sup>3</sup> бетону			
	Магнезит, кг	Дефекат, кг	Бішофіт, кг	Бутанал NS 198; (Асидол-милонфт), кг
1	100	265	255	2,08; (0,576)
				4,16; (0,64)
				6,24; (0,704)
2	100	175	170,3	2,08; (0,576)
				4,16; (0,64)
				6,24; (0,704)
3	100	85	104,8	2,08; (0,576)
				4,16; (0,64)
				6,24; (0,704)

## 5.2 Лабораторний підбір складу бетону з використанням магнезіальних в'язучих

Таблиця 5.2.1 Лабораторний підбір складу бетону

№ складу	Витрата матеріалів на 1 л бетону			
	Магнезит, кг	Дефекат, кг	Бішофіт, кг	Бутанал NS 198; , кг
1	0,1	0,265	0,255	0,00208;
				0,00416;
				0,00624;
2	0,1	0,175	0,1703	0,00208;
				0,00416;
				0,00624;
3	0,1	0,085	0,1048	0,00208;
				0,00416;
				0,00624;

### 5.3 Дослідження впливу витрати бутаналу на властивості бетону з використанням магнезійних в'язучих у віці 7 діб

Проведення дослідів виконувалося з використанням математико-статистичного методу планування експериментів як описувалось в 3 розділі 3.

В якості факторів були вибрані витрати добавки та відношення дефекату до магнезиту (д/м). Значення інтервалів варіювання факторів наведені у таблиці 5.3.1

Таблиця 5.3.1 Значення інтервалів варіювання

Код	Значення коду	Значення факторів	
		X1 (відношення д/м)	X2 (витрата добавки), кг
Основний рівень	0	1,75	4,16
Інтервал варіювання	X <sub>i</sub>	0,9	2,08
Верхній рівень	+	2,65	6,24
Нижній рівень	-	0,85	2,08

Досліди проводилися відповідно до плану експерименту. План експерименту та результати дослідів наведені у таблиці 5.3.2 Термін твердіння зразків 7 діб.

Таблиця 5.3.2 План експериментів та результати дослідів

№ досліду	План експеримента		Натуральні значення змінних		Границя міцності при стиску, кгс/см <sup>2</sup>	Водопоглинання, %	Коефіцієнт розм'якшення
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	Д/М	Витрати бутаналу, %			
1	1	1	2,65	3	160	9,96	0,99
2	1	-1	2,65	1	130,72	22,36	0,68
3	-1	1	0,85	3	308,69	6,06	0,92
4	-1	-1	0,85	1	255,92	12,74	0,76

5	1	0	2,65	2	146,61	9,20	0,94
6	-1	0	0,85	2	276,74	10,18	0,88
7	0	1	1,75	3	268,52	11,82	0,97
8	0	-1	1,75	1	224,07	13,06	0,83
9	0	0	1,75	2	259,38	12,02	0,92
10	0	0	1,75	2	259,39	12,01	0,93
11	0	0	1,75	2	259,37	12,03	0,91

Шляхом комп'ютерної обробки результатів проведених випробувань було виведено математичні залежності для показників водопоглинання, коефіцієнта розм'якшення та міцності на стиск магнезійного бетону. Отримані алгебраїчні рівняння є справедливими для встановлених у дослідженні діапазонів варіювання чинників.

#### 5.4 Дослідження впливу витрати бутаналу на границю міцності при стиску бетону на основі магнезійних в'язучих

Алгебраїчне рівняння міцності магнезійного бетону при стиску:

$$Y_{\text{Рст}} = 249,4 - 67,35X_1 + 21,1X_2 - 35,7X_1^2 - 1,1X_2^2 - 5,9 X_1X_2 \quad (5.1)$$

Рівняння за критерієм Фішера придатне для описання вихідної залежності в досліджуваних межах зміни факторів, так як  $0,71 < 19,3$

За рівнянням (5.1) побудовані графіки на рис. 5.4.1, 5.4.2, 5.4.3.

Аналіз рівняння показує, що найбільший вплив на границю міцності при стиску чинить відношення дефекату до магнезиту (д/м). Графічний аналіз, який представлений в трьох варіаціях, показує, що при знаходженні факторів на максимальному рівні найбільша міцність отримана при мінімальному значенні відношення дефекату до магнезиту (д/м= 0,85) і мінімальній витраті добавки (1 % від витрат магнезиту). При знаходженні факторів на основному рівні найбільша міцність аналогічна приведеним поясненням вище. На рис. 5.4.3 показано, що можна отримати найбільшу міцність при максимальному значенні

відношення дефекату до магнезиту ( $d/m = 2,65$ ) і максимальній витраті добавки (3 % від витрат магнезиту).

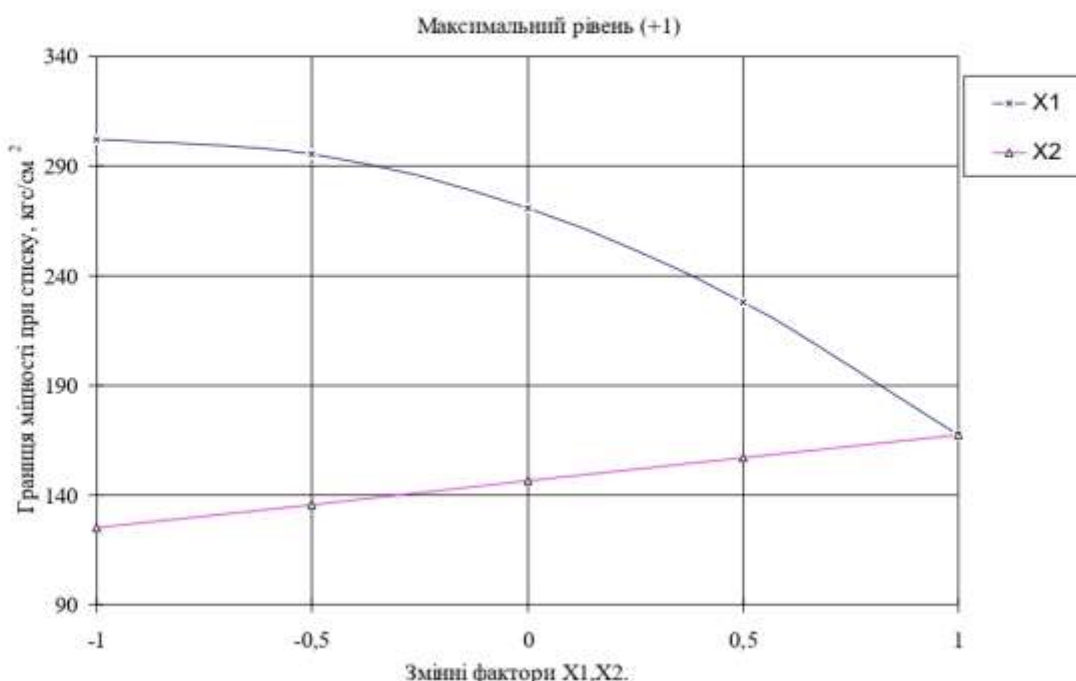


Рис. 5.4.1 Залежність міцності зразків-кубиків на основі магнезійних в'язучих від кількості бутаналу і відношення дефеката до магнезиту у віці 7 діб.

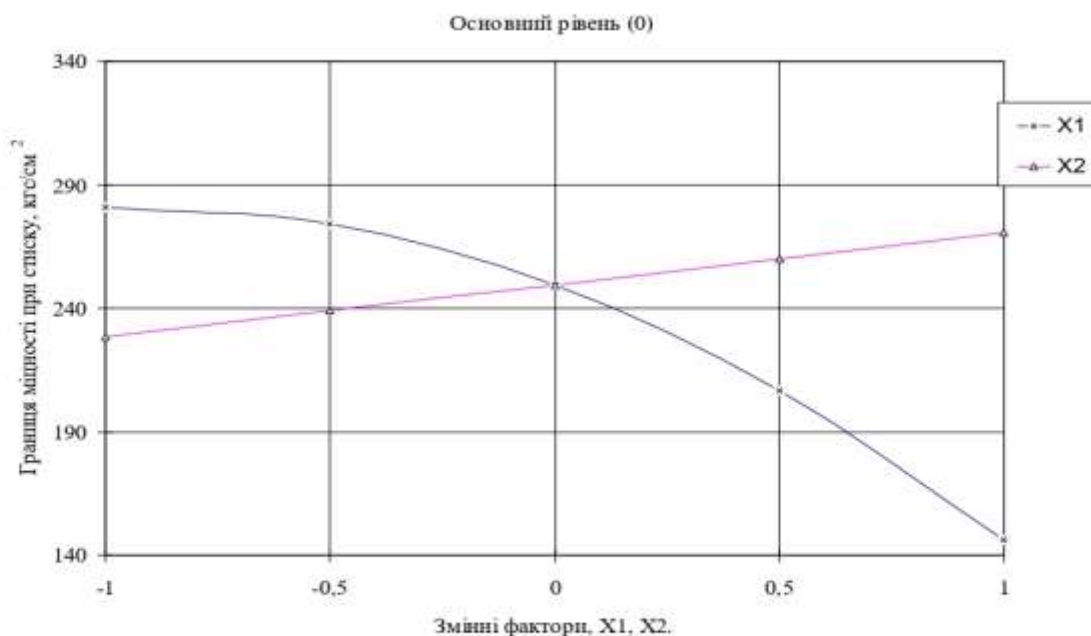


Рис. 5.4.2 Залежність міцності зразків-кубиків на основі магнезійних в'язучих від кількості бутаналу і відношення дефеката до магнезиту у віці 7 діб.

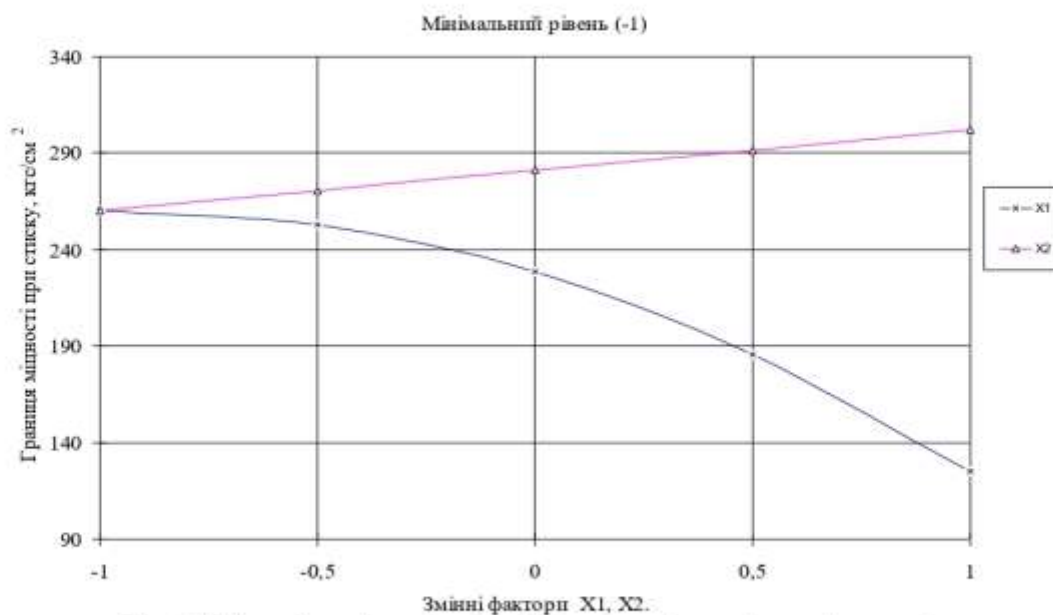


Рис. 5.4.3 Залежність міцності зразків-кубиків на основі магнезіальних в'язучих від кількості бутаналу і відношення дефекату до магнезиту у віці 7 днів.

### 5.5 Дослідження впливу витрати бутаналу на водопоглинання магнезіального бетону

Алгебраїчне рівняння водопоглинання магнезіального бетону:

$$Y_{\text{вод}} = 11,5 + 2,1X_1 - 3,4X_2 - 0,9X_1^2 + 1,8X_2^2 - 1,4X_1X_2 \quad (5.2)$$

Згідно з критерієм Фішера, отримана модель є адекватною для опису досліджуваного процесу в заданих діапазонах варіювання факторів, оскільки розраховане значення (1,07) значно менше табличного (19,3). На основі виведеного рівняння регресії (2) сформовано графічні залежності, наведені на рис. 5.5.1–5.5.3. Математична інтерпретація результатів підтверджує, що ключову роль у формуванні показника водопоглинання відіграють концентрація добавки та пропорція дефекату до магнезиту (д/м). Тривимірна візуалізація даних вказує на те, що мінімум водопоглинання досягається при найнижчому значенні д/м (0,85) та максимально передбаченому дозуванні добавки (3 % від маси в'язучого). За умови перебування факторів на нульовому (основному) рівні, закономірності зміни міцності відповідають викладеним вище поясненням. На рис. 5.5.3 показано, що можна отримати найменше водопоглинання при

максимальному значенні відношення дефекату до магnezиту ( $d/m = 2,65$ ) і мінімальній витраті добавки (1 % від витрат магnezиту).

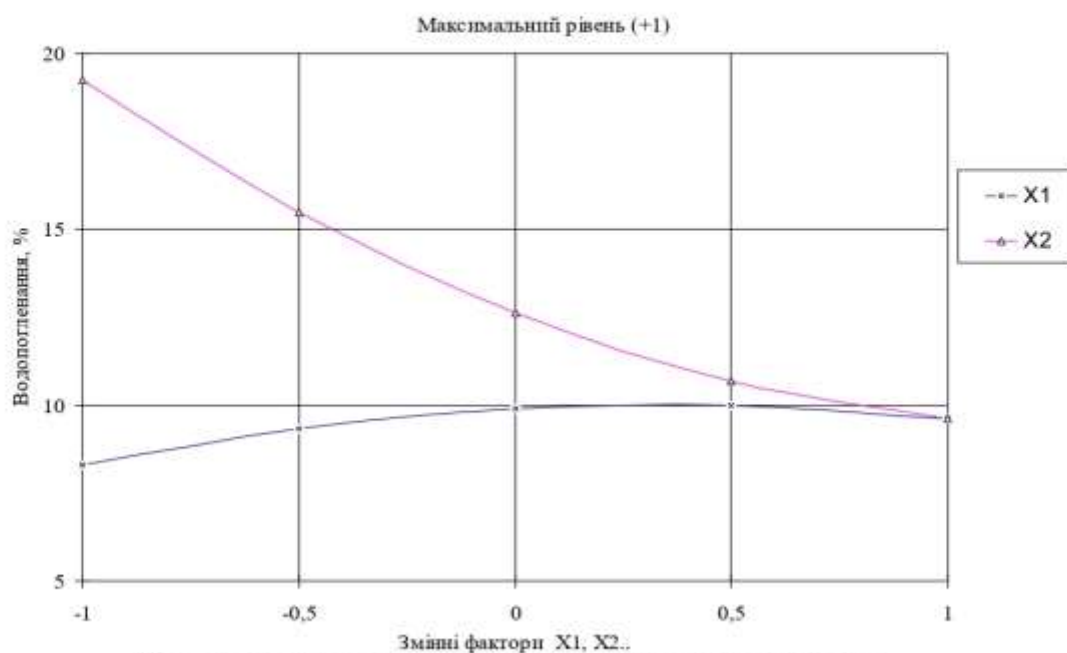


Рис. 5.5.1 Залежність водопоглинання зразків-кубків від кількості бутанала і відношення дефекату до магnezиту у віці 7 діб

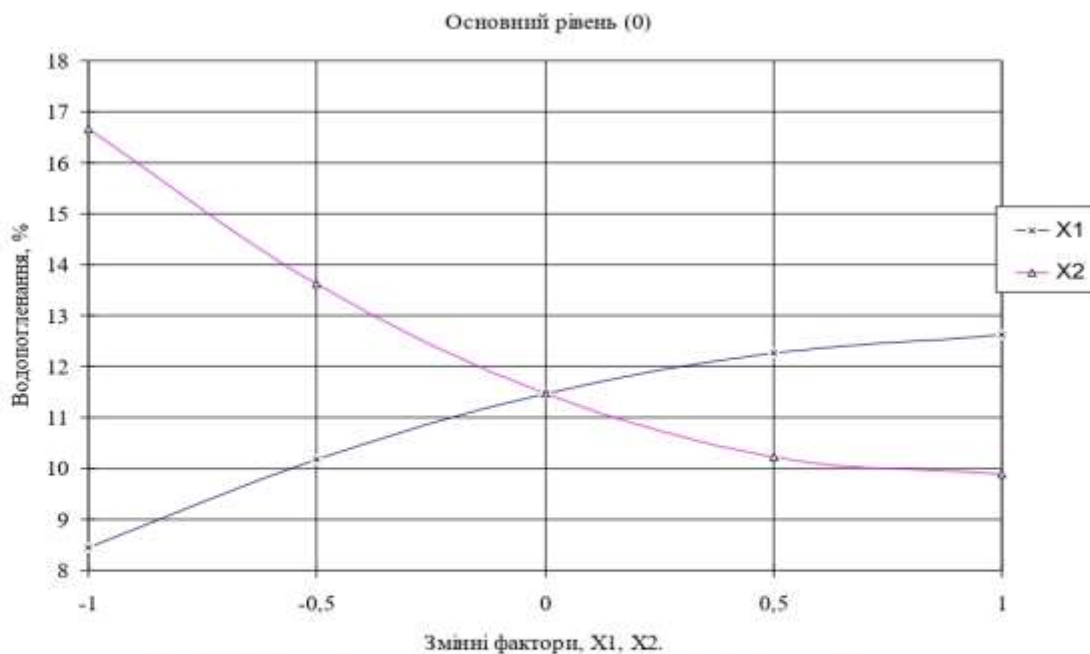


Рис. 5.5.2 Залежність водопоглинання зразків-кубків від кількості бутанала і відношення дефекату до магnezиту у віці 7 діб

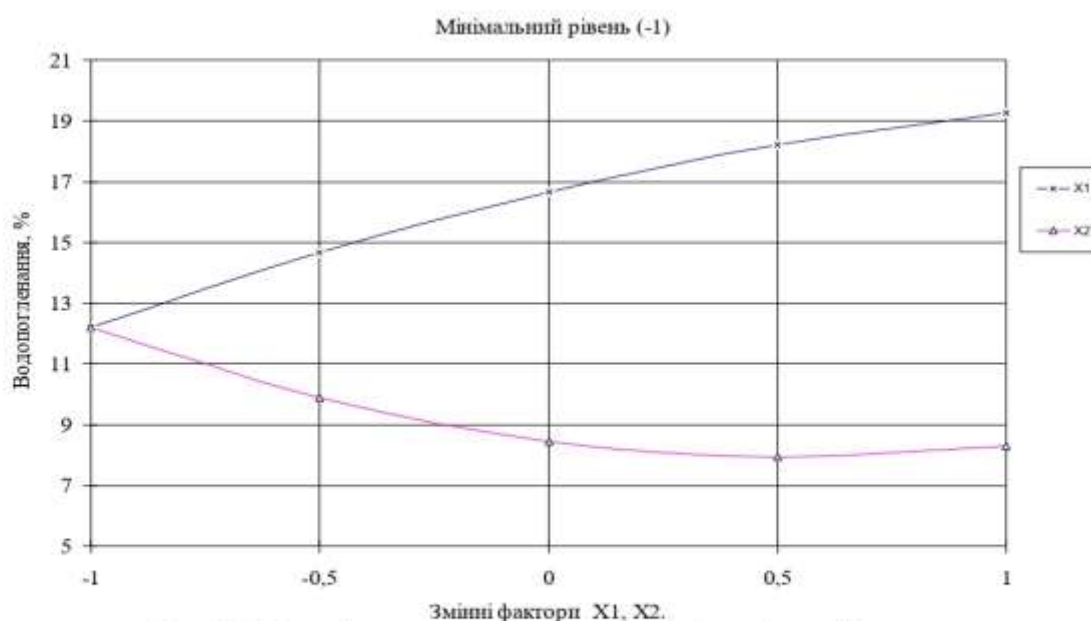


Рис. 5.5.3 Залежність водопоглинання зразків-кубиків від кількості бутаналу і відношення дефекату до магнезиту у віці 7 діб

## 5.6 Дослідження впливу витрати бутаналу на коефіцієнт розм'якшення магнезіального бетону

Алгебраїчне рівняння водопоглинання магнезіального бетону:

$$Y_{кр} = 0,93 + 0,008X_1 + 0,1X_2 - 0,04X_1^2 - 0,05X_2^2 + 0,04 X_1X_2 \quad (5.3)$$

Перевірка за критерієм Фішера підтвердила адекватність отриманого математичного опису: розрахункове значення (9,75) не перевищує критичне (19,3), що свідчить про придатність рівняння для прогнозування властивостей системи у вибраному діапазоні факторного простору. На основі розв'язку аналітичної залежності (3) сформовано серію графічних інтерпретацій (рис. 5.6.1–5.6.3).

Інтерпретація фізико-механічних показників. Математичний аналіз рівняння регресії виявив, що домінуючий вплив на гідрофобні властивості та водостійкість матеріалу (коефіцієнт розм'якшення) мають концентрація модифікуючої добавки та пропорція дефекат/магнезит (д/м). Згідно з просторовою візуалізацією даних, екстремум коефіцієнта розм'якшення фіксується при поєднанні максимальних значень досліджуваних чинників:

$d/m = 2,65$  та вміст добавки 3 % від маси в'язучого. Це вказує на синергічний ефект компонентів у формуванні щільної структури каменю. При фіксації параметрів на нульовому рівні, динаміка міцності повністю корелює з вищевикладеними закономірностями.

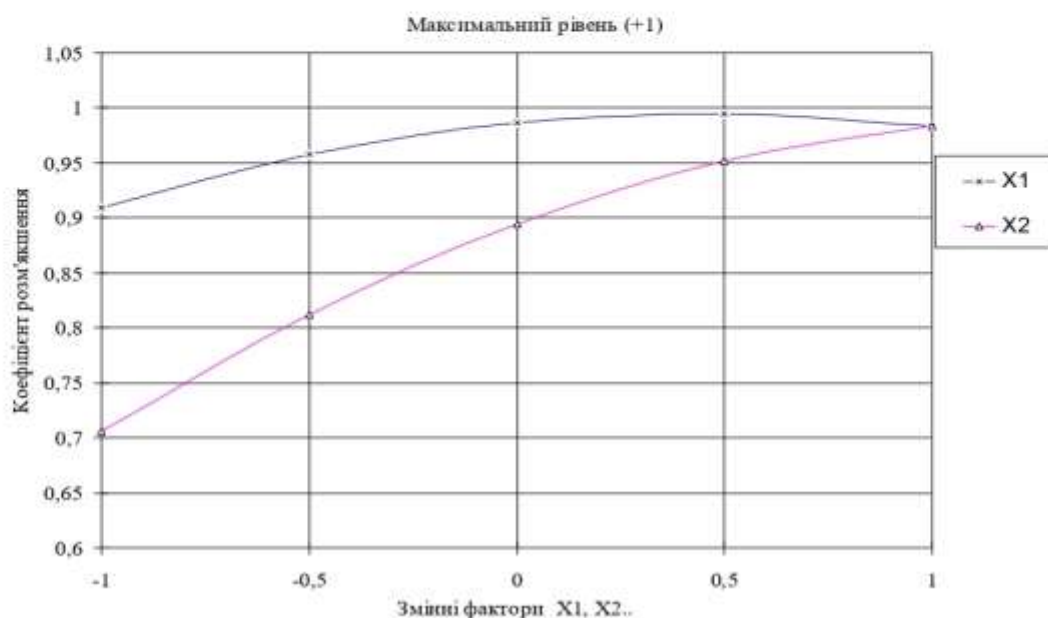


Рис. 5.6.1 Залежність коефіцієнта розм'якшення зразків-кубиків від кількості бутаналу і відношення дефекату до магнетиту у віці 7 діб

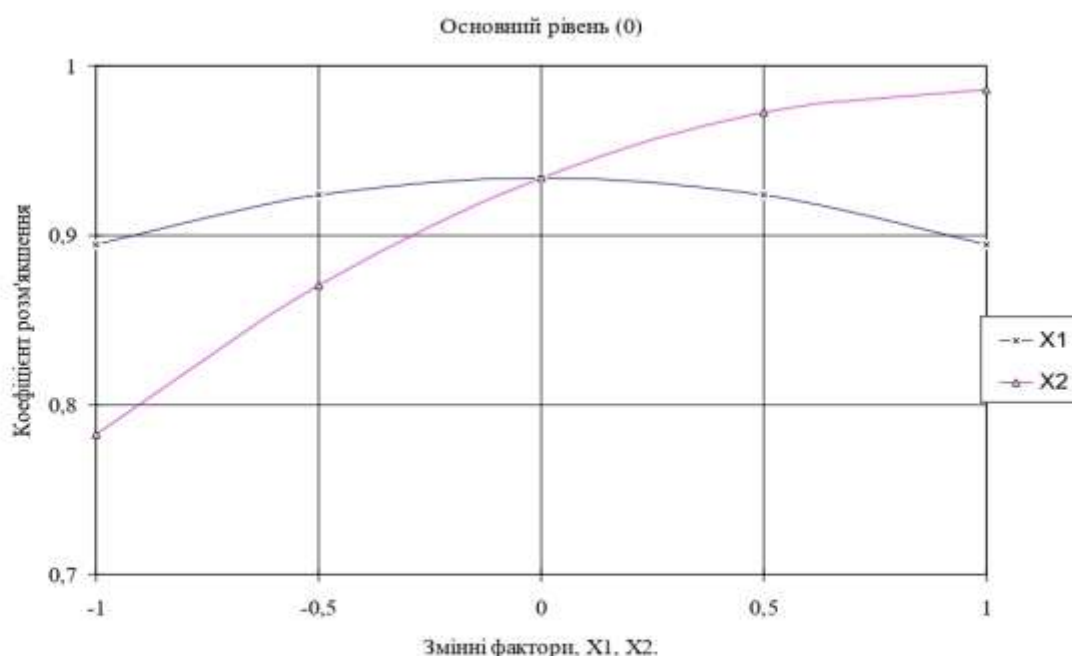


Рис. 5.6.2 Залежність коефіцієнта розм'якшення зразків-кубиків від кількості бутаналу і відношення дефекату до магнетиту у віці 7 діб

Зокрема, рис. 5.6.3 наочно демонструє можливість досягнення максимальних значень водостійкості при оптимізації співвідношення компонентів, що можна отримати найбільший коефіцієнт розм'якшення при мінімальному значенні відношення дефекату до магнезиту ( $d/m = 0,85$ ) і максимальній витраті добавки (3 % від витрат магнезиту).

Оптимальним складом для одержання бетону на основі магнезіальних в'язучих з  $K_r = 0,98$  є відношення  $d/m = 2,65$  і витрата добавки 3 % від витрати магнезиту.

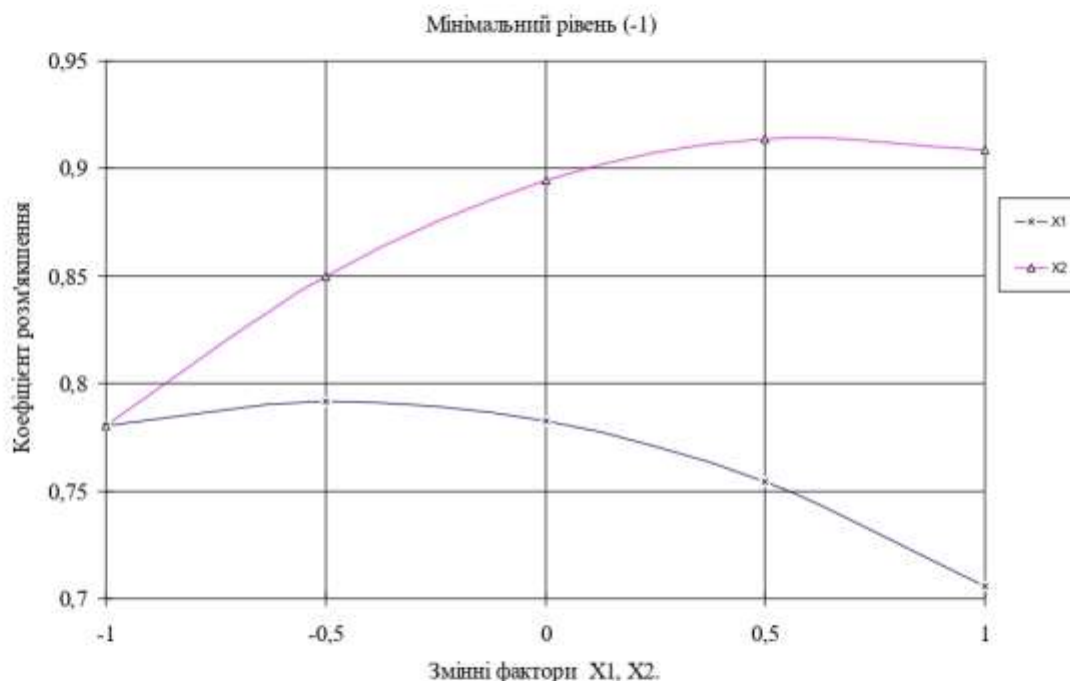


Рис. 5.6.3 Залежність коефіцієнта розм'якшення зразків-кубків від кількості бутаналу і відношення дефекату до магнезиту у віці 7 діб

## 5.7 Дослідження впливу витрати бутаналу на властивості магнезіального бетону у віці 28 діб

При проведенні дослідів використовувалось планування експериментів у відповідності з розділом 3. В якості факторів були вибрані витрати добавки та відношення дефекату до магнезиту ( $d/m$ ). Значення інтервалів варіювання факторів наведені у таблиці 5.7.1

Таблиця 5.7.1 Значення інтервалів варіування

Код	Значення коду	Значення факторів	
		X1 (відношення д/м)	X2 (витрата добавки), кг
Основний рівень	0	1,75	4,16
Інтервал варіування	X <sub>i</sub>	0,9	2,08
Верхній рівень	+	2,65	6,24
Нижній рівень	-	0,85	2,08

Досліди проводилися у відповідності з прийнятим планом експеримента. План експериментів та результати дослідів наведені у таблиці 5.7.2 Термін твердіння зразків 28 діб.

Таблиця 5.7.2 План експериментів та результати дослідів

№ досліду	План експеримента		Натуральні значення змінних		Границя міцності при стиску, кг*с/см <sup>2</sup>	Водопоглинання, %	Коефіцієнт розм'якшення
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	Д/М	Витрати бутаналу, %.			
1	1	1	2,65	3	208,52	8,17	0,98
2	1	-1	2,65	1	173,25	9,20	0,85
3	-1	1	0,85	3	398,65	9,24	0,94
4	-1	-1	0,85	1	348,95	9,79	0,81
5	1	0	2,65	2	192,90	8,79	0,94
6	-1	0	0,85	2	374,55	9,97	0,89
7	0	1	1,75	3	355,85	8,98	0,96
8	0	-1	1,75	1	320,85	9,74	0,82
9	0	0	1,75	2	358,29	9,30	0,91
10	0	0	1,75	2	358,30	9,31	0,92
11	0	0	1,75	2	358,28	9,29	0,90

### 5.8 Дослідження впливу витрати бутаналу міцність при стиску магнезійного бетону

Алгебраїчне рівняння границі міцності при стиску магнезійного бетону:  
 $Y_{\text{Рет}} = 355,79 - 91,26X_1 + 19,99X_2 - 65,71X_1^2 - 11,09X_2^2 - 3,61X_1X_2$  (5.4)

Математична модель, представлена рівнянням (5.4), є адекватною згідно з критерієм Фішера ( $17,1 < 19,3$ ), що дозволяє використовувати її для аналізу міцнісних характеристик.

На основі цієї моделі побудовано графіки впливу факторів (рис. 5.8.1–5.8.3). Встановлено, що ключовим параметром, який регулює границю міцності на стиск, є відношення дефекату до магнезиту. Графічний аналіз демонструє, що найвищі показники міцності на максимальних рівнях факторів забезпечуються при  $d/m = (0,85)$  та витраті добавки (1 %). Аналогічний характер впливу факторів зберігається і для основного рівня їх варіювання. Разом з тим, рисунок 5.8.3 ілюструє можливість отримання високої міцності і при іншому екстремумі — поєднанні максимального співвідношення дефекату до магнезиту = 2,65 та максимального дозування добавки (3 %), що вказує на наявність декількох зон оптимальних складів.

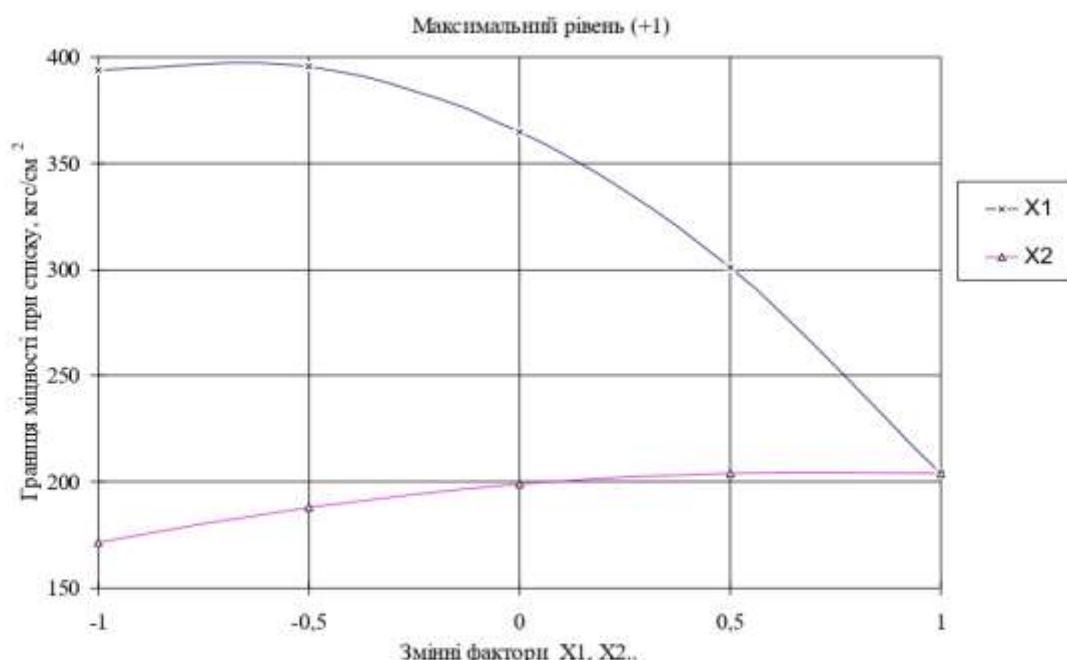


Рис. 5.8.1 Залежність міцності зразків-кубиків від кількості бутаналу і відношення дефекату до магнезиту у віці 28 діб

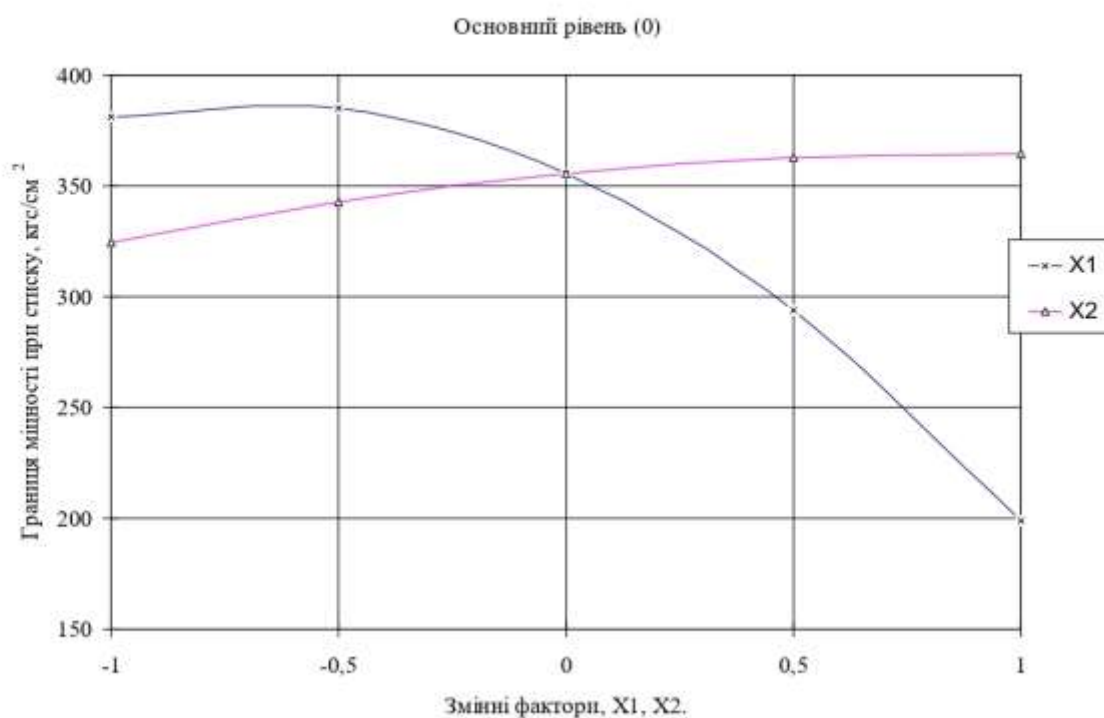


Рис. 5.8.2 Залежність міцності зразків-кубиків від кількості бутаналу і відношення дефекату до магnezиту у віці 28 днів

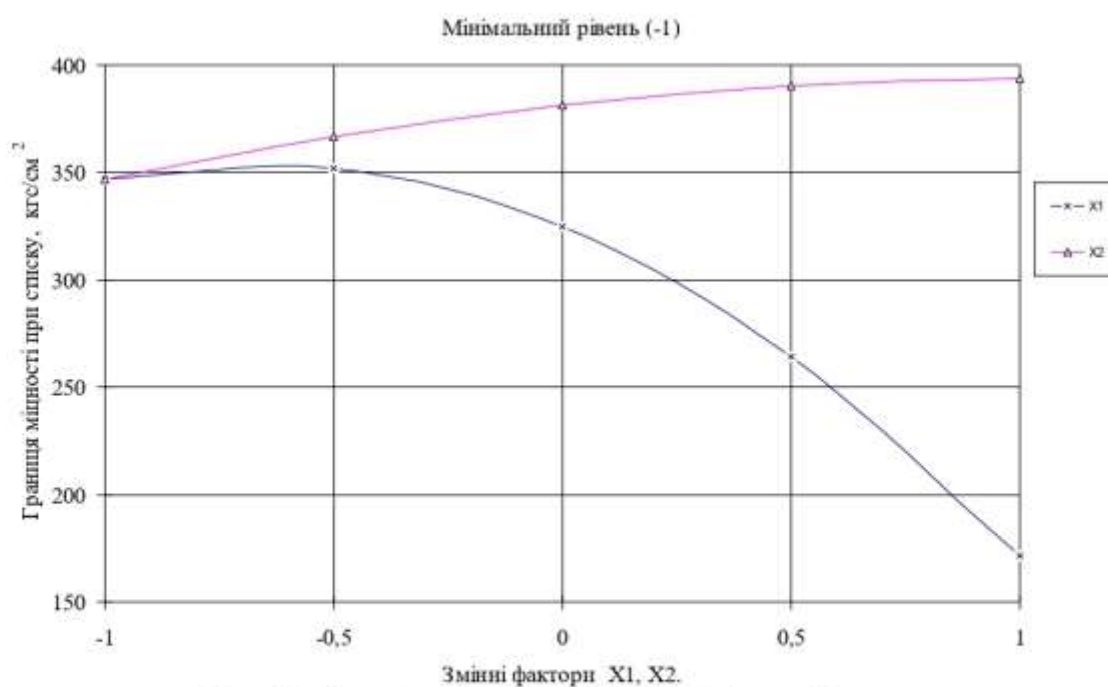


Рис. 5.8.3 Залежність міцності зразків-кубиків від кількості бутаналу і відношення дефекату до магnezиту у віці 28 днів

### 5.9 Дослідження впливу витрати бутаналу на водопоглинання магnezіального бетону

Алгебраїчне рівняння водопоглинання магnezіального бетону:

$$Y_{\text{вод}} = 9,39 - 0,47X_1 - 0,39X_2 - 0,11X_1^2 - 0,14X_2^2 - 0,12 X_1X_2 \quad (5.5)$$

Рівняння за критерієм Фішера є придатне для описання даної вихідної залежності в межах зміни факторів, що досліджується так як  $13,5 < 19,3$

За рівнянням (5.5) побудовані графіки на рис. 5.9.1, 5.9.2, 5.9.3.

Аналіз даного рівняння показує, що найбільший вплив на характеристику водопоглинання дає відношення дефекату до магnezиту (д/м) а також кількість добавки. Графічний аналіз, котрий представлений в трьох варіаціях, дає можливість показати, що при знаходженні факторів на максимальному рівні найменше водопоглинання отримуємо при максимальному значенні відношення дефекату до магnezиту (д/м= 2,65) і максимальній витраті добавки (3 % від витрат магnezиту). Коли фактори знаходяться на основному рівні то найбільша міцність отримана у поєднанні максимального співвідношення дефекату до магnezиту. На рис. 5.9.3 показано, що ми отримали найменше значення водопоглинання при максимальному значенні відношення дефекату до магnezиту (д/м= 2,65) і максимальній витраті добавки (3 % від витрат магnezиту).

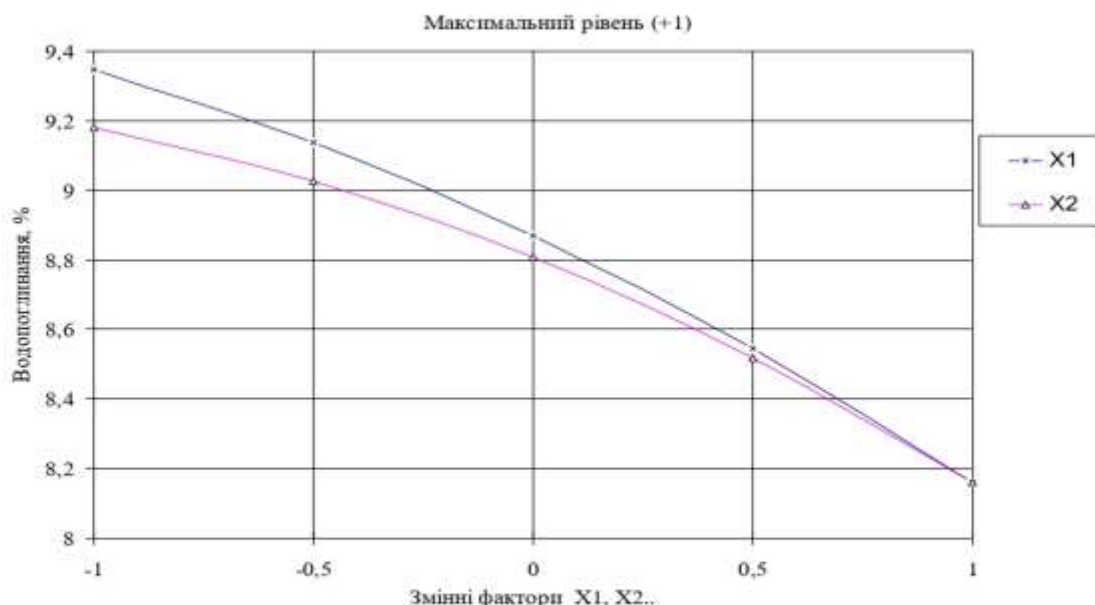


Рис. 5.9.1 Залежність водопоглинання зразків-кубиків від кількості бутаналу і відношення дефекату до магnezиту у віці 28 дб

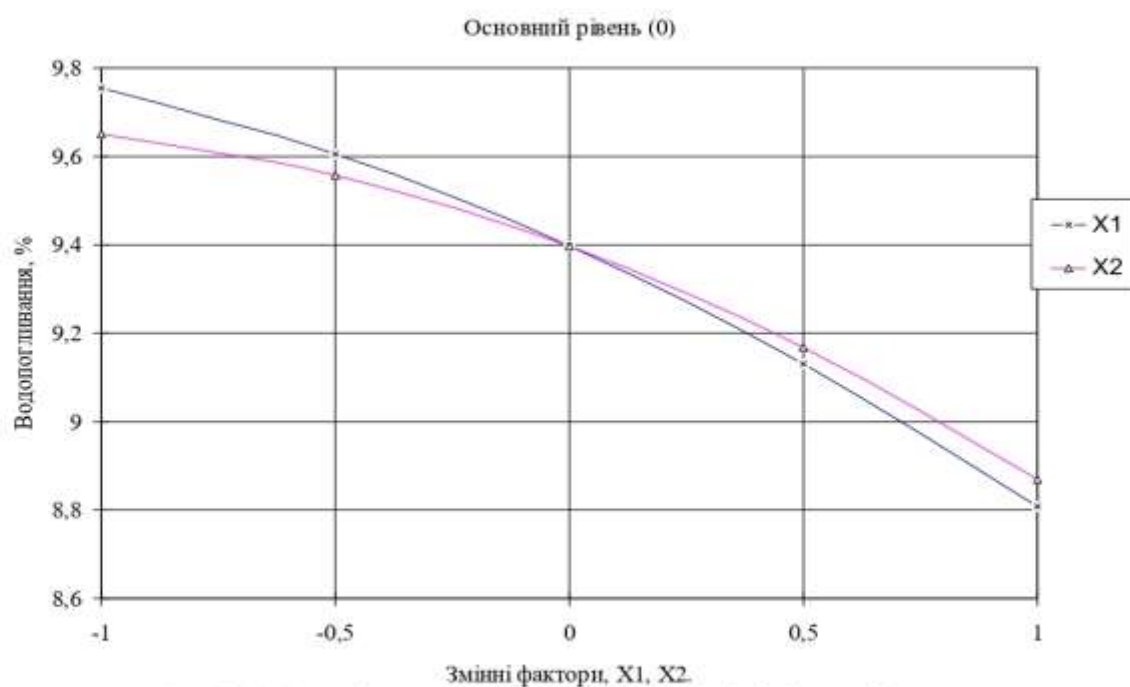


Рис. 5.9.2 Залежність водопоглинання зразків-кубиків від кількості бутаналу і відношення дефекату до магnezиту у віці 28 діб

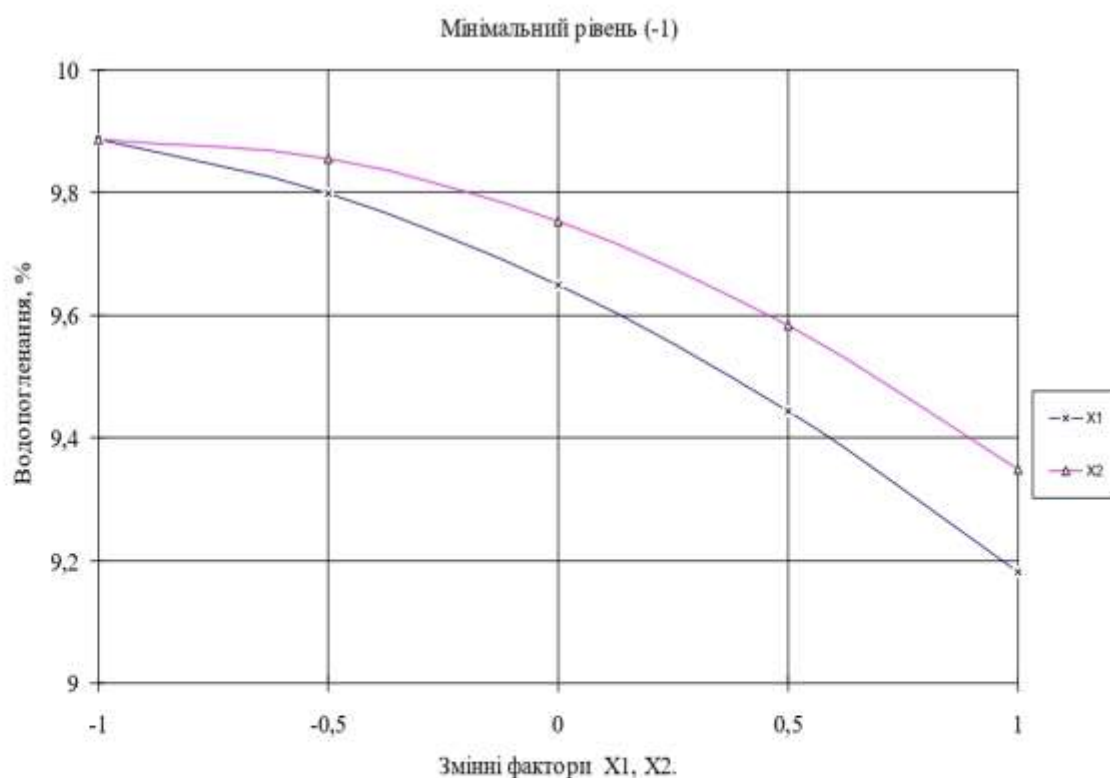


Рис. 5.9.3 Залежність водопоглинання зразків-кубиків від кількості бутаналу і відношення дефекату до магnezиту у віці 28 діб

### 5.10 Дослідження впливу витрати бутаналу на коефіцієнт розм'якшення магnezіального бетону

Алгебраїчне рівняння водопоглинання магnezіального бетону:

$$Y_{кр} = 0,91 + 0,022X_1 + 0,067X_2 + 0,03X_1^2 - 0,02X_2^2 + 0,17X_1X_2 \quad (5.6)$$

Перевірка за критерієм Фішера підтвердила високу адекватність отриманої математичної моделі: розрахункове значення (4,6) є значно меншим за табличне (19,3), що доводить придатність рівняння (5.6) для прогнозування властивостей у межах експерименту. На основі аналітичної залежності сформовано графічну інтерпретацію, наведену на рис. 5.10.1, 5.10.2, 5.10.3.

Аналіз моделі свідчить, що найбільший вплив на показник коефіцієнта розм'якшення чинять відношення дефекату до магnezиту (д/м) та кількість добавки. Графічний аналіз, який представлений в трьох варіаціях, показує, що при знаходженні показників на максимальному рівні найбільший коефіцієнт розм'якшення отриманий при максимальному значенні відношення дефекату до магnezиту (д/м= 2,65) та максимальній витраті добавки що відповідає 3 % від витрат магnezиту.

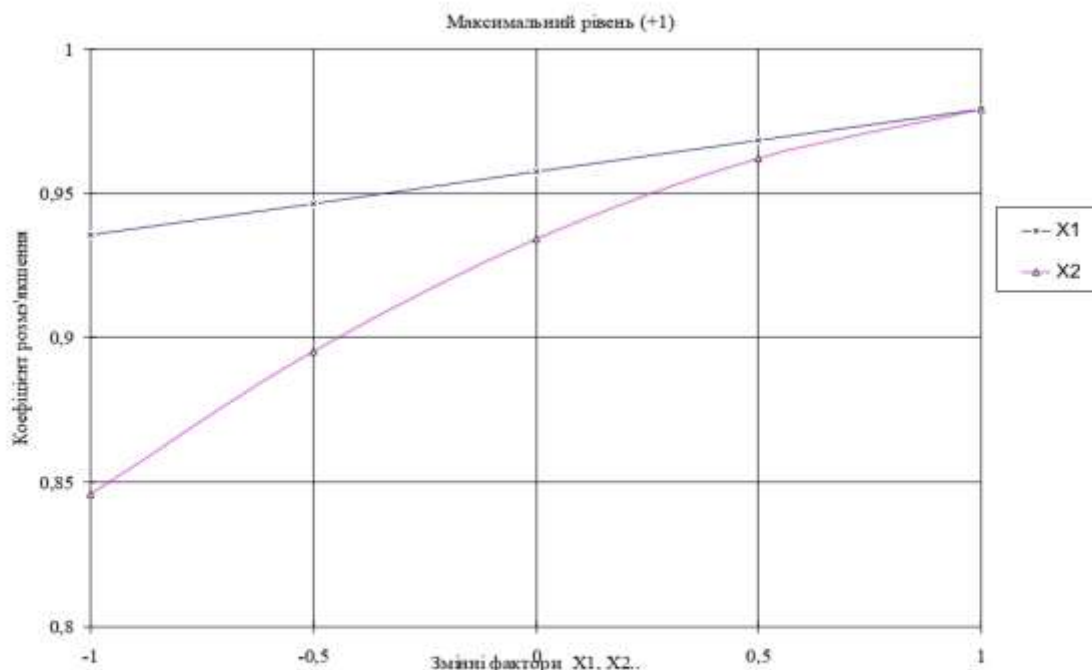


Рис. 5.10.1 Залежність коефіцієнта розм'якшення зразків-кубиків від кількості бутаналу і відношення дефекату до магnezиту у віці 28 днів

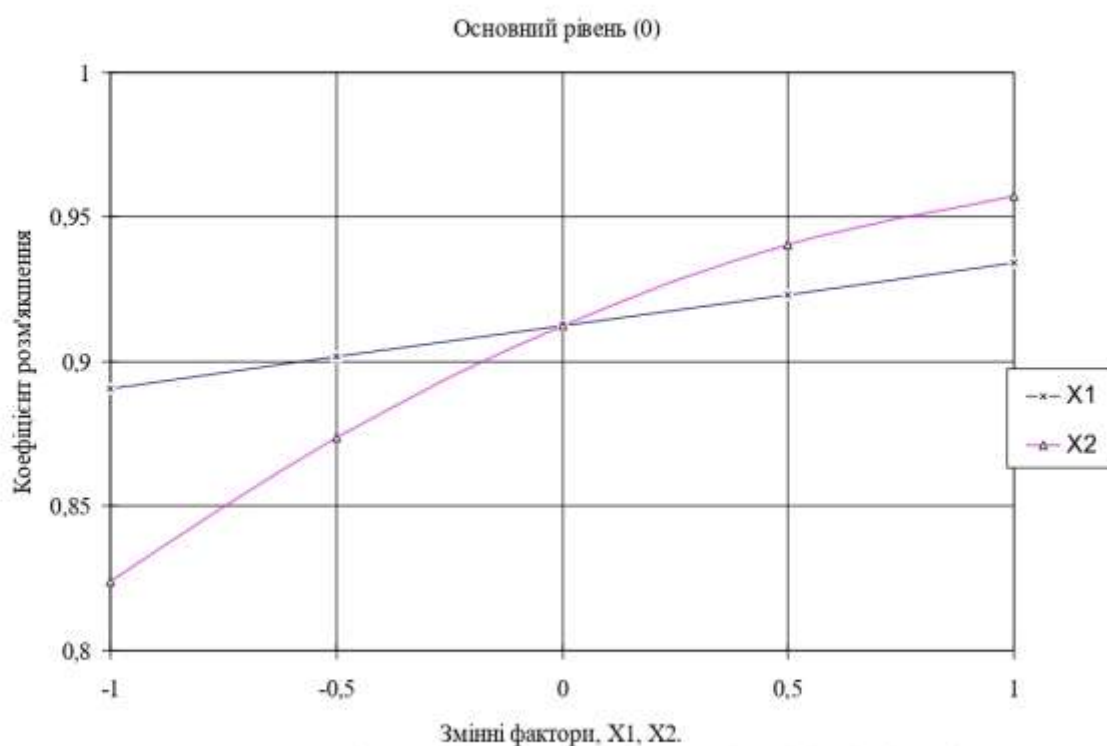


Рис. 5.10.2 Залежність коефіцієнта розм'якшення зразків-кубиків від кількості бутаналу і відношення дефекату до магнезиту у віці 28 дб

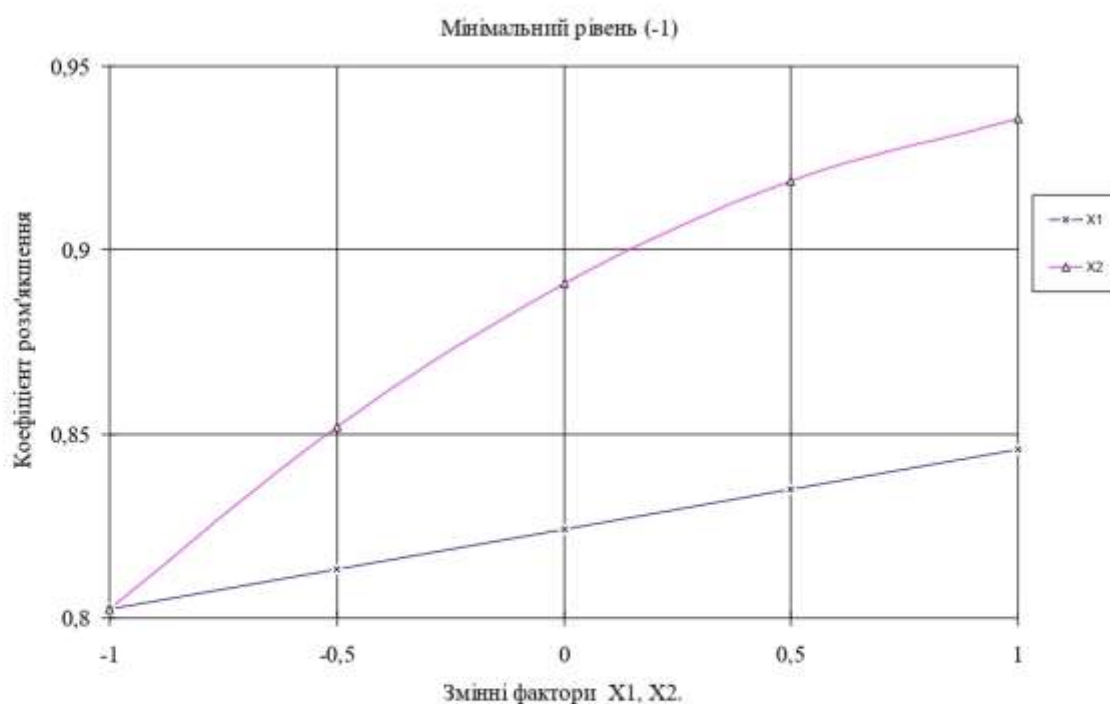


Рис. 5.10.3 Залежність коефіцієнта розм'якшення зразків-кубиків від кількості бутаналу і відношення дефекату до магнезиту у віці 28 дб

При знаходженні показників на основному рівні найбільша міцність аналогічна, що пояснюється вище. На рис. 5.10.3 показано, що можна отримати найбільший коефіцієнт розм'якшення при максимальному відношенні дефекату до магнезиту ( $d/m = 2,65$ ) та максимальній витраті добавки що відповідає 3 % від витрат магнезиту.

Оптимальний склад для одержання магнезіального бетону з  $K_p = 0,98$  є відношення  $d/m = 2,65$  і використання добавки 3 % від витрати магнезиту.

### 5.11 Дослідження впливу витрати асидол-милонфту на властивості магнезіального бетону у віці 7 діб

Проведення дослідів проводилося з використанням математико-статистичних методів планування експериментів відповідно до розділу 3. В якості факторів були вибрані витрати добавки та відношення дефекату до магнезиту ( $d/m$ ). Значення інтервалів варіювання факторів були наведені у таблиці 5.11.1

Таблиця 5.11.1                      Значення інтервалів варіювання

Код	Значення коду	Значення факторів	
		X1 (відношення $d/m$ )	X2 (витрата добавки), кг
Основний рівень	0	1,75	0,64
Інтервал варіювання	$X_i$	0,9	0,064
Верхній рівень	+	2,65	0,704
Нижній рівень	-	0,85	0,576

Досліди виконувалися у відповідності до прийнятого плану експеримента. План експериментів та результати дослідів наведені у таблиці 5.11.2 Термін твердіння зразків 7 діб.

Таблиця 5.11.2 План експериментів та результати дослідів

№ дослід у	План експеримент у		Натуральні значення змінних		Границя міцності при стиску, кгс/см <sup>2</sup>	Водопоглинання, %	Коефіцієнт розм'якшення
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	Д/М	Витрати асидол-милонфту, %.			
1	1	1	2,65	0,35	203,76	5,31	0,98
2	1	-1	2,65	0,15	198,89	6,02	0,94
3	-1	1	0,85	0,35	361,16	5,12	0,95
4	-1	-1	0,85	0,15	317,67	5,93	0,83
5	1	0	2,65	0,25	200,66	5,83	0,97
6	-1	0	0,85	0,25	337,78	5,18	0,89
7	0	1	1,75	0,35	252,22	5,31	0,94
8	0	-1	1,75	0,15	225,93	6,10	0,79
9	0	0	1,75	0,25	233,33	5,80	0,94
10	0	0	1,75	0,25	233,32	5,81	0,93
11	0	0	1,75	0,25	233,34	5,82	0,94

Шляхом комп'ютерного опрацювання експериментальних даних було виведено математичні залежності, що описують показники водопоглинання, коефіцієнта розм'якшення та границі міцності на стиск магnezіального бетону. Отримані аналітичні рівняння є репрезентативними для встановлених у дослідженні діапазонів варіювання чинників.

### 5.12 Дослідження впливу витрати асидол-милонфту на границю міцності при стиску магnezіального бетону

Алгебраїчне рівняння границі міцності при стиску магnezіального бетону:

$$Y_{\text{Рст}} = 234,83 - 68,9X_1 + 12,44X_2 + 33,08X_1^2 + 2,93X_2^2 - 9,65 X_1X_2 \quad (5.7)$$

Перевірка за критерієм Фішера підтвердила адекватність отриманої математичної моделі: фактичне значення (7,4) є значно нижчим за критичне

(19,3), що свідчить про високу точність рівняння (5.7) у вибраному діапазоні факторів.

На основі цієї аналітичної залежності було сформовано серію графіків (рис. 5.12.1–5.12.3).

Дослідження моделі виявило, що ключовим параметром, який регулює показник границі міцності на стиск, є співвідношення дефекат/магнезит (д/м). Просторова інтерпретація даних вказує на те, що при знаходженні факторів на максимальному рівні найбільша міцність отримана при мінімальному значенні відношення дефекату до магнезиту ( $д/м = 0,85$ ) та найменше дозування добавки (0,15 % від витрат магнезиту). Характер зміни властивостей при стабілізації факторів на основному рівні корелює з вищеописаними тенденціями. На рис. 5.12.3 показано, що можна отримати найбільшу міцність при максимальному значенні відношення дефекату до магнезиту ( $д/м = 2,65$ ) і максимальній витраті добавки (0,35 % від витрат магнезиту).

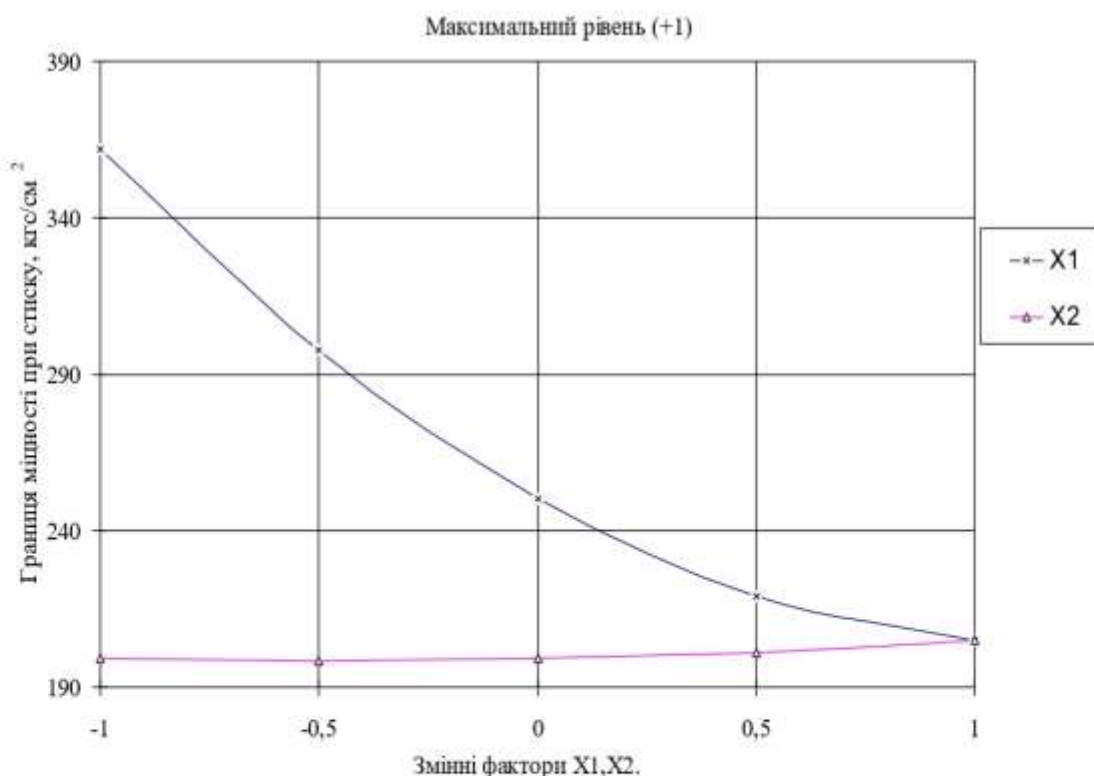


Рис. 5.12.1 Залежність міцності зразків-кубиків від кількості асидол-милонaftу і відношення дефекату до магнезиту у віці 7 діб

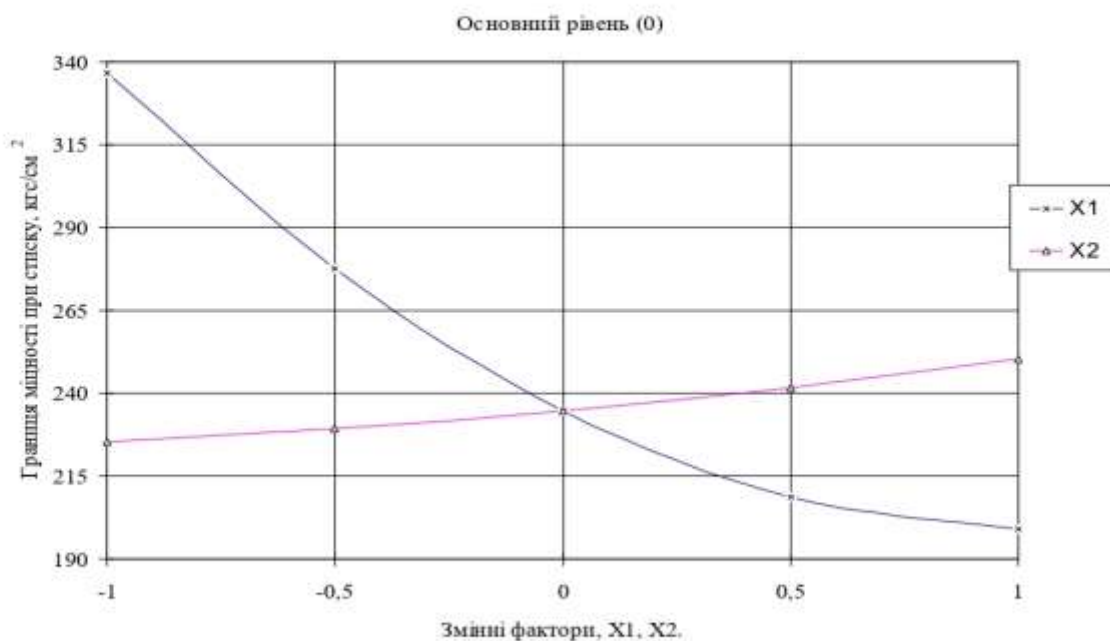


Рис. 5.12.2 Залежність міцності зразків-кубиків від кількості асидол-мплонифу і відношення дефекату до магнетиту у віці 7 діб

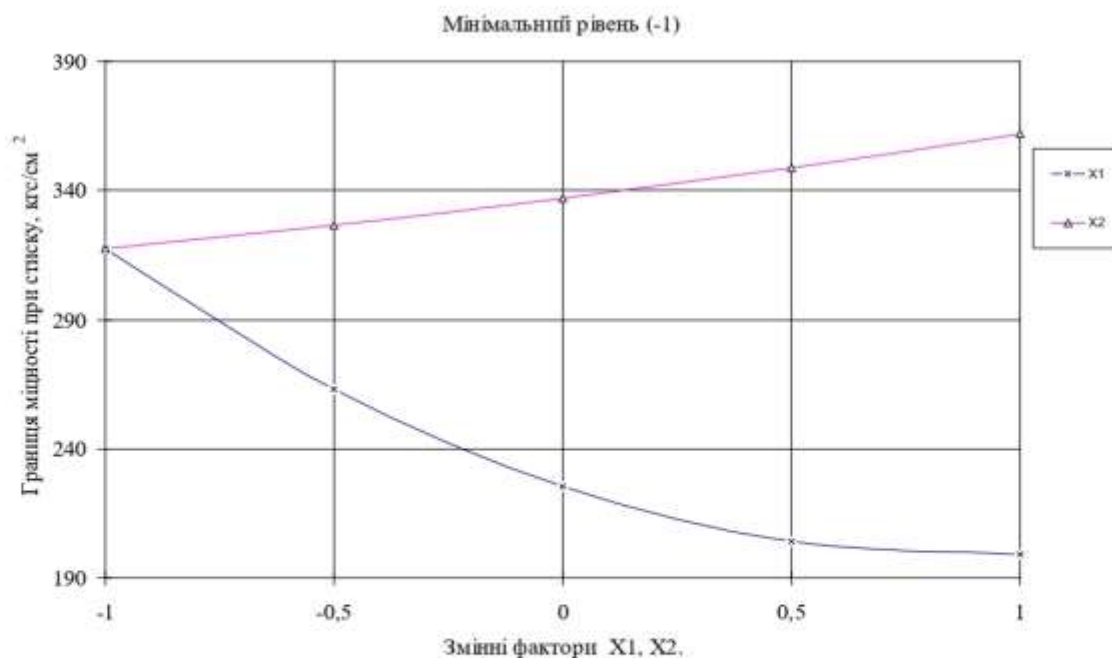


Рис. 5.12.3 Залежність міцності зразків-кубиків від кількості асидол-мплонифу і відношення дефекату до магнетиту у віці 7 діб

### 5.13 Дослідження впливу витрати асидол-милонфту на водопоглинання магnezіального бетону

Алгебраїчне рівняння визначення водопоглинання магnezіального бетону:

$$Y_{\text{вод}} = 5,79 + 0,15X_1 - 0,38X_2 - 0,21X_1^2 - 0,015X_2^2 + 0,025 X_1X_2 \quad (5.8)$$

Рівняння за критерієм Фішера оптимальне для описання вихідної залежності в межах досліджень зміни факторів, так як  $8,6 < 19,3$

За рівнянням (5.8) побудовані графіки на рис. 5.13.1, 5.13.2, 5.13.3.

При аналізі рівняння маємо, що найбільший вплив на водопоглинання мають відношення дефекату до магnezиту (д/м) та витрата добавки. Графічний аналіз, який наведено в трьох варіаціях, вказує, що коли фактори знаходяться на максимальному рівні то найменше водопоглинання отримане при мінімальній витраті відношення дефекату до магnezиту (д/м= 0,85) і максимальній витраті добавки що становить 0,35 % від витрат магnezиту. При знаходженні факторів на основному рівні найбільша міцність описана аналогічно приведеним поясненням вище. На рис. 5.13.3 на показано, що можна отримувати найменше водопоглинання коли максимальне значення відношення дефекату до магnezиту (д/м= 2,65) і при цьому мінімальна витрата добавки що становить 0,15 % від витрат магnezиту.

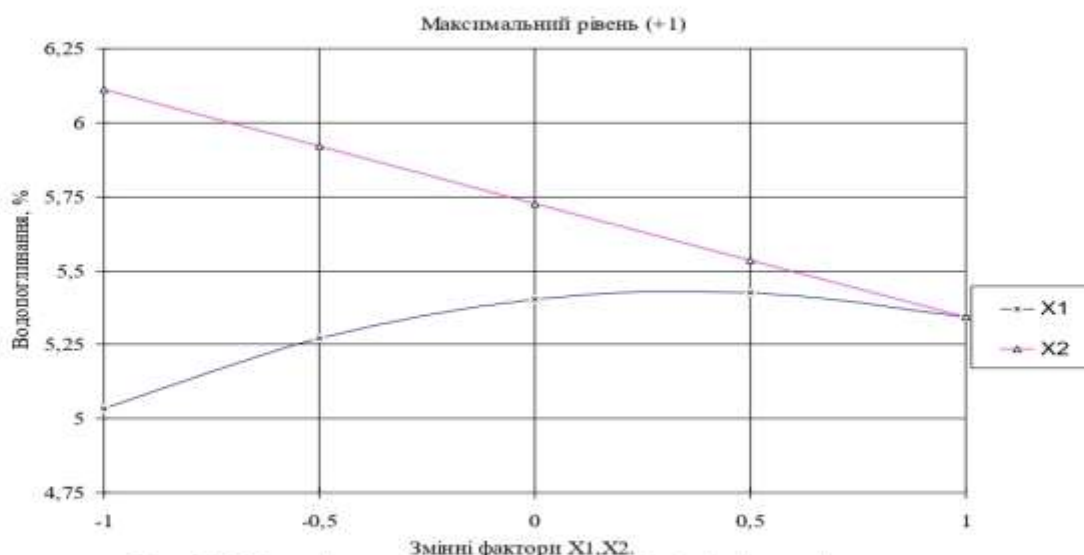


Рис. 5.13.1 Залежність водопоглинання зразків-кубиків від кількості асидол-милонфту і відношення дефекату до магnezиту у віці 7 діб

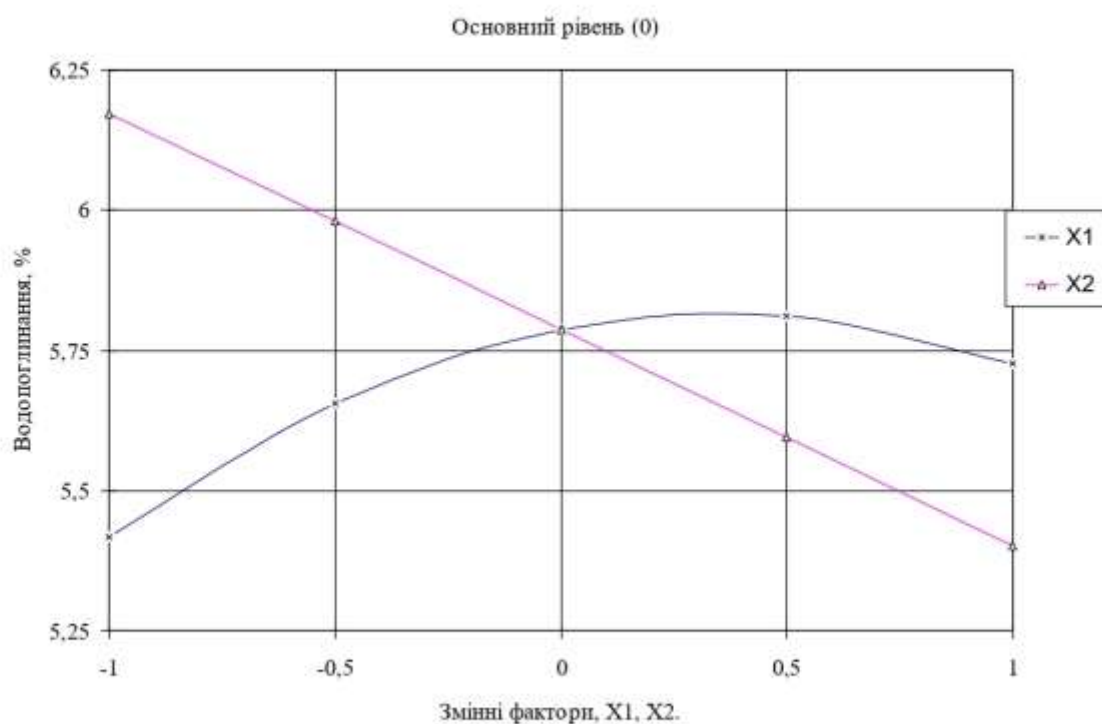


Рис. 5.13.2 Залежність водопоглинання зразків-кубиків від кількості асидол-милонату і відношення дефекату до магnezиту у віці 7 діб

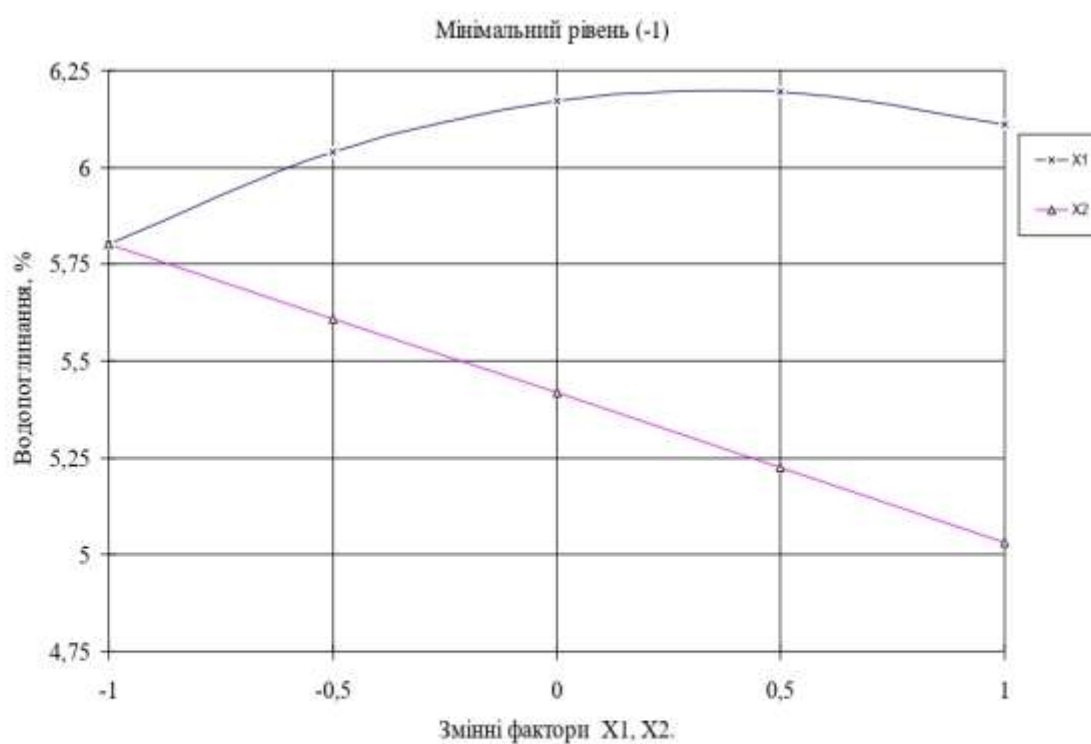


Рис. 5.13.3 Залежність водопоглинання зразків-кубиків від кількості асидол-милонату і відношення дефекату до магnezиту у віці 7 діб

#### 5.14 Дослідження впливу витрати асидол-милонату на коефіцієнт розм'якшення магnezіального бетону

Алгебраїчне рівняння водопоглинання магnezіального бетону:

$$Y_{кр} = 0,91 + 0,037X_1 + 0,05X_2 + 0,03X_1^2 - 0,03X_2^2 - 0,02 X_1X_2 \quad (5.9)$$

При аналізі рівняння за критерієм Фішера маємо додатне для описання вихідної залежності в межах досліджуваних змін факторів, так як  $14,9 < 19,3$

За рівнянням (5.9) побудовані графіки на рис. 5.14.1, 5.14.2, 5.14.3.

Провівши аналіз рівняння маємо такі дані: найбільший вплив на коефіцієнт розм'якшення мають відношення дефекату до магnezиту (д/м) та витрата добавки. При цьому графічний аналіз, що показаний в трьох варіаціях, представляє, що при знаходженні показників-факторів на максимальному рівні максимальний коефіцієнт розм'якшення отриманий при найбільшому значенні відношення дефекату до магnezиту (д/м= 2,65) і найбільшій витраті добавки що становить 0,35 % від витрат магnezиту. При знаходженні показників на основному рівні найбільша міцність аналогічна приведеним поясненням вище. На рис. 5.14.3 наведено, те що можна отримати найкращий коефіцієнт розм'якшення при максимальному значенні відношення дефекату до магnezиту (д/м= 2,65) і найбільшій витраті добавки що становить 0,35 % від витрати магnezиту.

Магnezіальні бетони (на основі оксиду магнію) мають одну суттєву особливість: вони гігроскопічні. Без спеціальних добавок вони схильні втрачати міцність при тривалому контакті з водою. Даними проведеними дослідженнями можемо говорити, що оптимальним складом для одержання магnezіального легкого бетону з коефіцієнт коефіцієнтом розм'якшення рівним 0,98 є відношення дефекату до магnezиту що є рівним 1,75 і витрата добавки 0,35% від витрати магnezиту.

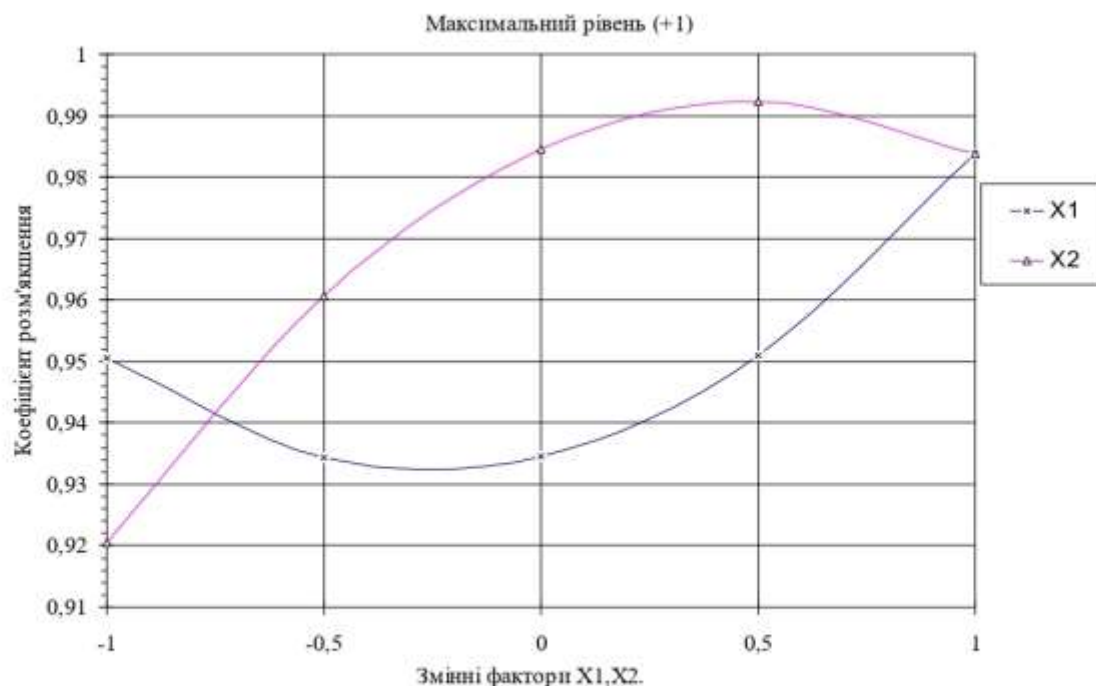


Рис. 5.14.1 Залежність коефіцієнта розм'якшення зразків-кубиків від кількості асидол-милонату і відношення дефекату до магнетиту у віці 7 діб

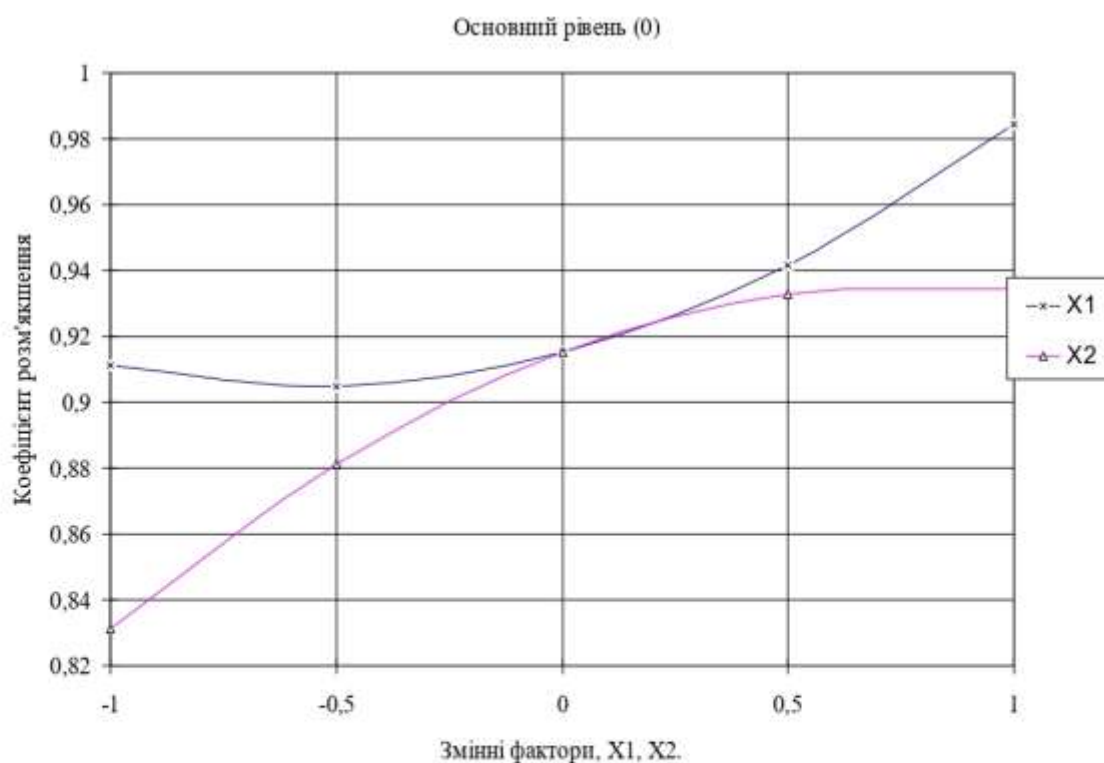


Рис. 5.14.2 Залежність коефіцієнта розм'якшення зразків-кубиків від кількості асидол-милонату і відношення дефекату до магнетиту у віці 7 діб

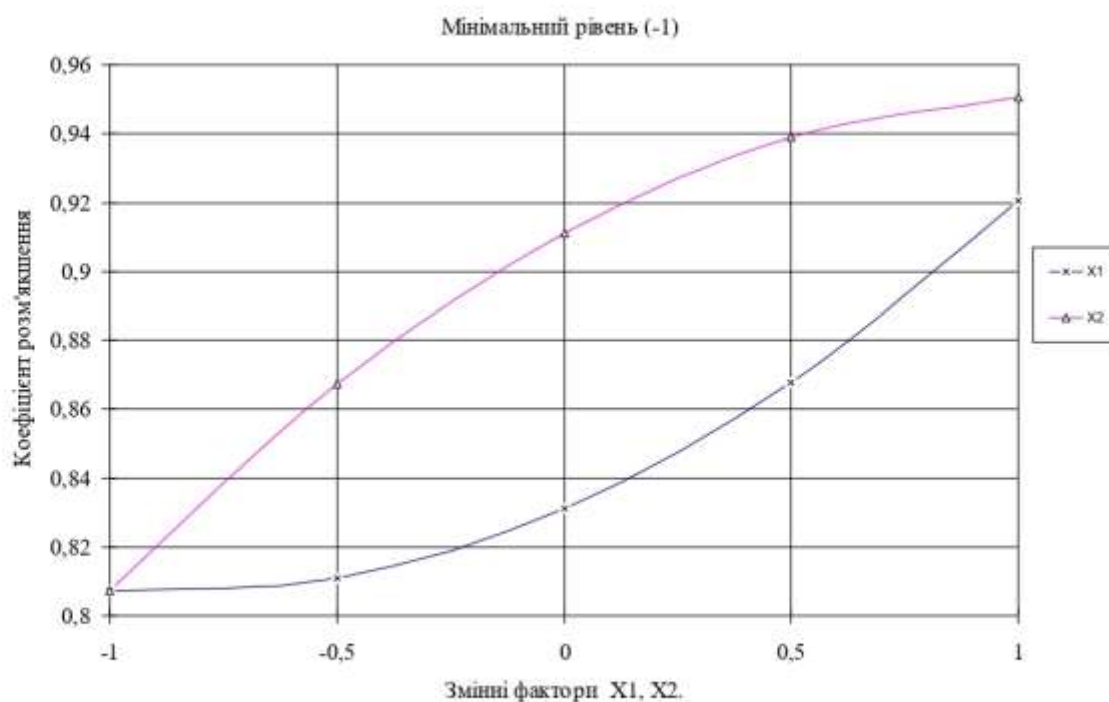


Рис. 5.14.3 Залежність коефіцієнта розм'якшення зразків-кубиків від кількості асидол-милонату і відношення дефекату до магнезиту у віці 7 діб

### 5.15 Дослідження впливу витрати асидол-милонату на властивості магнезіального бетону у віці 28 діб

При проведенні дослідів ми використовували математико-статистичні методи планування експериментів у відповідності з розділом 3. Тому в якості факторів ми обрали витрати добавки та відношення дефекату до магнезиту (д/м). Значення інтервалів варіювання факторів наведені у таблиці 5.15.1

Таблиця 5.15.1 Значення інтервалів варіювання

Код	Значення коду	Значення факторів	
		X1 (відношення д/м)	X2 (витрата добавки), кг
Основний рівень	0	1,75	4,16
Інтервал варіювання	X <sub>i</sub>	0,9	2,08
Верхній рівень	+	2,65	6,24
Нижній рівень	-	0,85	2,08

Всі дослідження проводилися у відповідності з прийнятим планом експеримента. План експериментів та результати дослідів наведені у таблиці 5.15.2 Термін твердіння зразків 28 діб.

Таблиця 5.15.2 План експериментів та результати дослідів

№ дослідю	План експеримента		Натуральні значення змінних		Границя міцності при стиску, кгс/см <sup>2</sup>	Водопоглинання, %	Коефіцієнт розм'якшення
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	Д/М	Витрати бутаналу, %.			
1	1	1	2,65	0,35	245,61	6,55	0,97
2	1	-1	2,65	0,15	235,54	6,08	0,93
3	-1	1	0,85	0,35	466,89	5,10	0,94
4	-1	-1	0,85	0,15	409,59	5,97	0,82
5	1	0	2,65	0,25	224,01	5,85	0,95
6	-1	0	0,85	0,25	440,15	5,28	0,88
7	0	1	1,75	0,35	330,39	5,37	0,94
8	0	-1	1,75	0,15	265,05	6,07	0,78
9	0	0	1,75	0,25	298,18	5,91	0,85
10	0	0	1,75	0,25	298,19	5,92	0,84
11	0	0	1,75	0,25	298,17	5,90	0,86

Шляхом комп'ютерного опрацювання експериментальних даних було виведено математичні моделі, що описують показники водопоглинання, коефіцієнта розм'якшення та міцності на стиск бетонів на магнезіальній основі. Отримані аналітичні залежності є репрезентативними для встановлених у дослідженні діапазонів варіювання чинників.

#### 5.16 Дослідження впливу витрати асидол-милонату на границю міцності при стиску магнезіального бетону

Алгебраїчне рівняння границі міцності при стиску магнезіального бетону:

$$Y_{\text{РсТ}} = 299,6 - 101,9X_1 + 22,12X_2 + 36,07X_1^2 + 1,7X_2^2 - 11,8 X_1X_2 \quad (10)$$

Перевірка за критерієм Фішера підтвердила адекватність отриманого математичного опису: фактичне значення (18,3) не перевищує критичного рівня (19,3), що доводить репрезентативність рівняння (10) у межах досліджуваного факторного простору.

На основі цієї аналітичної залежності було сформовано серію ізографіків, наведених на рис. 5.16.1–5.16.3.

Інтерпретація фізико-механічних показників. Математична обробка результатів свідчить, що домінуючим чинником, який визначає рівень границі міцності на стиск, є пропорція дефекат/магнезит (д/м). Просторова візуалізація даних вказує на те, що за умови перебування факторів на верхніх межах варіювання тобто пік міцності фіксується при мінімальному значенні д/м (0,85) та найменшому дозуванні добавки (0,15 %) від маси в'язучого. Характер зміни міцнісних характеристик при стабілізації чинників на основному рівні корелює з вищеописаними закономірностями. Водночас аналіз рисунку 5.16.3 демонструє можливість досягнення максимального значення міцності при максимальному значенні відношення дефекату до магнезиту ( $d/m = 2,65$ ) і максимальній витраті добавки що становить 0,35 % від витрат магнезиту.

Максимальний рівень (+1)

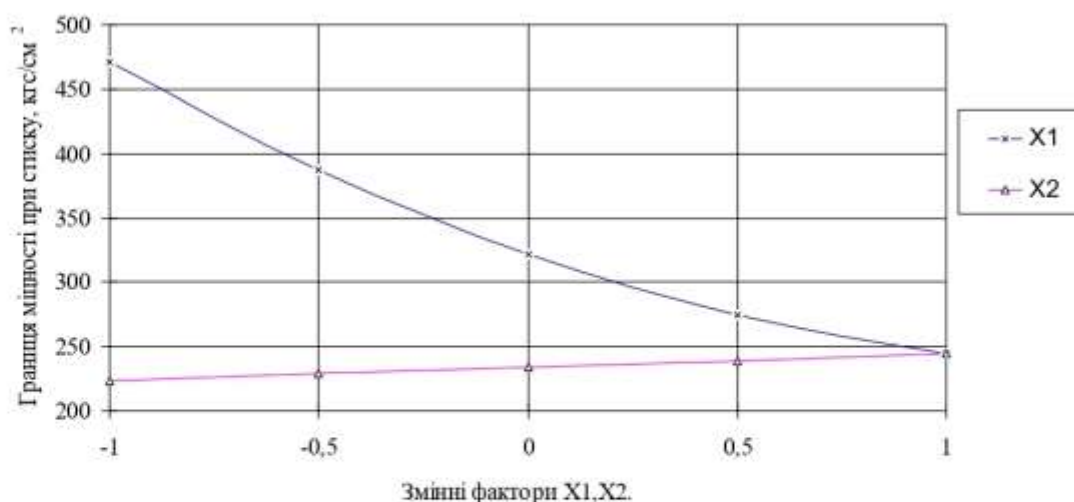
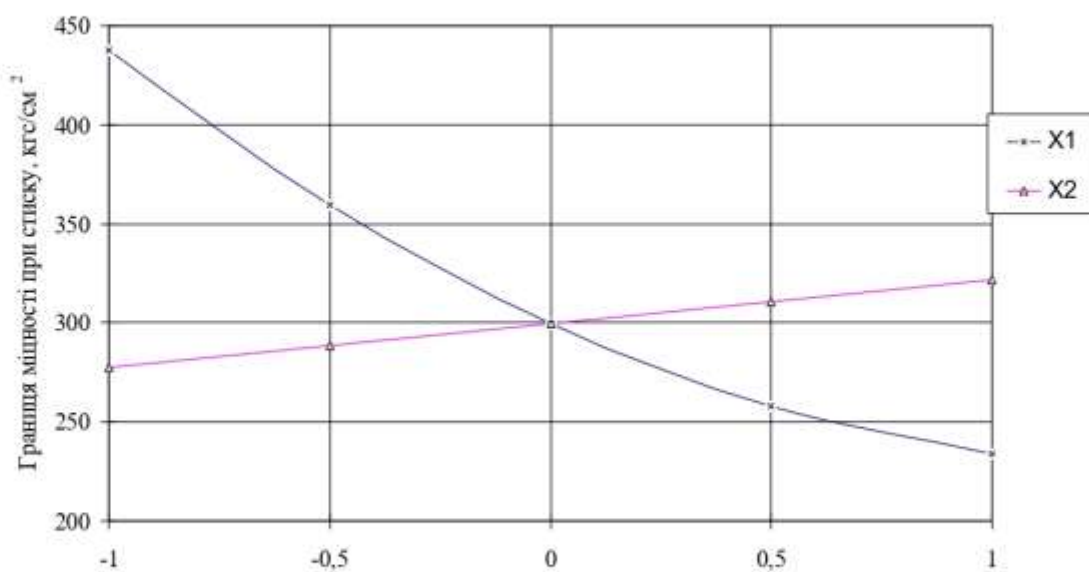


Рис. 5.16.1 Залежність міцності зразків-кубиків від кількості асидол-мілонафту і відношення дефекату до магнезиту у віці 28 діб

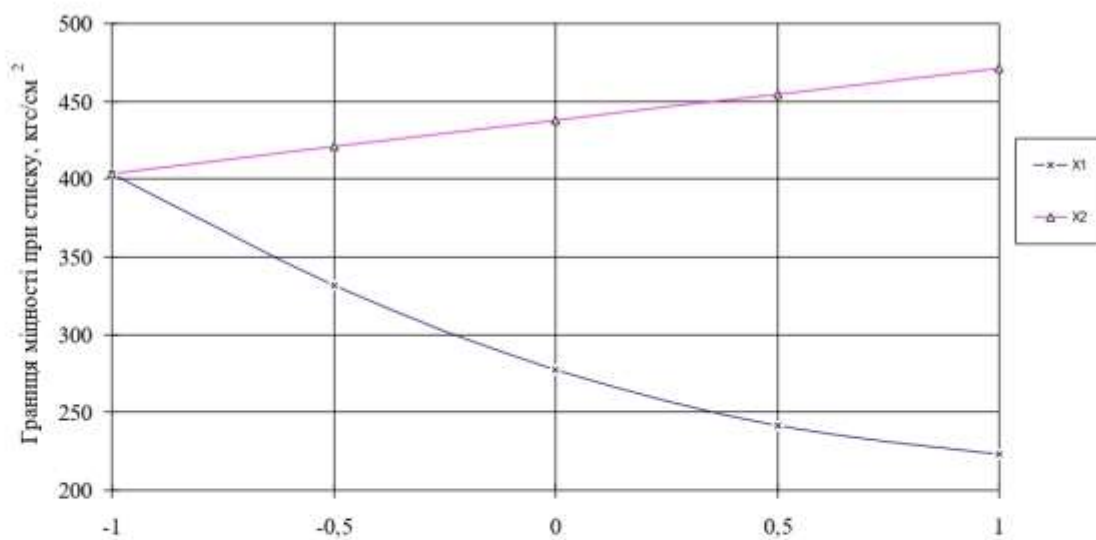
## Основний рівень (0)



Змінні фактори X1, X2.

Рис. 5.16.2 Залежність міцності зразків-кубиків від кількості аспидол-милонифу і відношення дефекату до магnezиту у віці 28 діб

## Мінімальний рівень (-1)



Змінні фактори X1, X2.

Рис. 5.16.3 Залежність міцності зразків-кубиків від кількості аспидол-милонифу і відношення дефекату до магnezиту у віці 28 діб

### 5.17 Дослідження впливу витрати асидол-милонату на водопоглинання бетону на основі магнезіальних в'язучих

При аналізі алгебраїчного рівняння водопоглинання магнезіального бетону:

$$Y_{\text{вод}} = 5,85 + 0,35X_1 - 0,18X_2 - 0,09X_1^2 + 0,06X_2^2 + 0,33 X_1X_2 \quad (5.11)$$

Рівняння за критерієм Фішера можливе до застосування для описання вихідної залежності в досліджуваних межах зміни факторів, тому що  $19,2 < 19,3$

За отриманим рівнянням (5.11) ми побудували графіки що показані на рис. 5.17.1, 5.17.2, 5.17.3.

Проаналізувавши рівняння ми бачимо, що найбільший вплив на водопоглинання має відношення дефекату до магнезиту (д/м) та вміст добавки. Графічний аналіз, наведений в трьох варіаціях, дає можливість побачити що при знаходженні факторів на максимальному рівні найменше водопоглинання отримане при максимальному значенні відношення дефекату до магнезиту (д/м= 2,65) і максимальній витраті добавки (0,35 % від витрат магнезиту). При знаходженні факторів на основному рівні найбільша міцність при максимальному значенні відношення дефекату до магнезиту (д/м= 2,65) і максимальній витраті добавки. На рис. 5.17.3 показано, що можна отримати найменше водопоглинання при максимальному значенні співвідношення дефекату до магнезиту (д/м= 2,65) і максимальній витраті добавки (0,35 % від витрат магнезиту).

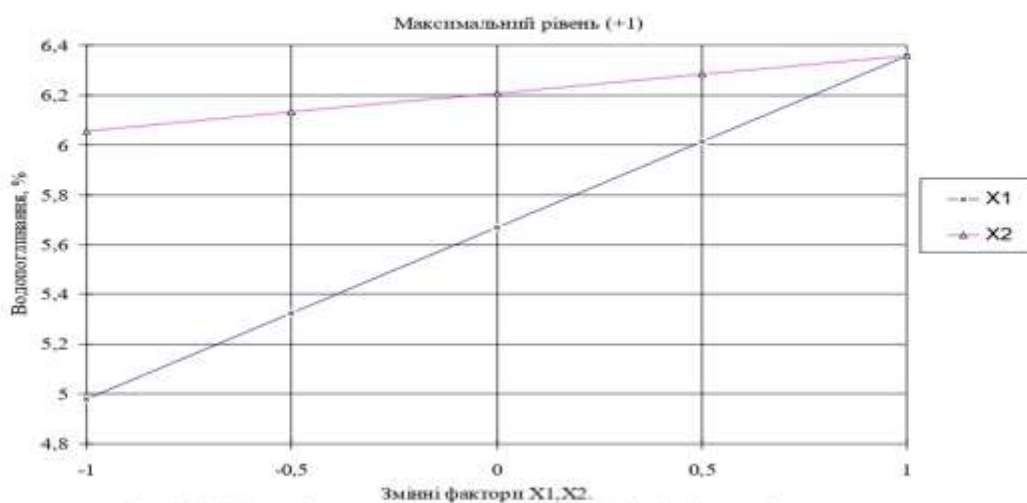


Рис. 5.17.1 Залежність водопоглинання зразків-кубків від кількості асидол-милонату і відношення дефекату до магнезиту у віці 28 дб

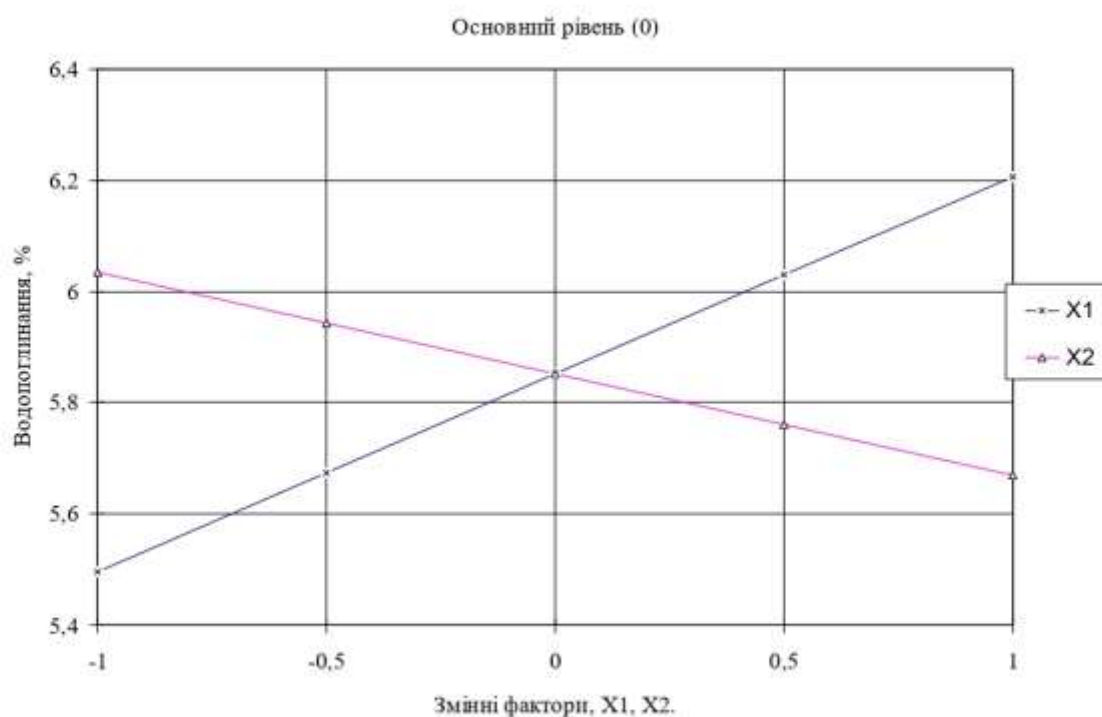


Рис. 5.17.2 Залежність водопоглинання зразків-кубиків від кількості асидол-милонату і відношення дефекату до магнізиту у віці 28 днів

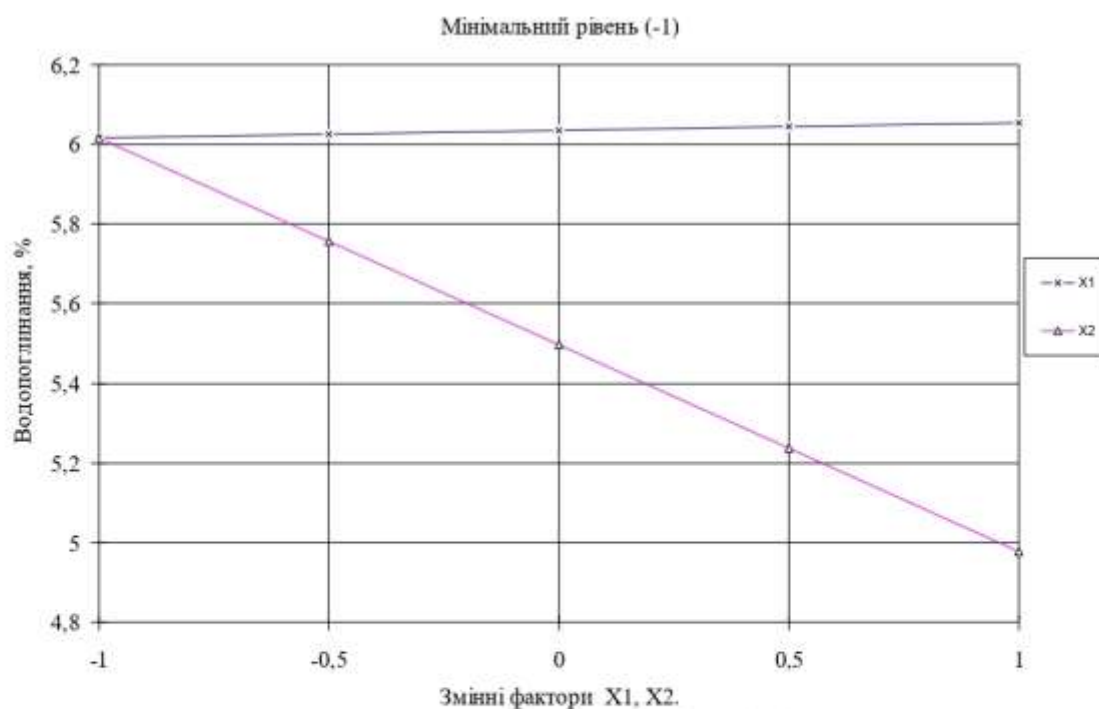


Рис. 5.17.3 Залежність водопоглинання зразків-кубиків від кількості асидол-милонату і відношення дефекату до магнізиту у віці 28 днів

### 5.18 Дослідження впливу витрати асидол-милонaftу на коефіцієнт розм'якшення магnezіального бетону

Отримане алгебраїчне рівняння водопоглинання магnezіального бетону:

$$Y_{кр} = 0,85 + 0,035X_1 + 0,053X_2 + 0,059X_1^2 + 0,004X_2^2 - 0,02 X_1X_2 \quad (5.12)$$

Рівняння що побудоване за критерієм Фішера підходить для описання вихідної функції при дослідженні меж зміни факторів, так як  $8,4 < 19,3$

На основі цієї аналітичної залежності (5.12) було сформовано серію ізографіків, наведених на рис. 1, 5.18.2, 5.18.3.

При аналізі рівняння робимо висновок, що найбільший вплив на коефіцієнт розм'якшення має відношення дефекату до магnezиту (д/м) та витрата добавки. Просторова візуалізація даних вказує на те, що за умови перебування факторів, що при знаходженні факторів на максимальному рівні найбільший коефіцієнт розм'якшення отриманий при максимальному значенні відношення дефекату до магnezиту (д/м= 2,65) і максимальній витраті добавки (0,35 % від витрат магnezиту). Коли досліджувані фактори знаходяться на основному рівні то найбільшою міцністю є аналогічна приведеним поясненням вище. На рис. 5.18.3 бачимо, що є можливість отримати найбільший коефіцієнт розм'якшення при максимальному значенні відношення дефекату до магnezиту (д/м= 2,65) і максимальній витраті добавки 0,35 % від витрат магnezиту.

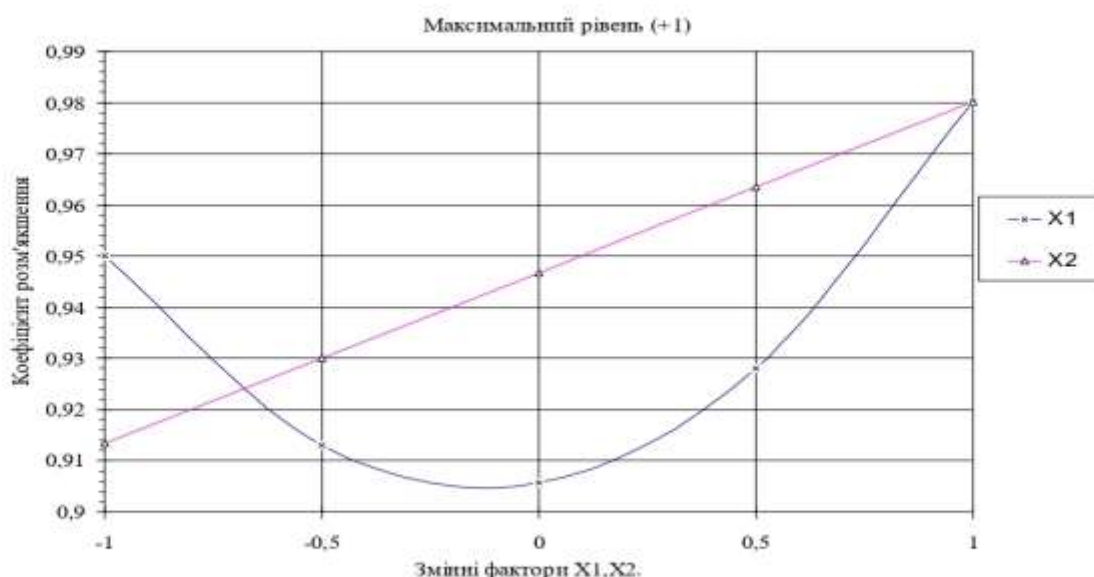


Рис. 5.18.1 Залежність коефіцієнта розм'якшення зразків-кубиків від кількості асидол-милонaftу і відношення дефекату до магnezиту у віці 28 діб

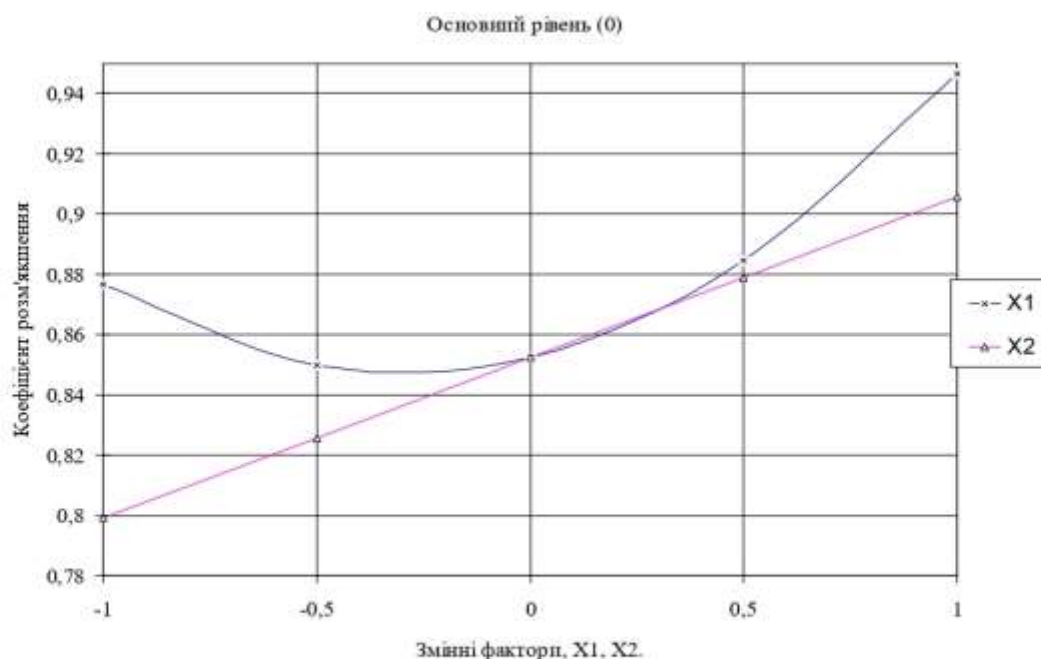


Рис. 5.18.2 Залежність коефіцієнта розм'якшення зразків-кубків від кількості асндо-милонату і відношення дефекату до магнєзиту у віці 28 діб

Даними проведеними дослідженнями можемо стверджувати, що оптимальним оптимальним складом для одержання легкого магнєзального бетону з коефіцієнтом розм'якшення що є рівним 0,98 є відношення ефекату до магнєзиту рівне 2,65 та витратою добавки 0,35 % від витрати магнєзиту.

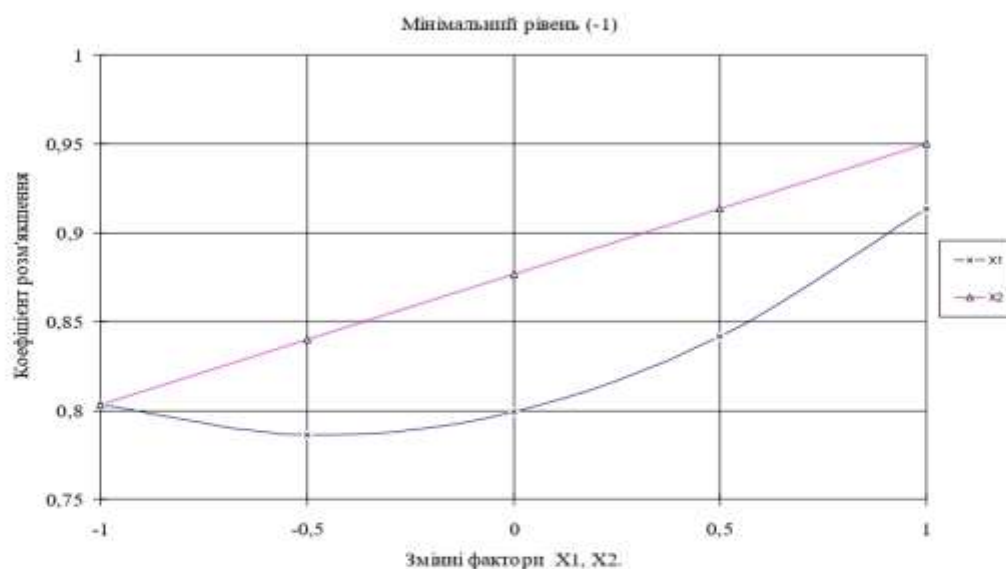


Рис. 5.18.3 Залежність коефіцієнта розм'якшення зразків-кубків від кількості асндо-милонату і відношення дефекату до магнєзиту у віці 28 діб

## РОЗДІЛ 6

### ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ

#### 6.1 Забезпечення належних умов праці для робітників

Реалізація прав на здоров'я та безпечні умови праці полягає в їх практичному (санітарно-гігієнічному, медичному, технічному, ергономічному) забезпеченні. Санітарно-гігієнічне та медичне забезпечення включає:

- організацію відпочинку, харчування і побуту робочих;

- належне оснащення цехів, виробничих ділянок і бригад санітарно-побутовими приладами;

- наявність стаціонарних або пересувних будиночків для відпочинку, зміни та сушки одягу;

- організацію санітарно-курортного лікування, відпочинку і лікування в профілакторіях і пансіонатах;

- безкоштовну видачу спецодягу та інших засобів індивідуального захисту, що відповідають характеру робіт кожного робітника;

- регулярний медичний огляд і безкоштовне лікування у випадках хвороби і травм.

Технічне забезпечення полягає в оснащенні виробництва обладнанням, яке відповідає вимогам безпеки, ергономіки та санітарним нормам, дозволяє захистити робочих від впливу шкідливих речовин, надмірно високої або низької температури, вологості, тиску і т. п.

Робітники мають право на систематичну інформацію про можливі зміни умов праці, періодичні та позачергові інструктажі з безпечного ведення робіт, нормальні та безпечні режими праці і відпочинку, забезпечення засобами колективного захисту, компенсацію за роботу в шкідливих умовах, перехід на легшу роботу за станом здоров'я, контроль за діяльністю адміністрації, відшкодування шкоди у зв'язку з втратою здоров'я і залучення до відповідальності осіб, винних у цьому.

## **6.2 Забезпечення оптимального режиму праці**

Тривалість робочого часу встановлена трудовим законодавством. При нормальних умовах праці вона не перевищує 41 год. в тиждень. При цьому в залежності від характеру виробництва робочий тиждень може складатися з п'яти або шести робочих днів. Для робітників, що працюють на шкідливому виробництві, тривалість робочого часу встановлюють у рамках 36 годин на тиждень.

На будівельних підприємствах режими праці та відпочинку робітників встановлюють за графіками. У графіках вказують норми часу, що розподілені по днях тижня. Збільшувати тижневу норму робочого часу робітників (встановлювати понаднормові години) адміністрація може тільки у виняткових випадках і лише за попередньою згодою профспілки.

У графіках роботи передбачають добовий розподіл робочого часу для кожного працівника або бригади, тобто вказують, в яку зміну слід починати і закінчувати роботу (графік змінності).

При змінній роботі кожен працівник повинен відпрацювати встановлений робочий час. Працівники чергуються по змінах рівномірно. Законодавство про працю регламентує також час відпочинку, що включає щотижневі вихідні дні. На нафтогазовидобувних підприємствах, де призупинити роботу неможливо, вихідні дні надають почергово кожній групі робітників в різні дні тижня згідно з графіком. Крім того, протягом робочого дня встановлено перерви для відпочинку і харчування. Час початку і закінчення перерви встановлює адміністрація за погодженням з профспілковим комітетом. Перерви не включають в робочий час.

## **6.3 Техніка безпеки при роботі з хімічними речовинами**

Хімічні речовини, що застосовуються в лабораторних і виробничих умовах, можна розділити на три групи:

- 1) отруйні,
- 2) вогнебезпечні та вибухонебезпечні,

3) викликають хімічні опіки.

Окрему групу утворюють речовини, що випромінюють заряджені частинки. Такий поділ дещо умовно, оскільки одна і та ж речовина може проявляти себе по-різному.

Вибухонебезпечне середовище може виникати при змішуванні повітря з паливними газами, суспензіями горючого пилу або парами ЛЗР. Існують граничні значення концентрації — нижня та верхня межі — за межами яких займання суміші стає неможливим. На ці критичні показники впливає низка чинників: термобаричні умови (тиск і температура), параметри ініціюючого імпульсу, наявність у складі баластних інертних домішок, а також вектор руху фронту полум'я.

У цьому розділі наведено основні відомості про токсичність і вогнебезпечності найбільш уживаних хімічних речовин, а також основні заходи з охорони праці та надання першої допомоги.

Забезпечення нормальних умов в лабораторних і виробничих приміщеннях передбачається для усунення шкідливих газів, а також підтримки певної температури і вологості повітря.

Повітрообмін в приміщеннях передбачається для усунення шкідливих газів, а також підтримки певної температури і вологості повітря. У випадку видалення отруйних газів об'єм свіжого повітря, що подається в приміщення, залежить від кількості виділяються в одиницю часу шкідливих газів і гранично допустимих концентрацій (див. п. 1). При підтримці певної температури і вологості в приміщенні повітрообмін залежить від кількості виділяючи в одиницю часу тепла і вологи.

В якості засобів індивідуального захисту крім зазначених у п. 5 проти газів, захисних окулярів, різного типу масок і екранів застосовуються також гумові рукавички, фартухи та ін.

У лабораторних і виробничих приміщеннях повинна бути аптечка з ліками та медичними засобами для надання першої допомоги.

При виконанні робіт з виготовлення і використання хімічних добавок необхідно дотримуватися правил техніки безпеки згідно ДБН А.3.2-2-2009

Нітрит натрію, нітрит калію, ННК І ННХК повинні зберігатися на індивідуальному складі. Забороняється їх зберігати в одному приміщенні з кислотами.

Забороняється палити і вести роботи з відкритим полум'ям(газова зварка, газовий різак та ін.) в приміщенні, де зберігається кристалічний нітрит натрію. Горючі продукти, просочені розчином цієї солі, легко займаються і важко піддаються гасінню.

Для гасіння не можна застосовувати воду, а потрібно користуватися вогнегасником або піском.

У відділеннях приготування розчинів добавок і бетонної суміші, особливо при застосування нітриту натрію, нітриту кальцію, нітрит-нітрату кальцію або нітрит-нітрат-хлориду кальцію, необхідно передбачати штучну вентиляцію.

На емностях передбачених для зберігання чи приготування розчинів нітриту натрію, повинен бути попереджувальний напис «Отрута».

При укладанні бетонної суміші особливу увагу потрібно звертати на відповідний технічний стан електроприладів і дротів діючим правилам техніки безпеки внаслідок підвищеної електропровідності бетонної суміші з добавками прискорювачами твердіння.

Робітників зайнятих приготуванням розчинів добавок, необхідно спеціально інструктувати і забезпечувати гумовими чоботами та печатками, а також захисти окулярами.

Забороняється приймати їжу в приміщеннях, де зберігаються чи готуються розчини добавок. Необхідно остерігатися попадання розчинів добавок, особливо нітриту натрію, на шкіру і їжу.

До робіт по приготуванню водних розчинів добавок не можна допускати осіб, які мають ураження рук і обличчя, а нітриту натрію, окрім того, осіб молодших 18 років.

#### 6.4. Організація роботи з охорони праці на підприємстві

Теоретичні засади функціонування системи менеджменту охорони праці

Наукова дефініція «охорони праці» визначає її як сукупність різнопланових інструментів — від правових та організаційних до медико-профілактичних, що в комплексі забезпечують захист життєдіяльності та професійної придатності персоналу. Багатогранність цієї сфери вимагає впровадження системного підходу до менеджменту на всіх ієрархічних щаблях.

Система управління охороною праці (СУОП) є інтегрованою структурою, що поєднує безпосередньо безпекові заходи та управлінські алгоритми їх реалізації. Цей процес охоплює стратегічне планування, організаційне забезпечення, моніторинг та оперативне регулювання умов роботи.

Архітектура СУОП базується на взаємодії двох ключових компонентів:

Об'єкт менеджменту: стан безпеки праці на рівні виробничої одиниці, галузевого сектора чи країни в цілому.

Суб'єкти та інструментарій: управлінські ланки (органи, керівники), які аналізують ризики, розробляють програми безпеки та контролюють їх виконання.

Відповідно до чинного законодавства, державне регулювання розподілене між Кабінетом Міністрів, профільним центральним органом виконавчої влади, галузевими міністерствами та органами місцевої влади. Структурно державна модель управління є дворівневою: макрорівень (формування національної політики) та мікрорівень (галузева й територіальна реалізація). На рівні суб'єктів господарювання СУОП адаптується до специфіки підприємства, враховуючи його структуру та підпорядкованість.

Враховуючи вимоги законодавства, роботодавець зобов'язаний забезпечити створення безпечних і нешкідливих умов праці на кожному робочому місці та в усіх структурних підрозділах на підприємстві, а також гарантувати дотримання прав працівників у сфері охорони праці. З цією

метою роботодавець організовує та підтримує функціонування СУОП, що передбачає:

створення служби охорони праці або призначення відповідальних посадових осіб, визначення їхніх повноважень, прав і відповідальності;

розроблення та реалізацію комплексних заходів з охорони праці за участю представників трудового колективу і профспілок, упровадження сучасних технологій, засобів механізації й автоматизації, а також передового вітчизняного й міжнародного досвіду;

усунення причин виробничого травматизму та професійних захворювань, контроль виконання профілактичних заходів за результатами розслідування нещасних випадків;

проведення аудиту охорони праці, лабораторних досліджень умов праці, атестації робочих місць на відповідність нормативно-правовим актам, а також реалізацію заходів щодо зниження впливу небезпечних і шкідливих виробничих факторів;

розроблення і затвердження внутрішніх нормативних документів з охорони праці (положень, інструкцій, правил), обов'язкових для виконання всіма працівниками;

постійний контроль за дотриманням технологічних процесів, правил експлуатації обладнання, використанням засобів колективного та індивідуального захисту;

організацію навчання, інструктажів і пропаганди безпечних методів праці.

За рахунок власних коштів роботодавець забезпечує проведення попередніх, періодичних та позачергових медичних оглядів працівників, зайнятих на роботах зі шкідливими або небезпечними умовами праці, а також обов'язкові щорічні медичні огляди осіб віком до 21 року.

Служба охорони праці є невід'ємною складовою організаційної структури підприємства та належить до основних виробничо-технічних служб. Її ліквідація допускається виключно у разі припинення діяльності

підприємства. Служба підпорядковується безпосередньо роботодавцю та, залежно від чисельності персоналу і специфіки виробництва, може функціонувати як окремий підрозділ або у формі одного спеціаліста. Працівники служби охорони праці повинні мати відповідну освіту та професійний досвід, а за своїм статусом і рівнем оплати праці прирівнюються до спеціалістів основних виробничих служб.

Організаційна структура системи управління охороною праці на підприємстві формується на базі чинної системи управління виробництвом і ґрунтується на принципах чіткого розподілу обов'язків, відповідальності та взаємодії між структурними підрозділами. Координація діяльності у сфері охорони праці забезпечується шляхом прийняття управлінських рішень у формі наказів, розпоряджень та інших організаційно-розпорядчих документів.

Окрім штатних посадових осіб, у реалізації заходів з охорони праці беруть участь комісії з питань охорони праці, уповноважені представники трудових колективів та профспілкові органи, що сприяє підвищенню ефективності СУОП і забезпечує громадський контроль за дотриманням вимог безпеки праці [20].

### ВИСНОВКИ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ДОСЛІДЖЕННЯ

1. Обґрунтовано метод покращення гідрофобних властивостей зокрема водопоглинання магnezіального бетону через модифікацію суміші такими компонентами, як асидол-милонaft та бутанал.
2. Визначено рецептуру композиту на базі магnezіальних в'язучих, яка завдяки застосуванню бутаналу забезпечує високу водостійкість (коефіцієнт розм'якшення сягає  $K_p = 0,98$ ). Доказана можливість підвищити водостійкість бетону на основі магnezіальних в'язучих вводячи до складу бетону добавок (бутаналу і асидол-милонaftу).
3. Встановлено, що для формування структури магnezіального бетону з високим показником водостійкості  $K_p = 0,98$  найбільш ефективним є поєднання співвідношення є відношення дефекату до магnezиту 2,65 та введення бутаналу в кількості 3 % від витрати магnezиту.
4. Розроблено рецептуру бетону на основі магnezіальних систем, де стабільність властивостей у водному середовищі коефіцієнт розм'якшення 0,97 забезпечується шляхом модифікації суміші асидол-милонaftом.
5. Визначено раціональні параметри складу, щоб отримати магnezіальний бетон з коефіцієнтом розм'якшення  $K_p = 0,97$  потрібно співвідношення дефекату до магnezиту  $d/m = 2,65$  та витрата асидол-милонaftу 0,35 % від витрати магnezиту.
6. З метою зниження собівартості виробництва та одночасного покращення гідрофобних характеристик матеріалу, обґрунтовано доцільність використання дефекату у якості заповнювача.

Отримані результати можуть бути впроваджені в виробництво при виготовленні бетонів на основі магnezіальних в'язучих також були удосконалені методики з дослідження властивостей бетонів на основі магnezіальних в'язучих.

**СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

1. Аднан Абдел Хамід Халіл Абу Саль Дослідження тривалості транспортування та укладання бетонної суміші від її температури. – К.: КНУБА, 2013. – Вип. 30. – с. 204.
2. Басараб, В. ., Уманець, І. . (2022). Експериментальне дослідження технологічних властивостей процесу пресування бетонної суміші в умовах реконструкції. Шляхи підвищення ефективності будівництва , 1 (50), 3–14. [https://doi.org/10.32347/2707-501x.2022.50\(1\).3-14](https://doi.org/10.32347/2707-501x.2022.50(1).3-14)
3. Бетонні роботи: монографія / О.В.Якименко, О.В.Кондращенко, А.О.Атинян ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. –Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2017. –275с.
4. Бабій І. М., Галушко В. О., Колодяжна І. В., Бетони для дорожніх покриттів на активованому портландцементі з оптимальними рецептурно-технологічними факторами// СучТехнБудів, вип. 19, вип. 2, с. 11–15, 2016.
5. Будівельне матеріалознавство: Підручник / Кривенко П.В., Пушкарьова К.К., Барановський В.Б. та ін., під ред. П.В. Кривенка. - К.: ТОВ УВПК «ЕксОб», 2006. - 704 с.
6. Зайченко М.М. Вплив складу органо-мінерального модифікатора на властивості високоміцних тонкозернистих бетонів / М.М. Зайченко // Зб. наук. праць. – Рівне: НУВГП. – 2008. – Вип. 16, Ч. 1. – С. 56-63.
7. Дворкін Л.Й., Дворкін О.Л. Основи бетонознавства: на- вч. посіб. / Л.Й. Дворкін, Дворкін О.Л. - К.: Основа, 2007. – 613 с.
8. Дворкін Л.Й. *Бетони спеціального призначення: Навчальний посібник* /– К.: Видавничий дім «Кондор», 2018. – 354 с.
9. Дворкін Л.Й. Способи підвищення міцності низькоклінкерного шлакопортландцементу / Л. Й. Дворкін, А. В. Мироненко, Ю. О. Степасюк // Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту. - 2013. - Вип. 138. - С. 141-147. - Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Znpudazt\\_2013\\_138\\_20](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Znpudazt_2013_138_20)
10. ДНАОП 0.00-1.21-98. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів.

11. ДСТУ Б В.2.7-42:2009. Методи визначення водопоглинання, густини та морозостійкості будівельних матеріалів і виробів.
12. ДСТУ EN 14016-1:2019 Речовини в'язучі для магнезитових стягувань. Каустична магнезія та хлорид магнію. Частина 1. Визначення та вимоги (EN 14016-1:2004, IDT).
13. ДСТУ Б В.2.7-185:2009. Будівельні матеріали. Цементи. Методи визначення нормальної густоти, строків тужавлення та рівномірності зміни об'єму.
14. ДСТУ Б В.2.7-187:2009. Будівельні матеріали. Цементи. Методи визначення міцності на згин та стиск.
15. ДСТУ Б В.2.7-188:2009. Будівельні матеріали. Цементи. Методи визначення тонкості помелу.
16. ДСТУ Б В.2.7-214:2009. Бетони. Методи визначення міцності за контрольними зразками.
17. ДСТУ Б В.2.7-215:2009. Бетони. Правила підбору складу.
18. ДСТУ Б В.2.7-112-2002 Пісок щільний природний для будівельних робіт.
19. ДСТУ Б В.2.7-170:2008 Бетони. Методи визначення середньої густини, вологості, водопоглинання, пористості і водонепроникності
20. ДСТУ Б В.2.7-176:2008 (EN 206-1:2000, NEQ) Будівельні матеріали. Суміші бетонні та бетон. Загальні технічні умови
21. Константиновський О.П. В'язучі речовини: конспект лекцій / О.П. Константиновський, В.В.Троян, І.І. Руденко – Київ: КНУБА, 2023. – 87 с.
22. Круць Т.М. Високоякісні швидкотверднучі портландцементи виробництва ПрАТ «Івано-Франківськцемент» / Т.М. Круць, О.Ф. Горпинко, І.М. Гев'юк, М.А. Саницький, Т.П. Кропивницька // Будівельні матеріали та вироби. – 2018. – № 1. – С. 26–29.
23. Позняк О.Р. Високофункціональні бетони з комплексними модифікаторами на основі полікарбоксилатів. / О.Р. Позняк // Теорія і практика будівництва [Текст] : [зб. наук. пр.] / відп. ред. З. Я. Бліхарський. - Л. :

Видавництво Національного університету "Львівська політехніка", 2009. - 331 с. : іл. - (Вісник / Національний університет "Львівська політехніка" ; № 655). - С. 224-229

24. Саницький М.А. Модифіковані композиційні цементи: навч. посібник / М.А. Саницький, Х.С. Соболев, Т.Є. Марків – Львів: ЛП, 2010. – 132 с.

25. Солодкий С.Й. Тріщиностійкість бетонів на модифікованих цементах: монографія / С.Й. Солодкий. – Львів: ЛП., 2008. – 143 с..

26. Саницький М.А. Модифікатори нової генерації для бетонів / М.А. Саницький, О.Р. Позняк, У.Д. Марущак, М.М. Чемерис та ін. // Будівельні матеріали, виробництво та санітарна техніка. – 2006. – № 1. – С. 5-7.

27. Саницький М.А. Високофункціональні бетони на основі модифікаторів нової генерації / М.А. Саницький, О.Р. Позняк, І.І. Кіракевич // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". – Сер.: Теорія і практика будівництва. – 2008. – № 627. – С. 191-197.

28. Саницький М.А. Концепція застосування модифікаторів для підвищення якості та довговічності залізобетону / М.А. Саницький, У.Д. Марущак, О.Т. Мазурак // Будівельні конструкції : Міжвідомч. наук.-техн. зб. – К. : Вид-во НДІБК. – 2003. – Вип. 59. – С. 448-455.

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

30. Сорожук,Н.А., Павленко Т. М., Аббасова А. Р. Основи теорії формування структурної міцності вакуумбетону при ущільненні бетонних сумішей // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. – 2020. – №81. – С. 139-148.

31. Теоретичні основи будівельного матеріалознавства: навчальний посібник. Дворкін Л.Й. – Київ: Каравела, 2023. –799 с.

32. Чистяков В.В. Вплив комплексної добавки на особливості твердіння і властивості цементобетону для покриття доріг / В.В. Чистяков, А.Г. Шургал,

Н.П. Чиженко, В.П. Сербін, Я.О. Дулевич // Будівельні матеріали, виробництва та санітарна техніка. – 2011. – № 39. – С. 122-126.

33. Roy D.M. New Strong Cement Materials: Chemically Bonded Ceramics. *Science*. 1987;235:651–658. doi: 10.1126/science.235.4789.651.

34. Abdelrazig B.E.I., Sharp J.H., El-Jazairi B. The chemical composition of mortars made from magnesia phosphate cement. *Cem. Concr. Res.* 1988;18:415–425. doi: 10.1016/0008-8846(88)90075-0.

35. Qiao F., Chau C.K., Li Z. Property evaluation of magnesium phosphate cement mortar as patch repair material. *Constr. Build. Mater.* 2010;24:695–700. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2009.10.039.

36. Yang Q.B., Zhu B.R., Zhang S.Q. Properties and applications of magnesia-phosphate cement mortar for rapid repair of concrete. *Cem. Concr. Res.* 2000;30:1807–1813. doi: 10.1016/S0008-8846(00)00419-1.

37. Feng H., Chen G., Gao D. Mechanical Properties of Steel Fiber-Reinforced Magnesium Phosphate Cement Mortar. *Adv. Civ. Eng.* 2018;3:1–11. doi: 10.1155/2018/3978318.

38. Ahmad M.R., Chen B. Effect of silica fume and basalt fiber on the mechanical properties and microstructure of magnesium phosphate cement (MPC) mortar. *Constr. Build. Mater.* 2018;190:466–478. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2018.09.143.

39. Fang Y., Cui P., Ding Z., Zhu J.X. Properties of a magnesium phosphate cement-based fire-retardant coating containing glass fiber or glass fiber powder. *Constr. Build. Mater.* 2018;162:553–560. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2017.12.059

40. Ahmad M.R., Chen B., Haque M.A., Shah S.F.A. Development of a sustainable and innovant hygrothermal bio-composite featuring the enhanced mechanical properties. *J. Clean. Prod.* 2019;229:128–143. doi: 10.1016/j.jclepro.2019.05.002.

41. Lecompte T., Perrot A., Subrianto A. A novel pull-out device used to study the influence of pressure during processing of cement-based material reinforced

- with coir. *Constr. Build. Mater.* 2015;78:224–233. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2014.12.119.
42. Paul A., Thomas S. Electrical properties of natural-fiber-reinforced low-density polyethylene composites: A comparison with carbon black and glass-fiber-filled low-density polyethylene composites. *J. Appl. Polym. Sci.* 1997;63:247–266. doi: 10.1002/(SICI)1097-4628(19970110)63:2<247
43. Ali M., Liu A., Sou H., Chouw N. Mechanical and dynamic properties of coconut fiber reinforced concrete. *Constr. Build. Mater.* 2012;30:814–825. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2011.12.068. [CrossRef] [Google Scholar]
44. Ali M., Li X.Y., Chouw N. Experimental investigations on bond strength between coconut fiber and concrete. *Mater. Des.* 2013;44:596–605. doi: 10.1016/j.matdes.2012.08.038. [CrossRef] [Google Scholar]
45. Baruah P., Talukdar S. A comparative study of compressive, flexural, tensile and shear strength of concrete with fibres of different origins. *Indian Concr. J.* 2007;81:17–24.
46. Thanushan K., Yogananth Y., Sangeeth P., Coonghe J.G., Sathiparan N. Strength and Durability Characteristics of Coconut Fiber Reinforced Earth Cement Blocks. *J. Nat. Fibers.* 2019:1–16. doi: 10.1080/15440478.2019.1652220.
47. Li Z.J., Wang L.J., Wang X.G. Flexural Characteristics of Coir Fiber Reinforced Cementitious Composites. *Fiber. Polym.* 2006;7:286–294. doi: 10.1007/BF02875686.
48. Sekar A., Kandasamy G. Optimization of Coconut Fiber in Coconut Shell Concrete and Its Mechanical and Bond Properties. *Materials.* 2018;11:1726. doi: 10.3390/ma11091726.
49. Hwang C.L., Tran V.A., Hong J.W. Effects of short coconut fiber on the mechanical properties, plastic cracking behavior, and impact resistance of cementitious composites. *Constr. Build. Mater.* 2016;127:984–992. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2016.09.118.

50. Fang Y., Chen B., Oderji S.Y. Experimental research on magnesium phosphate cement mortar reinforced by glass fiber. *Constr. Build. Mater.* 2018;188:729–736. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2018.08.153.
51. ASTM C109-16 . Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars. American Society for Testing and Materials, ASTM International; West Conshohocken, PA, USA: 2016
52. ASTM C469-14 . Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression. American Society for Testing and Materials, ASTM International; West Conshohocken, PA, USA: 2014.
53. Xu B.W., Lothenbach B., Leemann A., Winnefeld F. Reaction mechanism of magnesium potassium phosphate cement with high magnesium-to-phosphate ratio. *Cem. Concr. Res.* 2018;108:140–151. doi: 10.1016/j.cemconres.2018.03.013.
54. Estabragh A.R., Ranjbari S., Javadi A.A. Properties of Clay Soil and Soil Cement Reinforced with Polypropylene Fibers. *ACI Mater. J.* 2017;114:195–205. doi: 10.14359/51689469. [CrossRef] [Google Scholar]
55. Swamy P.A.V.B. Efficient inference in a random coefficient regression model. *Econometrica.* 1970;38:311–323. doi: 10.2307/1913012.
56. Namsone, Elvija & Šahmenko, Genādijs & Namsone, Endija & Namsone, Eva & Korjakins, Aleksandrs. (2019). RESEARCH ON PROPERTIES OF COMPOSITES BASED ON MAGNESIUM BINDERS. *Environment. Technology. Resources. Proceedings of the International Scientific and Practical Conference.* 1. 192. 10.17770/etr2019voll.4157.
57. E Namsone et al., 2017 IOP Conf. Ser.: mater. Sci. *инж.* 251 012029
58. Namsone, Elvija & Shvetsova, Irina & Šahmenko, Genādijs & Korjakins, Aleksandrs. (2020). Magnesium-Based Binders and its Materials. *Key Engineering Materials.* 850. 305-310. 10.4028/www.scientific.net/KEM.850.305.
59. Namsone, Elvija & Shvetsova, Irina & Šahmenko, Genādijs & Korjakins, Aleksandrs. (2020). Magnesium-Based Binders and its Materials. *Key Engineering Materials.* 850. 305-310. 10.4028/www.scientific.net/KEM.850.305.

60. Jiang Z, Zhang L, Geng T, Lai Y, Zheng W, Huang M. Study on the Compressive Properties of Magnesium Phosphate Cement Mixing with Eco-Friendly Coir Fiber Considering Fiber Length. *Materials (Basel)*. 2020 Jul 17;13(14):3194. doi: 10.3390/ma13143194. PMID: 32708951; PMCID: PMC7411843.
61. Roy D.M. New Strong Cement Materials: Chemically Bonded Ceramics. *Science*. 1987;235:651–658. doi: 10.1126/science.235.4789.651
62. Abdelrazig B.E.I., Sharp J.H., El-Jazairi B. The chemical composition of mortars made from magnesia phosphate cement. *Cem. Concr. Res.* 1988;18:415–425. doi: 10.1016/0008-8846(88)90075-0.