

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

Пояснювальна записка
до кваліфікаційної магістерської роботи
на тему:
**«ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ
КОМПЛЕКСНОЇ ДОБАВКИ НА АДГЕЗІЮ
БЕТОНУ»**

Виконав:	Д.О. Самольотов
студент групи 601-БТ	
спеціальності 192 – будівництво та	
цивільна інженерія, ОП «Технології	
будівельних конструкцій, виробів і	
матеріалів»	
Керівник	О.М. Гукасян
Завідувач кафедри	О.В. Семко
Рецензент	Ю.О. Побуховська

Полтава 2025

ЗМІСТ

ВСТУП	4
РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ.....	5
1.1. Адгезія цементного тіста.....	5
1.2. Структура затверділого каменю	8
1.3. Процес твердіння портланд цементу	12
1.4. Гідратація портландцементу	13
1.4. Цементне тісто.....	15
1.5. Процес тужавіння і тверднення	16
1.6 Міцність цементного каменю	21
1.7. Вплив водо цементного відношення на міцність цементного каменю	27
1.8. Мікроструктура цементного каменю в залізобетонних виробах	28
1.9. Хімічні чинники, що впливають на тужавіння портландцементу	30
1.10. Висновки до огляду літератури	38
РОЗДІЛ 2. МЕТА РОБОТИ.....	40
РОЗДІЛ 3. МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ.....	41
3.1. Планування експерименту	41
3.1. Методика проведення досліду	43
РОЗДІЛ 4.ХАРАКТЕРИСТИКА ВИХІДНИХ МАТЕРІАЛІВ.....	48
4.1 Портландцемент	48
4.2 Хімічні добавки	48
РОЗДІЛ 5. ЕКСПЕРЕМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА.....	50
5.1. Вплив компонентної добавки на адгезію цементного каменя	50
5.2. Вплив компонентної добавки на адгезію цементного каменя при склеюванні зволжених поверхонь	50
5.3. Вплив добавок на адгезію цементного каменю при склеюванні мокрих поверхонь, цемент М400	54
5.4. Вплив добавок на адгезію цементного каменю при склеюванні мокрих поверхонь, цемент М500	57
5.5 Заключення та рекомендації	61

5.6. Технічна характеристика оптимального складу для склеювання бетонних зразків	62
РОЗДІЛ 6. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ.....	63
6.1. Бетонні роботи.....	63
6.2. Порядок виконання робіт	64
6.3. Організація робочих місць	69
ЛІТЕРАТУРНІ ДЖЕРЕЛА	

ВСТУП

У ХХ столітті наука цементу і бетону досягла великих успіхів. Дослідження процесів тверднення цементу розширили наші знання в області складу і структури новоутворень, що отримуються при гідратації цементу, і зокрема гідросилікатів кальцію, які грають велику роль у формуванні цементного каменю з характерними для нього властивостями.

Результати цих досліджень дозволили встановити зв'язок між найважливішими властивостями цементу і бетону. І основні закономірності, що визначають тверднення бетону залежно від виду і якості початкового цементу.

Цінність цементу як будівельного матеріалу визначається його механічною міцністю в затверділому стані.

Швидкість тверднення цементу, початкова і кінцева міцність цементного каменю залежить від дуже багатьох чинників, серед яких важливе значення має використання різноманітних добавок до бетону.

Введення добавок є одним з найтехнологічніших, гнучкіших, доступніших і універсальних способів поліпшення усіх властивостей бетонних сумішей і бетонів і надання їм нових, не характерних для них, а також зниження трудовитрат, витрати цементу, економії енергоресурсів, вдосконалення технології.

В адгезиві, який склеюється при натисненні, діють три сили, завдяки яким відбувається склеювання в складі нашої клейкої стрічки: тужавність, когезія і адгезія. Таким чином дослідження введення комплексної добавки на адгезію цементного тіста є перспективним напрямком дослідження.

РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

1.1. Адгезія цементного тіста

Дослідження по синтезу ефективних хімічних добавок, технології їх застосування і впровадження фундаментальних праць видатних вчених: Юнге, Ребіндера, Бутта, Ратінова, Сичова, Окорокова, Ахвердова, Тейлора, Лі, Людвіга, Лохера, Грудемо, Буднікова, Єршова, Стрелкова, Шестоперова відіграватимуть велику роль в науково-технічному прогресі в області бетоноведення.

Адгезія (прилипання), зчеплення поверхонь різнорідних тіл. Досягається при нанесенні гальванічних і лакофарбових покриттів, склеюванні, зварюванні а також при утворенні поверхневих плівок (наприклад, оксидних, сульфідних).

Клей композиції, що використовуються при з'єднанні різних матеріалів. Дія клею заснована на утворенні між ним і поверхнею, що склеюється адгезійного зв'язку.

Вважається, що механізм адгезії у органічних і мінеральних клеїв однаковий. Органічні клеї мають адгезію, якщо до їх складу входить сполука, що включає полярні функціональні групи. Можна вважати, що і у мінеральних клеїв адгезія пов'язана з присутністю в їх складі активного початку - полярних груп.[50]

Слід підкреслити, що для прояву адгезії потрібний тісний контакт між склеюваним матеріалом і клеєм, забезпечуваний рідиною. Рідина збільшує площу контакту і створює умови «рухливості» часток клею. Хороше змочування забезпечується властивостями рідини і поверхні, що змочується. При використанні мінеральних в'язучих систем зазвичай доводиться мати справу з твердими тілами, що мають іонні ґрати (кристалами). Такі кристали добре змочуються полярними рідинами. Отже, в якості дисперсійного середовища повинні служити полярні рідини - вода, водні розчини. Саме тому так поширені гідратаційні в'язучі речовини.

Цементуючі властивості вяжучих систем пов'язані з утворенням гідратів, а цементами можуть бути з'єднання, здатні при взаємодії з водою утворювати гідрати. [50]

Під в'язучими властивостями слід розуміти прояв в процесі роботи дисперсної системи - цементного тіста - здібності до твердіння, що супроводжується адгезією. Твердіння - перетворення дисперсної системи на каменеvidне тіло неможливе без зближення часток і підвищення концентрації твердої фази, бо перетворення на моноліт пов'язане з виникненням межагративних контактів, для чого частки цементного тіста мають бути зближені. Такий стан тужавіючого цементного тіста називається стиснутим. [50]

Особливий склад новоутворень в тужавіючих дисперсних системах(гідратів) обумовлений зв'язуванням полярної рідини замішування. Тому полярність дисперсійного середовища потрібна не лише для хорошого змочування - з нею пов'язано формування новоутворень специфічного складу, що підвищує в цілому адгезійні властивості цементного тіста. Проте утворення в дисперсній системі такої фази ще недостатньо для формування структури тверднення. Формування цієї структури іноді зводять до утворення зв'язку між макрочастками під впливом поверхневих валентних сил. Валентні сили - ближньодіючі, і вони навряд чи можуть проявитися на агрегатному рівні(у разі зрощення кристалів) без додаткових умов. Оскільки синтез твердого тіла(твердіння) конденсацією дисперсних систем відбувається в результаті явищ, що протікають на агрегативном рівні, то для конденсаційних явищ на надмолекулярному рівні, незалежно від природи сил, що визначають конденсацію, потрібне досягнення " обмеженості" в процесі роботи в'язучої системи - цементного тіста. "Обмежені умови" - це зближення часток на відстані, при яких вже можливий прояв сил більше дальнодіючих, ніж валентні, що і призводить до утворення структури тверднення. Обмежені умови забезпечуються початковою високою концентрацією дисперсної фази(високим значення Т/Р) і хімічним зв'язуванням рідини замішування, яка повинна поставляти новоутворенням полярні групи. Проте тільки хімічне

зв'язування рідини замішування, виявляється, не забезпечує потрібного зближення на агрегатному рівні, рідині - адсорбція новоутвореннями води і перехід води в плівковий стан. Тому новоутворення повинні, крім того, мати високу дисперсність, що і забезпечує фізичне зв'язування води.

Таким чином, виходячи з уявлень про твердіння як перетворення дисперсної твердо-рідкої системи в міцну інтерфазну структуру з різнорідних часток, з посилки, що структура тверднення утворюється тільки у тому випадку, якщо дисперсна система досягла обмеженості, при якій можливі взаємодії різної природи і виникнення контактів на агрегативному надмолекулярному рівні, а також враховуючи роль полярного середовища і полярних груп в твердінні і адгезії і сформульовані наступні умови прояву склеювальних(в'язучих) властивостей.

1. Дисперсні системи мають в'язучі властивості, якщо рідина замішування(розчинник) полярна, а фаза, що утворюється, містить полярні групи - аквакомплекси, сольваток комплекси або інші функціональні полярні групи. Це визначає хімічні аспекти тверднення і дозволяє створити основи прогнозування в'язучих систем, оскільки обумовлює можливість прояву системою як твердіння, так і адгезії. Хімічний аспект першої умови - реалізація зв'язку при утворенні в системі комплексних з'єднань складного складу(гідрата) - різноманітний. Вхідження полярних молекул, як і інших полярних груп, в структуру кристала забезпечує не лише адгезію клею, але і надає, мабуть, специфічні властивості кристалам: вони проявляють активність в порівнянні з кристалами, що не містять цих груп. В результаті хімічного і фізичного зв'язування розчинника і появи в системі обмежених умов ця активність проявляється у взаємодіях на агрегатному рівні, які призводять до твердіння цементного тіста. Отже, комплексоутворення(гідрато-утворення, сольватоутворення) в гетерогенних взаємодіючих і тверднучих системах є принциповим, оскільки:

а) в результаті зв'язування рідини приводить систему в обмежені умови, підвищуючи концентрацію дисперсної фази за рахунок новоутворень з

високою питомою площею поверхні в умовах дефіциту рідини, що збільшується;

б) грає істотну роль у взаємодії часток дисперсної фази, що містять полярні групи, і виникненні контактів різної природи, включаючи і кристалізаційні;

в) залежно від положення води(чи іншої полярної групи) в структурі комплексу, міри її поляризації при різній силі поля катіона і аніона міняються властивості комплексу, а це відбивається на властивостях каменю, включаючи і фізико-механічні.

1.2. Структура затверділого каменю

Для структури затверділого цементного каменю характерні кристалізаційні контакти. Кристалізаційні контакти мають валентну природу і виникають під впливом ненасичених поверхневих валентних сил. Відомо так само, що контакти на агрегативном рівні можуть виникати якщо процес протікає досить повільно, тому не утворення кристалізаційних контактів повинне визначати тривалість схоплювання і твердіння. З цих же позицій кристалізаційні контакти - це, мабуть, вторинні контакти, що виникають вже після твердіння. Дійсно, як вже відзначалося, валентні поверхневі сили (а тільки під впливом таких сил можлива поява таких кристалізаційних містків між кристалами або зрощеннями кристалів) - ближньодіючі, адсорбційні шари перешкоджатимуть їх прояву. Потрібні інші, більше дальньодіючі сили, щоб частинки дисперсної фази могли контактувати на агрегативному рівні і вже в подальшому проявлялися валентні поверхневі сили. Кристалізаційна теорія не розглядає природу таких сил. Слід враховувати, що кристали можуть зростатися, якщо вони правильно взаємно орієнтовані - вірогідність того, що дрібні кристали в регулярній позиції влаштуються до поверхні зростаючого кристала дуже мала, тим більше що дрібні кристали з потрібним орієнтуванням на межі розділу мають дуже малий час життя. Це також

відноситься до можливості зрощення кристалів, що вже вирости. Зрощення кристалів з неправильною взаємною орієнтацією може відбуватися лише у виняткових випадках. Ситуація, коли кристали, що ростуть в системі, орієнтовані між собою правильно, дещо сприятливіша для їх зрощення. Проте ймовірно зіткнення кристалів з неправильною взаємною орієнтацією більше вірогідності зіткнення правильно орієнтованих кристалів.

Коагуляційні контакти є первинними контактами на агрегативному рівні. Проте коагуляційні контакти необумовлюють властивості тужавіння систем, зокрема втрати її тиксотропності, і тому не вони визначають другий етап структуроутворення. Природно припустити наявність проміжних контактів іншої природи, чим коагуляційні і кристалізаційні.

Момент утворення структури тверднення у водосольових в'язучих системах співпадає з переходом значної частини хімічно не зв'язаної води в плівковий структурований внаслідок адсорбції стан, внаслідок чого в системах знижується діелектрична проникність. Таким чином, можна вважати, що це загальна властивість тверднучих систем. Якщо цементне тісто розбавити до концентрації 1/3, то вона втрачає здатність твердіти. Було помічено, що якщо система розбавлена, падіння діелектричної проникності в ній не спостерігається, хоча процеси гідратування відбуваються.

Механізм твердіння можна представити таким чином: Внаслідок зв'язування рідини утворюється фаза, що містить полярні групи, поява якої і визначає можливість переходу дисперсної структури в камінь. Перехід значної частини води в плівковий стан пов'язаний з високою питомою площею поверхні нової фази і супроводжується падінням в системі діелектричної проникності. Рухливість структурних елементів гідратів у момент їх утворення призводить до формування інтенсивної дипольної структури.

Структуроутворення в цементному тісті проходить два етапи - утворення первинної структури (гідросульфатоалюмінатного каркаса і утворення вторинної структури - гідросилікату) Період існування первинної структури складає близько 3 діб, потім починається перехід до структури, в якій головну роль грає щільний гель гідросилікату.

А.А. Байков одним з перших звернув увагу на те, що утворення кристалізаційних контактів - це перетворення в гелі гідросилікату. Перехід метастабільного гелю в стійкіший стан відбувається досить повільно і повільне зрощення кристалів сфер гелів, що перекриваються, є основним механізмом утворення кристалізаційних контактів між агрегатами. Зрощення кристалів в цьому випадку можливе завдяки досить повільному протіканню процесу.

Уявлення про гідратаційне тверднення в'язучих включає положення про рідкофазний механізм гідратації і основну увагу приділяють визначенню фізико-хімічних умов утворення конденсаційно-кристалізаційних структур[46]. Провідною умовою є пересичення водного середовища продуктами гідратації, що створюється розчиненням безводних в'язучих. Підвищення міцності дисперсної структури тверднення досягається регулюванням міри і тривалості існування пересичення шляхом варіації дисперсності початкового в'язучого, добавок електролітів, а так само виконанням інших умов, що дозволяють змінювати співвідношення швидкостей розчинення і кристалізації(що особливо істотно в контактах зрощення). [46]

Відомо, що для виникнення кристалізаційних контактів потрібне поєднання певного пересичення в довкіллі і механічних зусиль, що утримують кристали в певному фіксованому один відносно одного положенні. Такі зусилля можуть бути слідством або тиску прикладеного ззовні, або тиску що розвивається в процесі спрямованого зростання кристалів усередині кристалізаційної сітки, що вже сформувалася.

Відповідно до сучасних поглядів зародки нової фази виникають в пересиченому розчині в результаті флуктуаційного ущільнення розчиненої речовини, на поверхні підкладок можуть бути утворюватися двомірні, а в об'ємі розчину - тримірні зародки. [41]

Клінкерні мінерали при гідратації схильні до полімеризації і утворення колоїдів. Гідрогель суміші цемент - вода є гетерогенною сумішшю декількох фаз. Фаза гелю С - S – Н [39] практично повністю, а дві інші фази СН і САН в основному представлені частками колоїдних розмірів. [39]

Кінетика гідратації клінкерних мінералів описується в основному S образною асиметричною кривою, [58] на якій чітко виділяються періоди прискорення і уповільнення реакцій. Термокінетичні закономірності гідратації C_3A і C_4AF значно розрізняються за характером і основним параметрам. З'єднанню C_3A властива відсутність індукційного періоду, що свідчить про швидке утворення великої кількості зародків, що формують практично суцільний фронт реакцій. Із зростанням температури вид кінетичної гідратації не міняється у відмінності від C_4AF , для якої тривалість індукційного періоду різко скорочується, а при $60^\circ C$ цей період зникає. [58]

Дослідження впливу виду катіона ряду сульфатних солей на кінетику гідратації мінералів цементного клінкеру дозволило встановити деякі загальні закономірності. Для C_3S спостерігалось різке зростання першого екзотермічного ефекту при введенні сульфатних солей, гідроліз яких забезпечує кисле середовище. По впливу катіонів на величину першого екзотермічного ефекту їх слід розташувати в такий ряд: $Fe^{3+} > Al^{3+} > Ni^{2+} > Mg^{2+} > Ca^{2+} > K^+, Na^+$. [58]

Реакції, що протікають, в індукційний період роблять вплив на подальший хід процесу. Гідролізуючі солі призводять до зменшення величини другого екзотермічного ефекту, тоді як сульфату лужних металів, практично не роблячи впливу на величину першого екзотермічного ефекту, значно збільшують швидкість гідратації в основному періоді. При дослідженні кінетики гідратації C_3S в розчинах сульфатів різної концентрації в індукційний період зроблений висновок про те, що відносна величина частини сульфату, що прореагувала, зменшується із зростанням концентрації електроліту. Величина рН середовища не робить істотного впливу на величину першого екзотермічного ефекту. [58]

Дію електролітів треба оцінювати як по їх дії на рідку фазу, що міняє розчинність в'язучого, так і по здатності утворювати важкорозчинні продукти (гідросульфоллюмінати, гідрохлоралюмінати і так далі). Проте гідролізующіеся солі викликають велике уповільнення реакцій в основному періоді. [58]

1.3. Процес твердіння портланд цементу

Портланцемент, видержаний при звичайних температурах потрапляє в 2 групу цементів, дія яких майже повністю обумовлена освітою колоїдних продуктів, т.е тоберморитового гелю. Є пропозиції, що найбільша міцність виходить при утворенні максимальної кількості кристалічного тоберморита або при оптимальному співвідношенні кристалічних і колоїдних складових. Таким чином тверднення може бути пов'язане з утворенням як кристалічних так і колоїдних продуктів або продуктів обох типів.

У 1893г. Михаеліс пояснив тверднення гідравлічних цементів утворенням гелю. Коли гель утворюється, він пластичний і містить багато води. Сучасні погляди показують, що подібний гель можна розглядати як масу дуже дрібних зрощених між собою кристалів.

Першим результатом змішування цементу з водою є утворення дисперсної системи. Для отримання тесту необхідно, щоб В/ц було 0,3-0,7. При цьому забезпечується нещільна упаковка зерен цементу. В результаті взаємодії з водою на кожному зерні утворюється поверхневий шар новоутворень гідратів. На цій стадії частки новоутворень мають в основному колоїдні розміри(10-1000Å)

В відповідності з даними різних авторів співвідношення C/S і H/S можуть коливатися в проміжках відповідно від 1,5 до 3 і від 1 до 3,84. В загалом було підтверджено, що збільшення співвідношення C/S веде до збільшення співвідношення H/S. Розбіжності можуть бути пояснені неоднаковими умовами гідратації, а також методами встановлення вільної гідроокисі кальцію, зв'язаної води і силікатів кальцію, ще не прореагували. Що стосується складу розглядуваних фаз, то дуже важливо враховувати, що C – S – H-фази можуть включати різні сторонні іони. Було знайдено, що до 1/6 двоокису кремнію може бути заміщено сульфатом, алюмінієм чи залізом. При цьому 74% алюмінія, 50% заліза і 100% сульфату можуть заміщувати SiO₂, а остальні частки алюмінію і заліза можуть заміщати іони кальцію. Встановлено, що щелочі оксид магнію і хлорид-іон можуть входити в C – S –

Н-фазу, що веде до зміни морфології, співвідношення C/S і H/S і, в решті решт зміни міцності магній може міститися в невеликих кількостях в кристалах 11\AA тобермориту і 1.6% SO_3 . В структурі гідросилікатів сульфатний компонент може бути зв'язаним таким чином, що іон S^{+6} заміщає групу $\text{Si}^{+4}+2\text{H}^+$.

1.4. Гідратація портландцементу

Хімічне походження речовини, що називається цементним тістом і фізико-хімічні процеси його утворення мають велике значення для вивчення його фізико-хімічних властивостей, які визначають майже всі сторони технології бетону.

Протягом короткого періоду часу після початку взаємодії між цементом і водою відбуваються порівняно швидше хімічні реакції. Потім настає триваліший період слабкої активності, який дістав назву скратого(чи періоду спокою). Зазвичай при кімнатній температурі він триває від 40 до 120 хв. залежно від властивостей цементу.

Фізичні характеристики замісу свіжого тіста залежать від того, як воно приготоване. Тісто, приготоване шляхом обережного перемішування, залишається жорсткішим, ніж отримане за допомогою енергійного механічного перемішування. Сухий цемент, який зазвичай знаходиться в стані, що злежався, очевидно, не диспергує досить рівномірно при простому зволоженні. Для отримання однорідного тіста з мінімальною жорсткістю потрібна високоефективна лабораторна мішалка.

Велике значення має тривалість перемішування. Якщо воно триває всього 30 сек або менше, тісто твердне незабаром після припинення перемішування. Стейнор назвав це явище "коротким тужавінням" (тужавіння в результаті занадто короткого перемішування). Він вважає, що причиною "короткого тужавіння" є склеювання зерен цементу гелем, що утворюється на поверхнях. Але навіть у тому випадку, коли тривалість перемішування досить велика, щоб попередити "коротке тужавіння", не виключена небезпека

пооялення неправдивого тужавіння із-за занадто короткочасного перемішування тісту. Тому рекомендується при зачинненні цементу в лабораторних умовах робити перемішування з паузою, тривалість якої визначається досвідченим шляхом для кожного цементу.

Якщо не рахувати питань, пов'язаних з хибним тужавінням, режим часу і способи перемішування відносяться до проблем лабораторного порядку. У нормальних польових умовах перемішування навряд чи може бути настільки короткочасним, щоб виникла небезпека "короткого тужавіння". Маса заповнювачів, що рухається, у бетономішалці "гомогенізує" тісто на менш ефективно, чим найенергійніше перемішування в лабораторній мішалці.

Для з'ясування залежності між структурою і механічною міцністю слід також встановити, чи є присутність в структурі тісту кристалічних елементів якої-небудь однієї форми(наприклад, волокон) сприятливішою для розвитку міцності в порівнянні з іншими формами. Дані з цього питання, приведені в літературі, дуже суперечливі. Так, наприклад, одні автори повідомляють, що тісто, що містить продукти гідратації у вигляді добре кристалізованих тоберморитових пластинок, має підвищену міцність, тоді як тісто, що складається з волокон або викривлених листочків, має гірші гідравлічні властивості. У інших повідомленнях вказується, що в тісті, що має високу механічну міцність, серед продуктів гідратації спостерігалися висококолоїдні структури. У третьому випадку висока механічна міцність зв'язується з присутністю продуктів гідратації, що мають волокнисту структуру, а причиною падіння міцності вважається рекристалізація структури. Абсолютно очевидно, що такі чинники, як початкове В/Ц, пористість, умови перемішування, режим тверднення та ін., впливають на кінцеву міцність не у меншій мірі, чим контури часток гелю. Але для подальшого успішного тіста необхідно сформулювати деякі основні теоретичні положення про роль форми і розмірів часток гелю.

1.4. Цементне тісто

З часу конгресу в Токіо були проведені численні дослідження з морфології і мікроструктурі С - S - Н з цементного тесту, але ці дослідження дають мало даних по структурі в її кристалохімічному аспекті. С - S - Н зустрічається в декількох різновидах; причому різниця має бачити зроблено в першу чергу між «внутрішніми» продуктами гідратації, що утворюються в просторіа може бути і в С - S - Н з цементного тесту, а така екстраполяція необов'язково є коректною. С - S - Н (I), можливо, не особливо близько пов'язаний з яким-небудь компонентом затверділого цементного тесту, хоча іноді щось нагадує це з'єднання може утворюватися в якості проміжного продукту. Як зазначалося раніше, голки, можливо, являють собою погано Закристалізований форму фази С - S - Н (II), яка була описана вище. Найбільш надійною гіпотезою щодо матеріалу, який заповнює сітку, утворену голками, є гіпотеза, запропонована на конгресі в Токіо. Відповідно до зазначеної гіпотезі структура цього матеріалу в основному складається з листків складу CaO_2 , в яких атоми кисню на обох поверхнях утворюють частині силікатних іонів різного ступеня конденсації, OH^- і SO_4 -іонів, а також Al і Fe-вмісних комплексів, причому всі ці види структурних угруповань розташовані вкрай неупорядковано. Ці шари (листи) можуть бути розділені молекулами H_2O і додатковими іонами кальцію, але можливість скріплення проміжків між ними силікатними ланцюгами не виключається. Внутрішній продукт гідратації, можливо, структурно подібний матеріалу, заповнює розглянуту вище сітку, але не обов'язково має той же склад. Його склад, ймовірно, повинен бути ближче до складу безводної фази, яку він заміщає. Для матеріалу, що заповнює сітку, і внутрішніх продуктів гідратації відношення С / S може мати будь-яке значення, приблизно від 0,5 до дуже великого, оскільки не можна зробити якого-небудь чіткого відмінності між С - S - Н і погано Закристалізований $\text{Ca}(\text{OH})_2$, що містить випадкові силікатні іони. Це може бути пов'язано з високим відношенням С / S, знайденим Дайамонд, хоча зміст кристалічного $\text{Ca}(\text{OH})_2$, знайденого в цементному тесті, по-видимому, виключає можливість

того, що ці високі відносини можуть характеризувати якусь значну фракцію цього матеріалу. Подібне уявлення про цементному тесті абсолютно виключає використання таких термінів, як тоберморитовий гель або тоберморит, які, на думку автора цієї доповіді, є помилковими і не повинні бути використані.

На швидкість гідратації C_3S впливають електроліти та органічні добавки. Значно прискорюють гідратацію хлориди, броміди, сульфати, нітрати, хромати лужних і лужноземельних металів. Сповільнюють гідратацію $Ca(OH)_2$, а також фториди, фосфати й солі, катіони яких утворюють нерозчинні гідроксиди. Більшість органічних добавок сповільнює гідратацію. Прискорення гідратації при наявності домішок пояснюється зменшенням тривалості індукційного періоду через інтенсивніший процес утворення зародків, сповільнення гідратації викликається гальмуванням процесу утворення зародків. Введення затравок прискорює гідратацію, але не впливає на міцність C_3S .

Серед основних продуктів гідратації клінкерних мінералів розрізняють гідросилікати кальцію, гідроалюмоферити і гідросульфоалюмоферити кальцію і вільний гідроокис кальцію.

1.5. Процес тужавіння і тверднення

Процес тужавіння і тверднення. Реакції, що відбуваються при тужавні цементу, можуть бути представлені в наступному виді. Цементні зерна під дією води утворюють пересичений розчин, з якого виділяється гелевидна маса кристалів. Відому роль, особливо на подальших стадіях гідратації, повинна грати також дифузія молекул води до поверхні або навіть всередину кристалічної решітки з подальшою місцевою реакцією. Якщо серцевина цементного зерна, що не прореагувала, оточена продуктами гідратації, вода може проникнути до неї лише шляхом дифузії через поверхневу плівку. Ступінь гідратації під час тужавіння. Ступінь гідратації C_3A найбільша з 4-х клінкерних мінералів досягає від 10 до 30% за 3 хв., феритних фаз від 8 до 20% за 3 хв., аліт – декілька % за 3 хв., близько 10% після 5 годин; 40-70% за добу; 80-100% за 28 діб. Ступінь початкової гідратації C_3S збільшується при

додаванні гіпсу. Оптимальний вміст гіпсу сприяє досягненню максимальної міцності шляхом прискорення гідратації елітової фази. Поки цементне тісто знаходиться в пластичному стані, воно повільно стискається, тому що при гідратації відбувається зменшення об'єму системи цемент + вода. Коли маса стає жорсткою, настає невелике розширення, тому що навколо цементних зерен утворюється маса гелю, внаслідок чого вони розбухають і починають давити на навколишню речовину.

Кількість гелю поступово збільшується, і він проникає в простір між зернами.

Цементний гель, очевидно, утворюється спочатку в нестійкому стані; при цьому волокнисті кристали часток гелю або самі частки займають великий об'єм і включають більше води, ніж в стійкому виді. Таким чином, гель має постійну тенденцію до усадки і до віддачі деякої кількості води, що міститься в ньому. У воді скільки-небудь помітної усадки гелю не відбувається; очевидно, вона компенсується постійною гідратацією цементу, що ще не гідратувався. При висиханні тужавіючого цементу, в ньому відбувається безповоротна усадка і зменшення вмісту води у міру переходу гелю в стійкішу форму. В цьому випадку розширення при подальшому зволоженні і повторне поглинання води стають оборотними явищами і повторюються під час послідовних циклів зволоження і висихання. При тривалішому зберіганні у вологих умовах може статися подальша повільна зміна у зв'язку із зростанням кристалів.

Цементний гель – це жорстка речовина, що займає майже в 2,2 рази більше місця, ніж цемент з якого він виготовляється. Його пористість складає приблизно 28%, а середня величина пор складає 18 Å, що майже в 5 раз перебільшує діаметр молекули води. Є дані, що частинки геля дотикаються між собою в багатьох точках і що деякі з цих точок контакту хімічно пов'язані.

Цементний гель – це один з компонентів цементного тіста. Другим компонентом є остаточний простір, першопочатко заповнене водою і не заняте гелем. Це пространство називається капілярами або капілярними просторами. Властивості цементного геля і ступінь його «розбавлення капілярними

пустотами», а також поведінка води в порах гелях и в капілярах – всі ці фактори визначають важливіші властивості бетона.

Затверділе цементне тісто складається з безлічі фаз : продукти гідратації, що не прореагували частки цементу, рідка фаза і адсорбційна вода або вода, що міститься в порах.

Кінетика і механізм гідратації цементу змінюються у міру проходження реакції гідратації. Існує 5 стадій реакції гідратації.

I - стадія, під час якої реакція протікає негайно при контакті з водою.

II - стадія, що відповідає так званому прихованому періоду, при якій швидкість реакції дуже мала.

III - стадія, на якій реакція відбувається дуже швидко, прискорюючись з часом.

IV - стадія зменшення швидкості реакції після закінчення найактивнішої стадії реакції

V - стадія ще більшого уповільнення швидкості.

Увесь процес можна розбити на 3 періоди. Стадія I і II відповідають періоду індукції III - періоду прискорення; IV, V - період загасання.

Згідно теорії тверднення через розчинення період індукції можна розглядати як час, передування утворенню зародків продуктів гідратації. З точки зору топомічної теорії період індукції викликається утворенням захисного шару на поверхні зерен, що не прореагували.

При гідратації беліта і аліта - найбільш важливих фаз по...цементного клінкеру - реакція протікає за схемою:



Часто продукти реакції представляють у вигляді гідросилікатів загальної формули:

$\text{X CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot \text{Y H}_2\text{O}$ зі змінним молярним відношенням $\text{X}=\text{CaO}/\text{SiO}_2$ і $\text{Y}=\text{H}_2\text{O}/\text{SiO}_2$. С - S - Н I має $\text{X}=0,1 \dots 1,5$ їх структура має вид деформованої фольги і С - S - Н II з $\text{X}>1,5$ - волокниста гофрована структура.

Із зростанням температура і концентрація Ca(OH)_2 в рідкій фазі основність гідросилікатів кальцію має поточну до деякого підвищення. Проте усі гідросилікати є сімейством тоберморитових (чи тоберморітоподібних) фаз.

Є точка зору, згідно якої існування гідросилікатів кальцію змінної основності обумовлене утворенням тісних сумішей з C_3S I і C_3S II.

Нарешті є вказівки, що основність гідросилікатів кальцію зменшується в процесі гідратації C_3S і C_2S , очевидно, внаслідок зміни концентрації гідроксиду кальцію в рідкій фазі.

Частка Ca(OH)_2 , що виникають при гідратації $\beta\text{C}_2\text{S}$ і особливо C_3S не впливають скільки-небудь істотно на механічні показники цементного каменю. Проте наявність гідроксиду кальцію в твердій фазі і ті, що C_3S при взаємодії з водою утворює розчини сильніше пересичені по відношенню до Ca(OH)_2 великою мірою визначає рН середовища і відповідно стійкість з'єднань гідратів, у відомій мірі - їх основність, а рівно і основності подвійних солей, кристалізуючих у присутності ряду добавок.

Різні безводні силікати і алюмінати кальцію істотно відрізняються здатністю взаємодіяти з водою при звичайних температурах. Так C_3S і C_3+ активно реагують з водою і мають високу гідравлічну активність. $\beta\text{C}_7\text{S}$ взаємодіє з водою повільно. $\gamma\text{C}_2\text{S}$ - фактично інертний.

Портланцемент, видержаний при звичайних температурах потрапляє в 2 групу цементів, дія яких майже повністю обумовлена освітою колоїдних продуктів, т.е тоберморитового гелю. Є пропозиції, що найбільша міцність виходить при утворенні максимальної кількості кристалічного тоберморита або при оптимальному співвідношенні кристалічних і колоїдних складових. Таким чином тверднення може бути пов'язане з утворенням як кристалічних так і колоїдних продуктів або продуктів обох типів.

У 1893г. Михаеліс пояснив тверднення гідравлічних цементів утворенням гелю. Коли гель утворюється, він пластичний і містить багато води. Сучасні погляди показують, що подібний гель можна розглядати як масу дуже дрібних зрощених між собою кристалів.

Першим результатом змішування цементу з водою є утворення дисперсної системи. Для отримання тесту необхідно, щоб В/ц було 0,3-0,7. При цьому забезпечується нещільна упаковка зерен цементу. В результаті взаємодії з водою на кожному зерні утворюється поверхневий шар новоутворень гідратів. На цій стадії частки новоутворень мають в основному колоїдні розміри(10-1000Å)

В відповідності з даними різних авторів співвідношення C/S і H/S можуть коливатися в проміжках відповідно від 1,5 до 3 і від 1 до 3,84. В загалом було підтверджено, що збільшення співвідношення C/S веде до збільшення співвідношення H/S. Розбіжності можуть бути пояснені неоднаковими умовами гідратації, а також методами встановлення вільної гідроокисі кальцію, зв'язаної води і силікатів кальцію, ще не прореагували. Що стосується складу розглядуваних фаз, то дуже важливо враховувати, що C – S – H-фази можуть включати різні сторонні іони. Було знайдено, що до 1/6 двоокису кремнію може бути заміщено сульфатом, алюмінієм чи залізом. При цьому 74% алюмінія, 50% заліза і 100% сульфату можуть заміщувати SiO₂, а остальні частки алюмінію і заліза можуть заміщати іони кальцію. Встановлено, що щелочі оксид магнію і хлорид-іон можуть входити в C – S – H-фазу, що веде до зміни морфології, співвідношення C/S і H/S і, в решті решт зміни міцності магній може міститися в невеликих кількостях в кристалах 11Å тоберморіту і 1.6% SO₃. В структурі гідросилікатів сульфатний компонент може бути зв'язаним таким чином, що іон S⁺⁶ заміщає групу Si⁺⁴+2H⁺.

Гідросилікати кальцію мають кристалічну структуру (тоберморитоподібну). Вони включають, як чітко виражені з'єднання кристалічної структури, так й погано закристалізовані речовини. Якщо реакції гідратації відбуваються при температурі нижче за 100С, то виникають, як правило погано закристалізовані новоутворення.

В затверділому цементному тісті зустрічаються гідросилікати, які характеризуються різним ступенем закристалізованості. Ступінь закристалізованості, у свою чергу, залежить від кількості порового розчину і виду розчинених в ньому іонів[33].

На початку «періоду спокою» правильно приготоване тісто являє собою щільну суспензію частинок в флокулентному (пластівцеподібному) стані.

Механізм гідратації. В цілому механізм гідратації можна уявити наступним чином: одразу після додавання води до цементу утворюється поровий розчин, який перенасичений відносно гідроксиду кальцію, вміщує іони сульфату і лугів, а також невелику кількість кремнезему SiO_2 , глинозему Al_2O_3 і заліза. З цього розчину в якості первинних новоутворень осаджуються еtringіт і гідроксид кальцію. Приблизно через годину починається друга стадія гідратації, в ході якої спочатку утворюються дуже дрібні гідроксилікати кальцію. С – S – Н (I) з пониженим вмістом вапна, це підвищує міцність в перші терміни твердіння. Коли ж на пізніших стадіях гідратації утворюються багатий вапном С – S – Н (II), швидкість гідратації зменшується. Звідси міцність цементного каменю через 28 діб підвищується.

Гідроксилікати кальцію мають кристалічну структуру (тоберморитоподібну). Гідроксилікати кальцію відіграють суттєву роль в реакції гідратації портландцементу, вони включають як чітко виражені з'єднання.

1.6 Міцність цементного каменю

Цінність цементу, як будівельного матеріалу визначається в першу чергу через його механічну міцність у затверділому стані.

Міцність – найважливіша властивість цементного каменю весь час зростає, що обумовлює підвищення довговічності матеріалів і виробів. Разом із тим міцність цементного каменю залежить від багатьох факторів і її не можна зв'язати тільки з одним із них

Основні фактори:

- 1) мінералогічний склад клінкеру
- 2) тривалість твердіння
- 3) водоцементне відношення
- 4) ступінь ущільнення цементного тіста при укладанні
- 5) тонкість помелу цементу

- 6) спосіб підготовки цементного тіста
- 7) умови твердіння, що визначаються середовищем оточення (вологість, температура і атмосферний тиск, хімічний склад середовища, радіація, електромагнітне поле, гравітаційне поле, вид і кількість введених добавок).

Цемент гідратується на глибину 0,5 мкм через 24 години після замішування, на 1,7 мкм – через 7 днів, на 3,5 мкм – через 28 днів твердіння. Якщо прийняти, що висота шару новоутворень дорівнює висоті голчастого кристалу, тобто близько 500 Å, то за першу добу часточки цементу отримують 10 шарів новоутворень. Через 7 днів кількість шарів досягне 35, тобто за добу кристалізується 4 шари, а до 28 – 70 шарів (1,5 шари за добу)

Таким чином, питома поверхня новоутворень в добовому віці складає 40 м²/г, через 7 днів – 126 м²/г, через 28 днів – 251 м²/г, а це гарантія прояву адгезійних властивостей цементного тіста.

Властивості гідратів C₃S і C₂S визначають й властивості цементів.

Питома поверхня алітових цементів після досягнення максимуму при повній гідратації з часом стає стабільною, а питома поверхня низько термічною білітового цементу з часом зменшується.

Характер зміни структури каменю в процесі гідратації мінералів і цементу з часом починають змінювати характеристики міцності.

Загальною властивістю міроструктур цементного каменю є велика питома поверхня новоутворень, яка забезпечує міцність за рахунок поверхневих сил тяжіння в початковий період твердіння. Однак поверхневі сили тяжіння, що виникають здатні забезпечувати міцність каменю тільки до певної межі. Руйнування каменю відбувається в основному між кристалогідратами – лусками, сили Ван-дер-Вальса між якими значно нижче ніж голчастими кристалами, що складають луски. За рахунок полімеризації гідро кристалів кальцію і збільшення числа атомів в молекулі сили Ван-дер-Вальса зростають, але вони сприяють зміцненню зв'язку тільки між голчастими кристалами, а не між лусками. Такий вплив адсорбційних гідратних сполук на

міцність цементного каменю. Однак не менший вплив на міцність має взаємна орієнтація і розмір кристалічних блоків (текстура каменю).

Впливом текстури цементного каменю пояснюють великою різницею міцністю каменю при стиску, згині і розтягу.

Цементний камінь має блочно-ритмічну структуру, складений із окремих блоків-агрегатів, що мають шарувату будову. Шари, у свою черг, формуються з лускатих полікристалів. Подібна структура легко розшаровується при згині і розривається при розтягу. При стиску до певного моменту відбувається ущільнення цементного каменя завдяки зближенню шарів один до одного. При цьому в окремих блоках, де шари спрямовані паралельно руйнуючому навантаженню, можливе сковзання одного шару по другому. Таке ущільнення приводить до збільшення міцності матеріалу (на деякий час) і швидкому наступному його руйнуванню (руйнацію цементного каменя «із вибухом» можна часто спостерігати під час випробувань цементних і бетонних зразків-кубиків).

Як вже вказувалося, зростання міцності цементу визначається головним чином його складом, тонкістю помелу, температурою твердіння, а також добавками (якщо вони застосовані). Разом з тим кінцева міцність затверділого цементного тесту, що досягається при повній гідратації, більшою мірою залежить від його пористості. Дослідження, виконані з затверділим цементним тістом і зі зразками, відформованим з цементу, прогідратованного в бутлях, показали, що модуль пружності зразків з пористістю нижче 40 об'ємних % визначається лише величиною загальної пористості і не залежить ні від виду використаного матеріалу, ні від способу виготовлення зразків. З цими даними узгоджуються нещодавно опубліковані результати робіт, які встановили, що затверділе цементне тісто і зразки, спресовані з продуктів гідратації цементу при нормальній і підвищеній (100-250 ° C) температурах, характеризуються аналогічною кореляцією між межею міцності при стисненні і пористістю. Таким чином, ці дані свідчать про те, що не містить пір тверда речовина затверділого цементного тесту володіє практично однаковою міцністю. Такий висновок, однак, справедливий лише в певних межах. Згідно зі

спостереженнями за розчином і бетоном, що розвивається даними цементом кінцева міцність залежить не тільки від обсягу пір в затверділому цементному тесті, але і від складу цементу і умови гідратації. Так, цементи з підвищеним вмістом трьохкальцієвого силікату твердіють швидше, але досягають меншої кінцевої міцності завдяки меншому вмісту гідросилікатів кальцію, що впливають на міцність, ніж цементи з підвищеним вмістом двокальцієвого силікату. На міцнісні показники цементу можуть впливати такі другорядні його складові, як луки, наявність уповільнюючих або прискорюючих добавок, а також температура в процесі реакцій гідратації. Якщо процес гідратації сповільнюється, то внаслідок повільного утворення продуктів гідратації є достатня простір для загальмованого росту кристалів, тому утворюється більша кількість довговолоконистих гідросилікатів кальцію. Отже, повільна гідратація цементу сприяє утворенню такої структури тесту яка характеризується великою кількістю зчеплених між собою довгих волокон гідросилікатів кальцію. При тій же ступені гідратації та пористості ця структура має більшу міцність, ніж отримана при швидкій гідратації цементу структура, що складається з коротких волокон. Для забезпечення хорошого зчеплення з допомогою довгих волокон гідросилікатів кальцію необхідно, щоб між зернами цементу була відносно мала відстань, тому що в протилежному випадку навіть довгі волокна не зможуть пронизати повністю пори. Тому навіть довгі волокна можуть брати участь у формуванні міцності лише в тому випадку якщо водоцементне відношення досить низьке і, отже, пори настільки малі, що їх можуть пронизати повністю ці волокна. Таким чином, розмір волокон гідросилікату кальцію важливий для міцності матриці тесту. Тому хороша когезія продуктів гідратації досягається швидше в результаті дії сил адгезії, Ван-дер-Ваальса або взаємного зчеплення, ніж внаслідок первинних валентних зв'язків. Саме для цього виду зв'язку може виявитися корисним особливий характер текстури поверхні.

Хімічні дефекти і гідратація активованого трьохкальцієвого силікату. Механізм гідратації трьохкальцієвого силікату включає наступні етапи:

а) адсорбцію молекул води на поверхні трьохкальцієвого силікату шляхом швидкого та оборотного утворення слабких зв'язків;

б) Хемосорбція молекул води на твердій поверхні шляхом повільного і незворотного утворення міцних зв'язків, що приводить до утворення потенційних зародків протягом індукційного періоду;

в) перетворення потенційних зародків в критичні зародки і зростання останніх в процесі зародкоутворення;

г) подальшу гідратацію в `результаті дифузії води і поліконденсації тетраедрів. Досліджуючи характер дефектів за допомогою термолюмінесценції, автори встановили також важливу роль захоплених електронів на етапах «б» і «в».

Для з'ясування залежності між структурою і механічною міцністю слід також встановити, чи є присутність в структурі тісту кристалічних елементів якої-небудь однієї форми(наприклад, волокон) сприятливішою для розвитку міцності в порівнянні з іншими формами. Дані з цього питання, приведені в літературі, дуже суперечливі. Так, наприклад, одні автори повідомляють, що тісто, що містить продукти гідратації у вигляді добре кристалізованих тоберморитових пластинок, має підвищену міцність, тоді як тісто, що складається з волокон або викривлених листочків, має гірші гідравлічні властивості. У інших повідомленнях вказується, що в тісті, що має високу механічну міцність, серед продуктів гідратації спостерігалися висококолоїдні структури. У третьому випадку висока механічна міцність зв'язується з присутністю продуктів гідратації, що мають волокнисту структуру, а причиною падіння міцності вважається рекристалізація структури. Абсолютно очевидно, що такі чинники, як початкове В/Ц, пористість, умови перемішування, режим тверднення та ін., впливають на кінцеву міцність не у меншій мірі, чим контури часток гелю. Але для подальшого успішного тіста необхідно сформулювати деякі основні теоретичні положення про роль форми і розмірів часток гелю.

Процес твердіння цементу може бути поділений на три стадії. На першій стадії на поверхні гранул цементу утворюються кристали еtringіту, а в об'ємі

утворюються також гідроксид кальцію, ці новоутворення спостерігаються через декілька хвилин після замішування тіста. Закінчується перша стадія приблизно через годину після замішування після чого на гранулах цементу можна спостерігати тонкий шар гідросилікатів кальцію. У подальшому волокнисті гідросилікати переплутуються в процесі росту, поступово заповнюючи пори. Переплутані волокнисті гідросилікати армують цементний камінь і надають йому високу міцність.

На другому етапі (від 1 до 24 год. після замішування) алюмінатне твердіння відбувається в основному за рахунок гідратації чотирьохкальцієвого алюмофериту, а еtringіт проявляє тенденцію до переходу в моно сульфатну форму. Тому участь еtringіту в структуроутворенні цементного каменю можлива на ранніх стадіях(під час тужавіння).

Зниження температури твердіння зазвичай уповільнює процес твердіння, але збільшує кінетичну міцність цементного каменя. При пониженій температурі морфологія продуктів твердіння змінюється (волокна гідросилікатів кальцію стають більш довгими).

Прискорення твердіння за рахунок або підвищення температури, або тонкого помолу клінкера, або введення добавок-прискорбвачів скорочує тривалість другого етапу процесу твердіння і сприяє спонтанному утворенню великої кількості зародків кристалізації в одному об'ємі. Волокнисті кристали з'ясовуються, не дивлячись на тимчасове збільшення міцності протягом 28дб.

Введення добавок уповільнювачів твердіння сприяє збільшенню міцності в більш пізні терміни, хоча на ранніх стадіях твердіння спостерігається понижена міцність.

Таким чином, міцність цементного каменю у значному ступені визначається морфологією, кількістю, однорідністю розподілу і орієнтацією волокнистих гідратних новоутворень.

Так, як міцність цементу наростає у міру його гідратації, то повинна існувати деяка залежність між мірою гідратації і міцністю. Проте участь кожного цементного з'єднання в загальному розвитку міцності цементу неоднакова. Наприклад, усі три з'єднання - C_3A , C_2AF і C_3S гідратуються

швидко, але основним носієм міцності цементу є все ж C_3S . Двохкальцієвий силікат гідратується повільніше, але безперервно, і приблизно так само впливає на розвиток міцності. Тому заздалегідь передбачити точну залежність між мірою гідратації і міцністю не можна.

Висловлювалася думка, що міцність на стискування відноситься до квадрата кількості цементу, що гідратувався, а також що вона прямо пропорційна цій кількості. Ні те, ні інше відношення не дають задовільного пояснення фактам. Пауерс намагався виразити залежність між міцністю, об'ємом гідратації і пористістю у вигляді функції, названої їм відношенням гелю до пір. Це - відношення об'єму гідратованого цементу до суми цього об'єму і об'єму капілярів. Перший пов'язаний з вмістом води, що не випаровується, а другий є об'ємом води, використаної для складання суміші, мінус збільшення простору, зайнятого цементом, що гідратувався. Відношення, запропоноване Пауелсом, в принципі схоже з відношенням, раніше застосованим Вернером і Гіртц-Хедстреіом, Эйгером та ін., а також згодом Джулінским. За допомогою цього відношення були отримані досить хороші залежності для певних цементів і різних термінів гідратації, проте міцність при цьому відношенні гелю: пори або на однакових стадіях гідратації неоднакова у різних цементів, а також у цементного тіста і розчинів. Ця відмінність, а також роль з'єднань алюмінатів і силікатних в її розвитку.

Хороша залежність була знайдена між міцністю портландцементного бетону на стискування і кількістю пов'язаної води в цементі, що схопився. Остання в даному випадку умовно визначалася як вода, що утримується при нагріванні до 110° , але що втрачається при 550° , причому вона вимірювалася не у бетоні, а в цементом тісті в ті ж терміни.

1.7. Вплив водо цементного відношення на міцність цементного каменю

Про залежність між водо цементним відношенням (В/Ц), швидкістю гідратації і формуванням мікроструктури цементного каменю існують різні дані, інколи протиречиві.

Вважають, що в початковий період ступінь гідратації C_3S і C_2S майже однаковий при В/Ц рівному від 0,3 до 0,7, а в наступний період ступінь гідратації збільшується з підвищенням В/Ц. Ф. Лохер стверджує, що ступінь гідратації цементу до семиденного віку досягає мінімуму при В/Ц=0,8. Він відмічає також збільшення основності гідросилікатів, що утворюються із зменшенням величини В/Ц.

І.Н. Ахвердов показав, що фізико-механічні властивості цементного каменю залежать від щільності упаковки зерен твердої фази, міцності зв'язку між ними і кількості новоутворень. Надлишковий водо вміст обумовлює зменшення густини цементу, що приводить до необхідності збільшення товщини плівок новоутворень (кількості шарів для забезпечення контактів між зернами, а також приводить до виникнення крупнокристалічних, маломіцних утворень в порах. Ці два фактори уповільнюють тужавлення і твердіння цементного каменя і знижують його міцність.

Отже, для твердіння цементного тіста необхідно щоб кількість води в суміші була мінімальною, але забезпечувала процес гідратації і максимальне ущільнення суміші.

1.8. Мікроструктура цементного каменю в залізобетонних виробках

По своїй структурі цементний розчин и бетон являються штучними конгломератами, основні структурні елементи яких- заповнювачі і зв'язуючі їх цементний камінь. Властивості такого конгломерата визначаються його марко- і мікроструктурою. Мікроструктура бетону характеризується розміщенням в ньому цементного каменя великого і легкого заповнювачів, а також пор, заповнених розчином мінеральних речовин і повітрям.

Дрібний та крупний заповнювачі в бетонах являються його каркасом, значно зменшуючим осідання. Якість і кількість заповнювача мають значний вплив на макроструктуру бетонах, його міцність та інші властивості. Міцність

в бетонах буває відкритою та закритою. Відкриті пори порушують структуру бетону і значно погіршують його якість: зменшують водонепроникність, збільшують водопоглинання, знижують морозо- і корозійну стійкість. Закриті пори, навпаки, поліпшують експлуатаційні властивості бетону, підвищуючи його довговічність.

При виготовленні бетону змінюючи вихідні матеріали, склад, технологічні режими, можливо регулювати отриману, раніше задану макроструктуру бетону. Питання дослідження макроструктур бетонів, впливу різноманітних факторів на процес їх формування висвітлені в літературі досить точно [1,2,3,4].

В властивостях бетонів не менш важливу роль відіграє його макроструктура, яка включає мікроструктуру цементного каменя, контактних ділянок з заповнювачем та арматурою і окремих пор, тобто мікроструктуру ділянок, що забезпечують склеювання конгломерату. Б. В Дерягін [6] вважає, що міцність склеювання обумовлюється двома факторами: адгезією, або міцністю на затверділих поверхнях від кулястого розшарування, і когезій, або міцністю самого каменя.

Адгезійні властивості портландцементу з різними заповнювачами та арматурою в бетоні та залізобетоні вивчав Ю. Е. Корнилович [26]. Встановлено, що головним фактором, визначаючим міцність бетону потрібно вважати міцність зчеплення цементного каменя з заповнювачем.

Ю. Е. Корнилович відзначає, що виникнення адгезійних сил визначається наявністю хімічно активних продуктів гідратації цементу по відношенню до клейких матеріалів, наявністю розвитої і щільної колоїдної фази в контактному шарі і мінімальної зміни об'єму цього шару в разі поверхового склеювання.

П. А. Ребіндер вивчаючи структуроутворюючу роль твердих поверхнею в процесі склеювання цементно-водними суспензіями, відзначав, що всі процеси коагуляційно-кристалізаційного структуроутворення проходять в таких шарах між зернами заповнювача в конгломератних структурах.

Н.В. Михайлов, розглядаючи можливість деяких заповнювачів хімічно взаємодіяти з цементом висунув положення, що все заповнювачі можуть бути в більшій, чи меншій мірі активними домішками для зародження нових фаз.

На даний час можливо зробити висновок, що адгезійні сили в такій структурно-неоднорідній системі, як цементний камінь, вище когезійних. Це цілком можливо, оскільки кристалізація новоутворень відбувається завжди раніше всього на поверхні не гідратованих зерен, і тільки при відсутності на ній вільного простору розчинні компоненти дегідратують через шар новоутворень. Так як кристалізаційні гідрати залишаються на місці свого утворення і займають більший об'єм, ніж вихідні складові, то не гідратовані зерна завжди знаходяться в стані обтиснення.

1.9. Хімічні чинники, що впливають на тужавіння портландцементу

При перших же дослідях практичного застосування портландцементу з'ясувалося, що швидкість його тужавіння неоднакова в різних зразках. Час схоплювання є загалом довільною величиною; це - час, який протікає після змішування цементу з водою до того моменту, коли тісто придбає здатність витримати певний, умовно прийнятий тиск. Проте це величина може служити для порівняння здатності до тужавіння у різних цементах. У загальному вигляді можна сказати, що чим вище зміст глинозему і окислу заліза в цементі, тим швидше настає початок тужавіння за рахунок швидшого тужавіння цих двох з'єднань. Саме цим і пояснюється швидке тужавіння старого роман-цементу.

У колишній час портландцемент мав повільне тужавіння, що викликалося спільною дією ряду причин. Цей цемент відрізнявся порівняно крупчастим млином і містив значну кількість вільного вапна, яке має властивість уповільнювати тужавіння. Крім того, в клінкері скупчувалася сірці з палива у вигляді сульфату кальцію, який є хорошим уповільнювачем тужавіння. Клінкер, отриманий в обертових печах, краще обпалювався і містив менше сульфатів; подальше поліпшення помольного устаткування тужавіння

цементу. Найпоширенішою добавкою такого роду, що вводиться в млин при помелі клінкеру, являється гіпс.

У свій час в цілях уповільнення тужавіння цементу в млин вводили пару. Цемент поглинав близько 1% води, і після цього досить було додати трохи гіпсу, не більше 1%, щоб уповільнити тужавіння до бажаної міри. Пізніше від цього методи відмовилися.

Терміни тужавіння сучасного портландцементу регулюються шляхом введення визначеного кількості гіпсу в млин при помелі клінкеру. Кількість гіпсу, що додається, повинна відповідати 1-3% SO₃. Стандарти усіх країн обмежують допустимий вміст гіпсу в готовому цементі. Добавка гіпсу у встановленій кількості дозволяє регулювати терміни тужавіння і робить сприятливий вплив на міцність, але присутність його в надмірних кількостях може викликати деяке розширення тужавівшого цементу.

Вплив гіпсу на тужавіння цементу не пропорційно введеній кількості його. Навіть невелике перевищення встановленої величини добавки може викликати значну зміну термінів тужавіння. Добавка винищити або присутність її у вільному стані в клінкері посилює уповільнюючу дію гіпсу.

Для уповільнення тужавіння можуть бути застосовані і інші види сульфату кальцію. Напівводний гіпс, CaSO₄ · 0.5H₂O, уповільнює тужавіння цементу різкіше, ніж гіпс. Така ж дія робить і розчинний ангідрит. Очевидно, це пояснюється швидшим розчиненням і підвищеною концентрацією сірчаного ангідриту, що виходить з цих матеріалів в пересичених розчинах. Для попередження цього можна, як вказує Шахтшабель, додати до напівгідрату невелику кількість гіпсу, частки якого грають роль зародків кристалізації і запобігають утворенню пересиченого розчину.

Вплив солей на тужавіння цементів. Є і інші солі, окрім сульфату кальцію, які впливають на тужавіння портландцементу. Одні з них уповільнюють тужавіння, інші прискорюють його. Існує група солей, які уповільнюють тужавіння, будучи додані у малій кількості, і прискорюють його, якщо вводяться у великих кількостях. Наявні з цього питання дані часто

суперечні. Вплив тих або інших солей часто залежить від складу портландцементу.

Необхідно також розрізнити між впливом солей на тужавіння і їх дією на подальшу гідратацію. Деякі речовини, що викликають безпосереднє швидке ущільнення, можуть завадити подальшому наростанню міцності або значно знизити її. Що наводяться нижче дані відносяться до впливу солей на цемент, що містять в якості уповільнювача тужавіння гіпс; в деяких випадках добавка тих або інших солей робить різний вплив на цемент з гіпсом і без нього.

З числа найбільш важливих добавок слід назвати хлористий кальцій і хлористий натрій, які досить часто застосовуються у будівельній практиці. Їх іноді застосовують для захисту бетону, укладеного в зимовий час, від дії морозу. Добавка хлористого кальцію в дуже малій кількості (менше 1%) іноді призводить до прискорення тужавіння портландцементу, а в значніших кількостях - уповільнює його.

Проте ця дія по-різному позначається на різних цементах. В деяких випадках добавка понад 3% хлористого кальцію викликає миттєве тужавіння. Хлористий натрій менше впливає на тужавіння цементу: в одних випадках він прискорює тужавіння, а в інших - уповільнює.

Лужні карбонати, як і CO_2 значно прискорюють тужавіння і при величині добавки 1-2% скорочують термін початку тужавіння до декількох хвилин. Карбонат амонію менш активний. З іншого боку, бікарбонати часто чинять уповільнюючу дію. Хлористий алюміній і хлористий магній чинять істотну прискорюючу дію на схоплюванні, а хлористий барій і хлористий стронцій дещо прискорюють його. Хлористий амоній, хлористе залізо, хлорне залізо і хлористий кобальт, додані в кількості до 2%, уповільнюють тужавіння, а у великих кількостях - прискорюють його.

Солі сірчаної і азотної кислот, будучи додані в розбавлених розчинах до звичайного цементу з гіпсом, не роблять помітного впливу на тужавіння. Гідроокиси натрію і калію, а також силікат натрію підвищеної концентрації дещо прискорюють тужавіння. Добавка цукру у вигляді 1%-ного розчину

майже повністю припиняє тужавіння і тверднення, хоча може викликати безпосереднє швидке ущільнення, що нагадує швидке тужавіння. Додаток цукру у кількості 0,05% від ваги цементу може привести до того, що цемент не матиме ніякої міцності через 1 доби і лише половину нормальної міцності через 3 дні.

Теорія дії уповільнювачів. При змішуванні цементу з водою утворюється розчин, який впродовж 1-2 хв. Насичується гідратом окислу кальцію і сульфатом; іноді навіть відбувається деяке пересичення розчину цими двома компонентами.

Початок тужавіння слід приписати дії алюмінатів, а також трьохкальцієвого силікату, який починає тужавіти через декілька годин. Гідратація різних сполук цементу. Очевидно, повинна відбуватися одночасно, оскільки процес цей починається на поверхні твердої частки і поширюється всередину. Таким чином, велику роль повинна грати відносна реакційна здатність окремих з'єднань.

Нормальний портландцемент, що містить для регулювання термінів схоплювання гіпс у кількості 4-5%, починає взаємодіяти надзвичайно швидко при змішуванні з водою. Відомо, що вапно, сульфат і луг швидко переходять в розчин в тісті, що має водо-цементне відношення в інтервалі 0,4-0,5. Концентрація $\text{Ca}(\text{OH})_2$ незабаром досягає насичення і вапно продовжує розчинятися, утворюючи пересичений розчин.

Продукти гідратації як C_3S , так і C_2S при звичайній температурі розглядаються як речовини, що погано закристалізувалися, надзвичайно тонкодисперсні, схожі з мінералом тоберморитом(по Тейлору).

Такий же тоберморитоподібний гідрат силікату кальцію утворюється також при гідратації портландцементу.

Частина продуктів гідратації, що утворилися спочатку, відкладається на поверхні клінкерних зерен або дуже близько до них. У разі зерен C_3A і C_4AF ця оболонка є фазою, схожою по складу з високосульфатним сульфоалюмінатом кальцію. У разі зерен C_3S ця оболонка, ймовірно, є гідратом силікату кальцію, що дуже погано закристалізувався, з колоїдними

розмірами часток. У міру розвитку гідратації ці фази стають змішаними. Ці оболонки мають колоїдну природу і діють як захисна плівка, що уповільнює спочатку швидку взаємодію. Швидкість гідратації C3S спочатку висока, зменшується до відносно низького значення, після чого прискорюється знову до моменту початку схоплювання, тобто з якоїсь причини оболонка приблизно в цей період втрачає свою здатність уповільнювати процес.

Гальмівний вплив плівки гелю поширюється так само на C3A і C4AF, але гідратація C2S є вже дещо повільною, що вона залишається лінійною в плинні дуже довгого часу і регулюючий вплив дифузії починає грати роль тільки при набагато більшій товщині шару гелю. Таким чином гранична середня швидкість гідратації визначається значною мірою дифузиею води через гелевидні продукти гідратації, що вже утворилися.

Механізм прискореної дії. Різні безводні силікати і алюмінати кальцію істотно відрізняються здатністю взаємодіяти з водою при звичайних температурах.

Портландцемент, що твердне при звичайних температурах відносяться до групи гідралічних цементів, терпка дія яких майже повністю обумовлена утворенням тоберморитного гелю.

Першим результатом змішування цементу з водою є утворення дисперсної системи. Для отримання тіста необхідно, щоб В/Ц було 0,3-0,7. При цьому забезпечується нещільна упаковка зерен цементу. У результаті взаємодії з водою на шкiрному зерні утворюється поверхневий куля новоутворень гідратів. На цій стадії частки новоутворень мають в основному колоїдні розміри(10-1000 Å)

В результаті взаємодії з водою на кожному зерні утворюється поверхневий шар новоутворень гідратів. Вони займають простір частково за рахунок зерен, а частково за рахунок рідини. На цій стадії частки новоутворень гідратів мають в основному колоїдні розміри(10-1000 Å). Розчин швидко стає насиченим по відношенню до іонним Ca²⁺, OH⁻, SO₄²⁻ і лугам. З розвитком реакції оболонки новоутворень гідратів розширюються і перекривають один одного так, що в класичному випадку гель утворюється в просторі між

зернами. Це і є схоплювання. При подальшій реакції частки новоутворень між клінкерними зернами придбавають усе більш щільну упаковку. В результаті матеріал вже можна представити як масу часток, що знаходиться в зіткненні один з одним. Особливість такого гелю полягає в тому, що на одних ділянках упаковки його щільніша, ніж на інших, і він містить пори. Кристалічних часток (більше 1 мкм) в гелі багато, вони утворюються в порах при рекристалізації.

Кристалізація новоутворень грає велику роль в наростанні міцності.

Деякі досліджували висловили припущення, що невелика міцність виходить при утворенні максимальної кількості кристалічних новоутворень. Інші ж вважають, що існує оптимальне співвідношення кристалічних і колоїдних складових. Таким чином, тверднення може бути пов'язане з утворенням як кристалічних, так і колоїдних продуктів або продуктів обох типів.

По Цур - Штрассену утворення тоберморитової фази, що добре закристалізовувалася, значно прискорюється в цементному тісті, що містить значні кількості лугу.

Лохер

Утворення гідросилікатів кальцію. Уперше гідросилікати кальцію розвиваються в цементному тісті у вигляді волокнистих частинок, довга яких приблизно через 1 годину складає близько 0,1 мкм, а діаметр - 100-200 Å.

На ранніх стадіях гідратації кількість фаз гідратів відносна мало. Тому не цьому етапі в просторі між частками цементу може відбуватися вільне зростання гідросилікатів кальцію у вигляді довгих волокон разом із стовпчастим етригнітом і тонкими пластинками гідроксида кальцію, які утворюються одночасно. Довгі волокна гідросилікатів кальцію створюють просторовий зв'язок, за допомогою якого посилюється зчеплення між фазами гідратів. Якщо на початку гідратації цементу зміст фаз гідратів досягає рівня, при якому між ними виникають перші слабкі контакти, щільність цементного тіста збільшується і воно починає схоплюватися.

В ході подальшої реакції міцність структури збільшується.

Гідросилікати кальцію грають істотну роль в реакціях гідратації більшості цементів, включаючи портландцемент.

Гідросилікати кальцію включають як чітко виражене з'єднання кристалічної структури, так і речовини, що погано закристалізувалися. Усі вони майже нерозчинні у воді. Якщо реакції гідратації силікатів кальцію протікають при температурі нижче 100°C, то в результаті зазвичай виникають новоутворення, що погано закристалізувалися; при гідратації портландцементу у вигляді тесту при кімнатній температурі з'являються саме такі продукти.

Реакція гідратації починається відразу після замішування цементу з водою і вже через кілька хвилин розчин, що заповнює простір між зернами цементу стає перенасиченим відносно сульфату і гідроксиду, що виділяються під час гідролізу аліту (C_3S). Оскільки аліт – основний мінерал портландцементу, то процес гідратації проходить у декілька етапів:

✓ *період твердіння* – розчинення мінералів цементу у воді і утворення перенасичених нестійких систем.

До першої групи гідратних новоутворень належать: гідросилікат Са, який утворюється з аліту й беліту.

✓ *колоїдація (тужавлення)* – характеризується новоутвореннями у колоїдальній системі (гель).

До другого періоду відноситься утворення $Ca(OH)_2$ з аліту та беліту. Навколо зерен виникають оболонки з новоутворень, що перешкоджають проникненню води до частинок клінкеру.

У зв'язку з переходом новоутворень у стійку термодинамічну форму відбуваються явища, які супроводжуються зміною сил взаємодії часточок. В середині них розміщуються крупніші кристалічні новоутворення, що створюють каркас цементного каменю, який пронизує основну масу гелеподібного гідросилікату Са.

✓ Далі настає явище *контракції (стягування)*, тобто ущільнення цементного каменю. Кількість вільної води зменшується і настає загустіння

цементного тіста й бетонна суміш втрачає рухливість. Цей період називають періодом тужавлення, – третій етап твердіння.

✓ З наростанням механічної міцності за рахунок ущільнення структури та збільшення її кристалічної фази період твердіння супроводжується явищем *кристалізації*. Тобто перетворення колоїдної гелевої фази в кристалічну.

Процес твердіння й гідратації триває довгий час, але із затухаючою інтенсивністю. В кінці настає такий період, коли гідратні оболонки навколо зерен цементу стають щільними й проникнення води до центру цементного зерна призупиняється. Тоді і закінчується наростання міцності цементного тіста в бетоні. В результаті частина зерен цементу в ядрі залишається не прогідратованою водою (30-35% від маси цементу) [8].

Будь-яка добавка до цементу може діяти як прискорювач тверднення, якщо вона утворює нерозчинне з'єднання з вапном, що виділяється при гідролізі цементу. Поява нових фаз викликає ущільнення цементного каменю, а утворення нерозчинних з'єднань сприятиме зв'язуванню винищити і цим форсувати подальший хід гідролізу мінералів цементу, тобто прискорити гідратацію. Деякі добавки (особливо полімерні підвищують фізико-механические властивості цементного каменю, чинячи ущільнюючу і зміцнюючу дію при формуванні кристалізаційної структури цементного каменю, сприяючи утворенню нових нерозчинних фаз.

Кінетика процесу кристаллообразования з пересиченого іонного розчину і властивості продуктів кристалізації визначається не лише мінералогічним складом, дисперсністю і формою часток речовини, але і більшою мірою змістом домішок (хімічних добавок).

Залежно від хімічного складу і концентрації домішки, температура середовища і інших зовнішніх чинників домішки можуть по-різному впливати на хімічну активність речовини. Домішки можуть виділятися в кристалічну решітку початкової речовини, адсорбуватися на внутрішніх і зовнішніх поверхнях кристалів і знаходитися в кристалічному продукті у вигляді самостійних кристалів, тобто утворювати з цією речовиною механічну суміш.

В перших двох випадках домішка здатна змінити фізико-хімічні властивості початкових речовин, а в третьому - фізико-механічні властивості продуктів кристалізації.

1.10. Висновки до огляду літератури

1. В'язучими властивостями володіють дисперсні речовини, які при взаємодії із рідиною замішування здатні утворювати гідратні сполуки (аквакомплекси, сольватоккомплекси).

2. Портландцемент складається з 4-х основних мінералів клінкеру, здатних взаємодіяти з водою і утворювати гідросилікати, гідро алюмінати, гідроферити і гідроксид кальцію.

3. Швидкість гідратації мінералів періодична, спостерігаються етапи прискорення і уповільнення.

4. Уповільнення швидкості гідратації відбувається з причин:

- пересичення рідкої фази відносно вапна уповільнює гідратацію C_3S ;
- гідратні форми утворюються спочатку на поверхні клінкерних матеріалів і створюють щільну водонерозчинну екрануючу плівку, яка перешкоджає проникненню розчинених іонів до середини зерна мінералу.

5. При замішуванні цементу з водою утворюється спочатку цементне тісто, в процесі гідратації виникають гідратні форми колоїдних розмірів і утворюють тоберморитовий гель, за рахунок під час коагуляції відбувається тужавлення тіста.

6. В коагуляційній структурі виникає дрібнозернистий кристалічний каркас з етtringіту і гідросилікатів кальцію.

7. Гідросилікати кальцію утворюються різноманітні і низькоосновні CSH I і високо основні CSH II, у деяких гідросилікатів кальцію структура наближається до природного тобермориту, але при кімнатній температурі і тиску в цементному тісті утворюються потанозакристалізовані структури.

8. Процес кристалізації гідросилікатів полегшують спеціальні «затравки», тобто готові центри кристалізації, у якості затрок можуть бути

заздалегідь гідратований цемент, або алюмосилікати (пелигорскит), або аквакомплекси сульфатів лужних і трьохвалентних металів(квасци).

9. Головні властивості цементного каменю – це міцність, яка залежить від дуже багатьох факторів, серед яких фактори твердіння, ступінь кристалічності, форма і розміри кристалів.

10. Процеси твердіння і властивості цементного каменю можна з успіхом регулювати введенням комплексних хімічних добавок.

11. Адгезійними властивостями володіють речовини, які мають у своєму складі полярні молекули.

12. Найкраща адгезія на міцність одержується у тому випадку коли в цементному тісті кристали алюмінатів, чи силікатів кальцію, які зростаються із кристалами поверхні що склеюється.

РОЗДІЛ 2. МЕТА РОБОТИ

Мета роботи – за показниками міцності відриву підібрати склад цементної системи придатної для з'єднання між собою бетонних елементів або для реставраційних робіт.

Об'єкт дослідження – зразки цементних балочок склеєні цементним тістом марок ПЦ400, ПЦ500 та з додаванням добавок.

Предмет досліджень: міцність при відриві цементного шва, водоцементне відношення тіста, ступінь зволоження поверхонь що склеюється, товщина склеюваного шва

Основні задачі дослідження

1. Підібрати раціональний спосіб склеювання двох бетонних зразків.
2. Дослідження динаміки зміни міцності цементного каменю на відрив від В/Ц та товщини шва.
4. Провести аналіз впливу добавок на адгезію.

РОЗДІЛ 3. МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ

3.1. Планування експерименту

Планування експериментів та вибір вихідних даних з використанням математико-статистичних методів рекомендується проводити при використанні двох змінних. При побудові залежностей, необхідних для коректування складу цементного розчину для склеювання досліджуваних зразків у процесі його виготовлення при організації виробництва по новій технології, а також у випадку використання автоматичних систем керування технологічним процесом.

Планування експериментів та підбір складу цементного розчину для склеювання бетонних зразків з використанням математико-статистичних методів полягає у виборі математичної залежності між заданими властивостями будівельного розчину, витратою використовуваних матеріалів. Отримана математична залежність використовується для пошуку та призначення оптимальних складів.

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

Проведення лабораторних дослідів в наступній послідовності:

- уточнення в залежності від певної задачі оптимізуючих параметрів (міцності, заданих параметрів, спеціальних вимог і ін.);
- вибір факторів, що визначають змінність оптимізуючих параметрів;
- розрахунок експериментального складу цементного розчину;
- вибір меж варіювання факторів.

В якості факторів, що залежать від умов конкретної задачі можуть призначатися витрата води, витрата цементу, витрата заповнювачів та ін.

Значення фактору у головному вихідному складі називається головним (середнім або нулевим рівнем).

При проведенні дослідів у залежності від умов задачі усі фактори варіюються або на трьох рівнях – середньому (головному), нижньому та верхньому, що відрізняються від головного на однакову величину, яка має назву інтервал варіювання, або на двох рівнях – верхньому та нижньому.

Для спрощення запису і послідуєчих розрахунків верхній рівень факторів буде позначатися (+1), середній – (0), а нижній – (-1), що відповідає переводу факторів в новий кодовий (нормалізований) масштаб :

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

де X_i – значення і-го фактора в новому кодовому масштабі;

X_j – значення і-го фактора в натуральному масштабі;

X_{i0} – основний рівень і-го фактора;

ΔX_i – інтервал зміни і-го фактора.

Часто при записі плану проведення експерименту цифру 1 упускають і кодовий запис рівнів факторів має вид відповідно: " + ", " 0 ", " -".

Досліди (дослідні записи) у залежності від кількості факторів та умов розв'язуваної задачі проводяться по плану (матриці), яка наведена в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1

Матриця проведення експериментів

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

Примітка. При проведенні дослідних замісів згідно з вибраним планом в матриці 1 та матриці 2 досліди в нульовій точці (всі фактори на основному рівні) були рівномірно розподілені між всіма іншими, дублюючи їх через кожні 3 - 5 замісів.

Згідно завдання потрібно замінити частково дрібний заповнювач відходом виробництва – дефекатом у значеннях від маси піску, дані занесені в таблиці.

Обробляємо результати досліджень з використанням методів математичної статистики і отримуємо відповідне алгебраїчне рівняння, яке відображає зв'язок між досліджуваними властивостями будівельного розчину і вихідними факторами.

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

Результати випробувань та їх пояснення наведені в розділі 5.

3.1. Методика проведення дослідів

Адгезійну властивість цементного каменю визначають зазвичай за показниками міцності на розрив.

Виходячи з літературних джерел найкраща адгезія цементного тіста до бетонної поверхні, тому для проведення експерименту заздалегідь було виготовлено цементні балочки при В/Ц=0,42 (Рис.3.1 та 3.2), які тверділи у приміщенні лабораторії 7 діб. Для дослідження адгезійних властивостей цементного каменя без добавок і з добавками розроблену матрицю математичного планування двох факторного експерименту.

Таблиця 3.2 Матриця планування експерименту з змінними факторами.

Змінні фактори:

X1 - В/Ц цементного тіста: 0,3; 0,35; 0,4

X2 – товщина шару цементного тіста, мм: 1; 3; 5



Рис. 3.2 Загальний вигляд цементних балочок для визначення адгезійних властивостей.

Для склеювання балок використовували чисте цементне тісто при вказаному значенні В/Ц, а також із добавками:

- а) – квасци + ЗАС; б) – квасци + ЗАС + бішофіт;
- в) – квасци + ЗАС + бішофіт + NaNO_2

Цементне тісто готувалося шляхом ретельного перемішування і перетирання суміші 275 г. цементу і кількості води, відповідно до значення В/Ц (Табл. 3.3).

Так як, цементний камінь достатньо пористий матеріал, питомі поверхня балочок здатна відсмоктувати воду із клею чого тіста, зменшуючи водо цементне відношення. При виконанні дослідів цементні балочки перед склеюванням заздалегідь замочувалися у воду на 10 – 15 хв.

Цементне тісто накладалося рівномірним шаром на поверхню обох балочок, потім вони з'єднувалися і залишалися у спокою до затвердіння тіста (Рис.3.3).

Таблиця 3.3

Дозування добавок до цементу

№ серії	Квасци		ЗАС		Бішофіт		NaNO ₂				Додаткова вода для В/Ц, мл
	%	г,	%	г,	%	г,	мл.	%	г,	мл.	
3	1,8	4,95	0,5	1,375	1,5	4,125	13,75	0,25	0,68	4,64	110-5-13-5=87
1	1,8	4,95	0,5	1,375	-	-	-	-	-	-	110-5-13-5=92
2	1,8	4,95	0,5	1,375	-	-	-	-	-	-	110-13=97



Рис.3.3 Процес підготовки зразків для випробувань

Після затвердіння цементного шару балочки випробовувалися на розрив, на пресі РП-5 (Рис.3.4).



а) зразки до випробування на розрив, на пресі РП-5



б) зразки після випробування на розрив, на пресі РП-5

Рис.3.4 Схема визначення міцності при відриву

РОЗДІЛ 4.ХАРАКТЕРИСТИКА ВИХІДНИХ МАТЕРІАЛІВ

4.1 Портландцемент

Для проведення експериментів застосовувався портландцемент марки М400 згідно ДСТУ Б В.2.7-46-96 Строительные материалы. Цементы общестроительного назначения. Технические условия і ДСТУ Б В.2.7-112-2002 Строительные материалы. Цементы. Общие технические условия. Усереджені характеристики цементу М400 наведені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1

Усереджені характеристики цементу М400

Якісні характеристики Тип цементу, виробник	Вміст SO ₃ , %	Тонкість помолу		Строки тужавлення, г, хв		Міцність при стиску, МПа	
		Залишок на ситі №008,%		Початок	Кінець	7 діб	28 діб
Нормативні вимоги	не більше 3,5	не більше 15	Не нормується	не раніше 00:60	не пізніше 10:00	не менше 20	не менше 40
ПЦ ІІ/Б-Ш-400	1,9	7,0	3050	3:05	4:40	26,8	40,9

Масова доля портландцементного клінкеру: 65-79%

Масова доля гранульованного доменного шлаку: 21-35%.

Масова доля оксиду магнія в клінкері: 1,2-1,8%.

Рівномірність зміни об'єма: витримав.

Ознаки помилкового тужавіння: нема.

Клас використання по даним радіаційного контролю: І

4.2 Хімічні добавки

Нітрит натрія (NaNO₂) - кристали білого кольору з жовтуватим відтінком. Виготовляється у вигляді твердого і рідкого (вміст NaNO₂ близько

28%) продукту, які повинні задовольняти вимоги ГОСТ-19906-74 Нитрит натрия технический. Технические условия.

Карбонат калію (K_2CO_3) – порошок чи комочки білого кольору, розчинні у воді, гігроскопічний, нерозчинний в спирті чи ефірі. Згідно вимог до ГОСТ 4221-76 Калий углекислый. Технические условия.

Гідроксид натрію (NaOH) - білі лусочки, шматки або циліндричні палочки з кристалічною структурою на зломі, кильно гігроскопічний, добре розчинний в воді чи спирту; швидко поглинає з повітря вуглекислоту і воду і поступово переходить у вуглекислий натрій. Згідно вимог ДСТУ.

РОЗДІЛ 5. ЕКСПЕРЕМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

5.1. Вплив компонентної добавки на адгезію цементного каменя

Як відомо з літературних джерел, адгезія для цементних систем визначається методом відриву.

Висока адгезія цементного тіста забезпечується при проникненні цементної суспензії в пори поверхні іншого матеріалу. Після затвердіння виникає міцний контакт, для руйнування якого потрібно не тільки подолати сили зчеплення між цементом та основою, але й когезійні сили матеріалу.

Враховуючи вищенаведене, для вивчення адгезійних властивостей цементу із добавками виготовленні цементні балочки розміром 4×4×16 см. (рис. 2.1. розділу «Методика дослідження. Балочки тверділи на повітрі протягом 7 діб).

Для склеювання готувалось цементне тісто з використанням цементу М400 та М500. Склад і кількість добавок до цементу прийняти за даними магістерських кваліфікаційних робіт Джиркінса Ентоні та Черицької Лілії, а саме: залізо-натрійові квасци, 1,8%; затравки алюмініосилікатів 0,5%; бішофіт 1,5%; значення водоцементного відношення 0,3 – 0,34 (таблиця 2.2. Методики дослідження. Склеєні балочки зберігались на повітрі 7 діб і випробовувались на відрив за схемою рис. 2.3 розділу «Методика дослідження»)

5.2. Вплив компонентної добавки на адгезію цементного каменя при склеюванні зволжених поверхонь

Результати випробувань представлені в таблицях 5.1 і рисунках 5.1-5.3, які свідчать про дуже низьку міцність при відриву (0,2 – 0,85 МПа). Це пояснюється тим, що матеріал балочок – цементний камінь має до 53% пор, а така кількість пор безумовно відсмоктує воду із цементного тіста і умови зчеплення різко погіршуються.

Враховуючи цей фактор досліди експерименту були повторені, але цементні балочки заздалегідь занурювались в воду і витримувались 24 години.

Після витримки балочки знову зклеювались і випробовувались. Нові дані мають зовсім іншу картину (табл. 5.2 і рис. 5.4 – 5.6). У даному випадку міцність відриву спостерігається.

Таблиця 5.1

Вплив компонентної добавки на адгезію цементного каменя при склеюванні зволжених поверхонь

№ дослід у	X ₁	X ₂	Наявність добавок	Сила відриву, кгс	Адгезія, МПа	Площа відриву, см ²
	В/Ц	Товщина, мм				
1	0.32	5	Квасці 1,8% ЗАС – 0,5% Бішофіт 1,5%	119	0,35	34
2	0.34	1	Квасці 1,8% ЗАС – 0,5% Бішофіт 1,5%	55	0,2	27,5
3	0.3	5	Квасці 1,8% ЗАС – 0,5% Бішофіт 1,5%	107	0,25	42,8
4	0.3	1	Квасці 1,8% ЗАС – 0,5% Бішофіт 1,5%	60	0,1	57,0
5	0.34	3	Квасці 1,8% ЗАС – 0,5% Бішофіт 1,5%	115	0,25	46,1
6	0.3	3	Квасці 1,8% ЗАС – 0,5% Бішофіт 1,5%	0,5	0,27	38,5
7	0.32	5		180	0,3	61
8	0.32	1		56	0,103	54
9	0.32	3	Квасці; ЗАС; бішофіт+NaN O ₂ 0,25%	230	0,95	24,2
10	0.32	3		142	0,85	16,72
11	0.32	3		146	0,98	14,89

Згідно математичного планування експерименту рівняння має вигляд:

$$Y_{міц.} = 75,81 - 11,75X_1 + 21,55X_2 + 2,7X_3 - 4,53X_1^2 + 3,93X_2^2 - 3,23X_1X_3;$$

$$FP < FT (6,1 < 19,3)$$

Вплив змінних факторів експерименту на адгезію цементного каменя при склеюванні зволжених поверхонь інтерпретовано на рис. 5.1, 5.2, 5.3.

Аналіз графіків показує, що найбільший вплив на адгезію чинить величина водоцементного відношення і товщина шару склеювання на середньому рівні.

При знаходженні факторів на середньому рівні, найбільша показник адгезії при товщині шару склеювання 3мм, В/Ц – 0,35.

При знаходженні факторів на середньому рівні, найбільша адгезія отримана при товщині шару склеювання 3мм, В/Ц – 0,35.

При знаходженні факторів на мінімальному рівні, найбільша адгезія отримана при товщині шару склеювання 3мм та вменшій мірі В/Ц – 0,35.

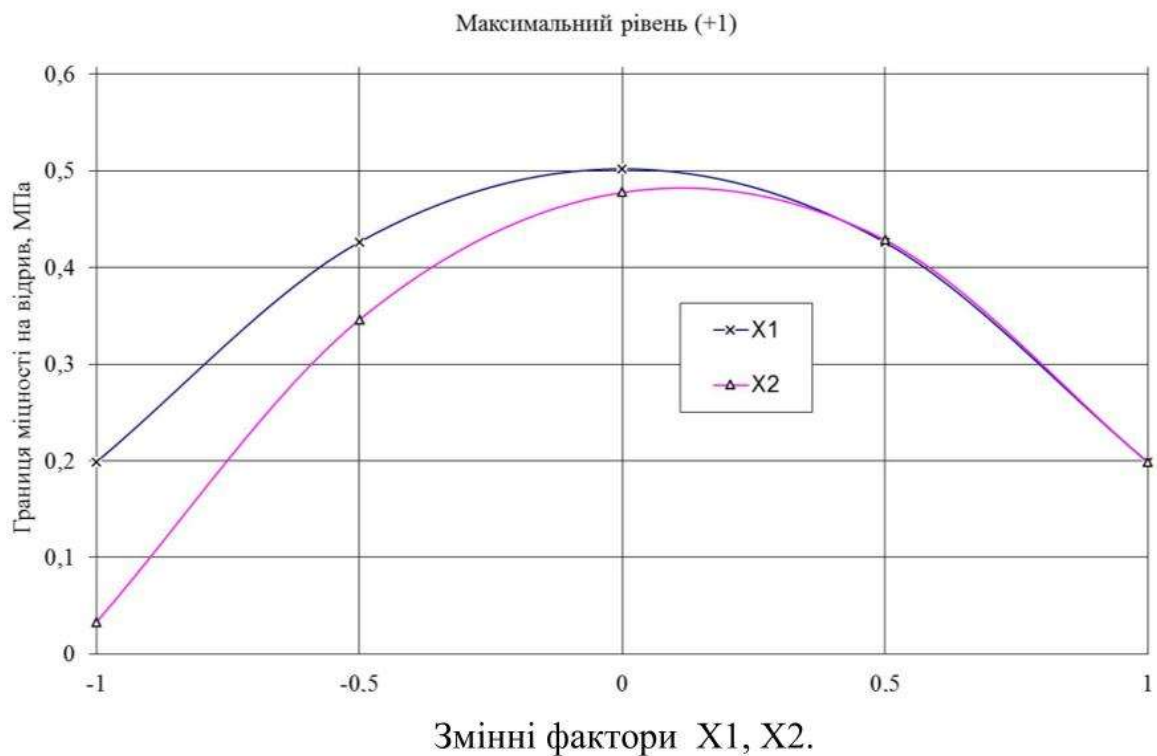


Рис. 5.1 Залежність міцності цементного каменя на відрив від В/Ц та товщини шва.

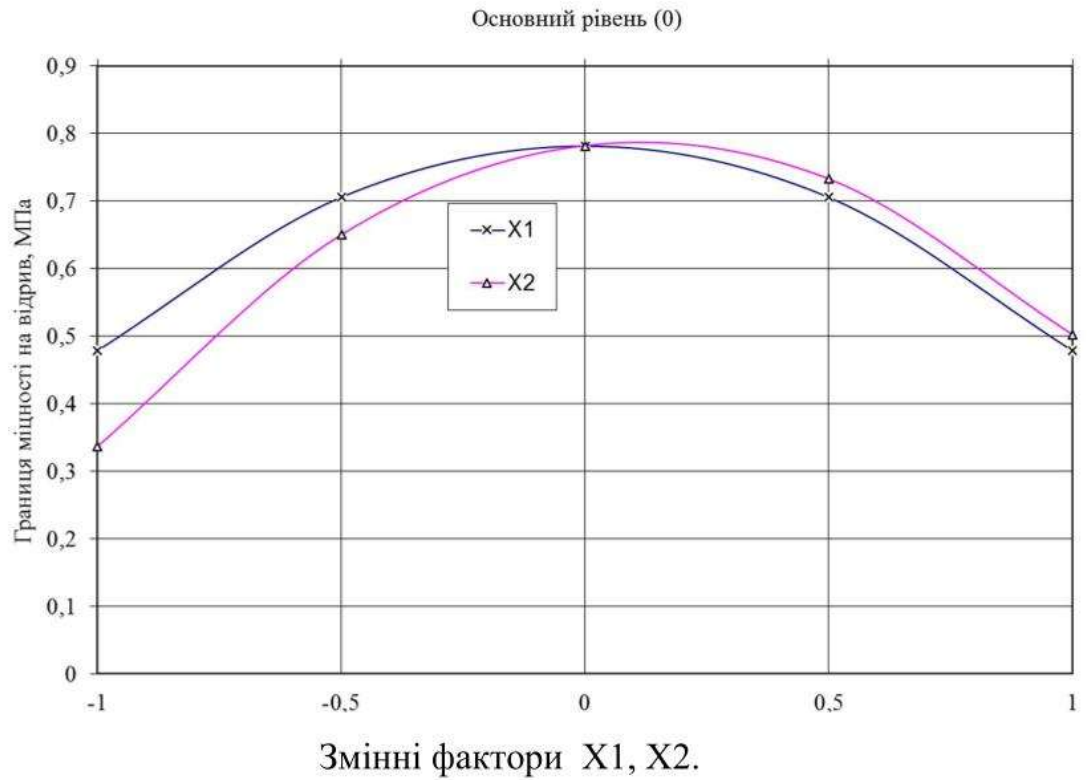


Рис. 5.2 Залежність міцності цементного каменю на відрив від В/Ц та товщини шва.

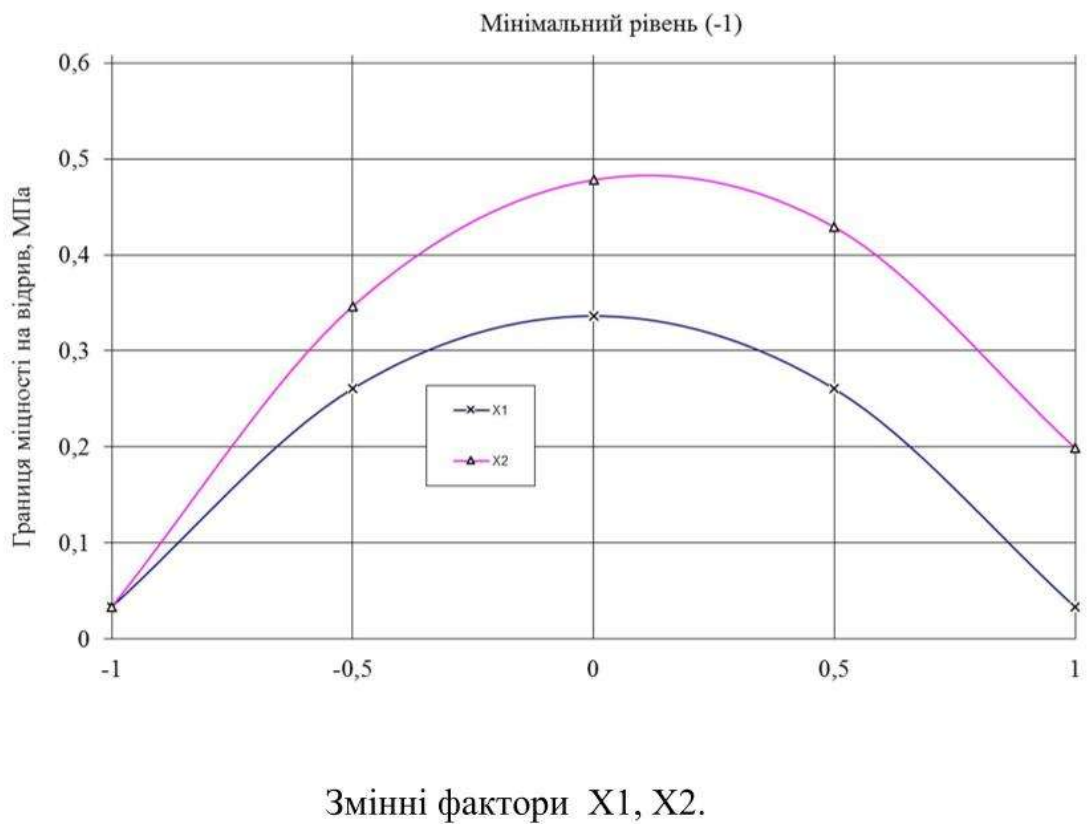


Рис. 5.3 Залежність міцності цементного каменю на відрив від В/Ц та товщини шва.

5.3. Вплив добавок на адгезію цементного каменю при склеюванні мокрих поверхонь, цемент М400

Результати випробувань представленні в таблицях 5.2 і рисунках 5.4-5.6, які свідчать про міцність при відриву (0,6 – 1,75 МПа). Це пояснюється тим, в порівнянні з попереднім експериментом, що матеріал балочок – цементний камінь який має пори, заповних їх водою, що збільшило міцність на розрив.

Враховуючи цей фактор досліди експерименту були повторені, але цементні балочки заздалегідь занурювались в воду і витримувались 24 години. Після витримки балочки знову зклеювались і випробовувались. Нові дані мають зовсім іншу картину (табл. 5.2 і рис. 5.4 – 5.6). У даному випадку міцність відриву спостерігається.

Таблиця 5.2

Вплив добавок на адгезію цементного каменю при склеюванні мокрих поверхонь, цемент М400

№ досліду	X ₁ - ВЦ	X ₂ товщина, мм	Наявність добавки	Сила відриву, кгс	Площа поверхні, см ²	Адгезія, МПа	Міцність при стискуванні	
							1 доба	7 діб
1	0,34	5	Квасці, ЗАС, бішофіт	216	22,5	0,96		
2	0,34	1	Квасці, ЗАС, бішофіт	175	23,6	0,74	8,19	21,3
3	0,3	5	Квасці, ЗАС, бішофіт	243	31,6	0,77	7,78	19,86
4	0,34	1	Квасці, ЗАС, бішофіт	172,5	28,7	0,61	3,63	12,13
5	0,34	3	Квасці, ЗАС, бішофіт	199	23,4	0,85	7,78	12,81
6	0,3	3	Квасці, ЗАС, бішофіт	168	27,1	0,62	3,18	8,94
7	0,32	5	Квасці, ЗАС, бішофіт	207,3	21,82	0,95	5,26	11,15
8	0,32	1	Квасці, ЗАС, бішофіт	146,7	17,9	0,82	4,97	12,71

9	0,32	3	Квасці; ЗАС; бішофіт+Na NO ₂ 0,25%	195,8	16,32	1,2	12,47	27,15
10	0,32	3	Квасці; ЗАС; бішофіт+Na NO ₂ 0,25%	260,5	14,89	1,75	14,57	28,8
11	0,32	3	Квасці; ЗАС; бішофіт+Na NO ₂ 0,25%	276,0	18,4	1,5	15,71	26,33

Згідно математичного планування експерименту рівняння має вигляд:

$$Y_{\text{міц.}} = 75,81 - 11,75X_1 + 21,55X_2 + 2,7X_3 - 4,53X_1^2 + 3,93X_2^2 - 3,23X_1X_3;$$

$$FP < FT (6,1 < 19,3)$$

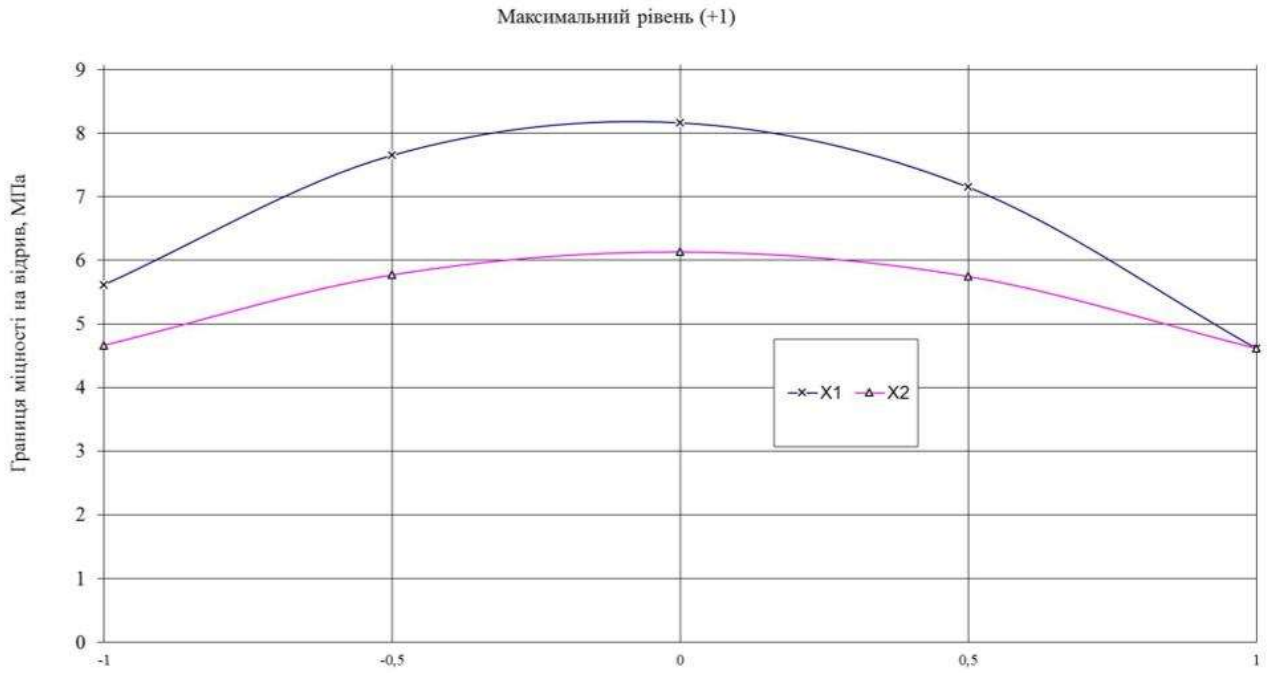
Вплив змінних факторів експерименту на адгезію цементного каменя при склеюванні зволжених поверхонь інтерпретовано на рис. 5.4, 5.5, 5.6.

Аналіз графіків показує, що найбільший вплив на адгезію чинить величина водоцементного відношення і товщина шару склеювання на середньому рівні.

При знаходженні факторів на середньому рівні, найбільша показник адгезії при товщині шару склеювання 3мм, В/Ц – 0,35.

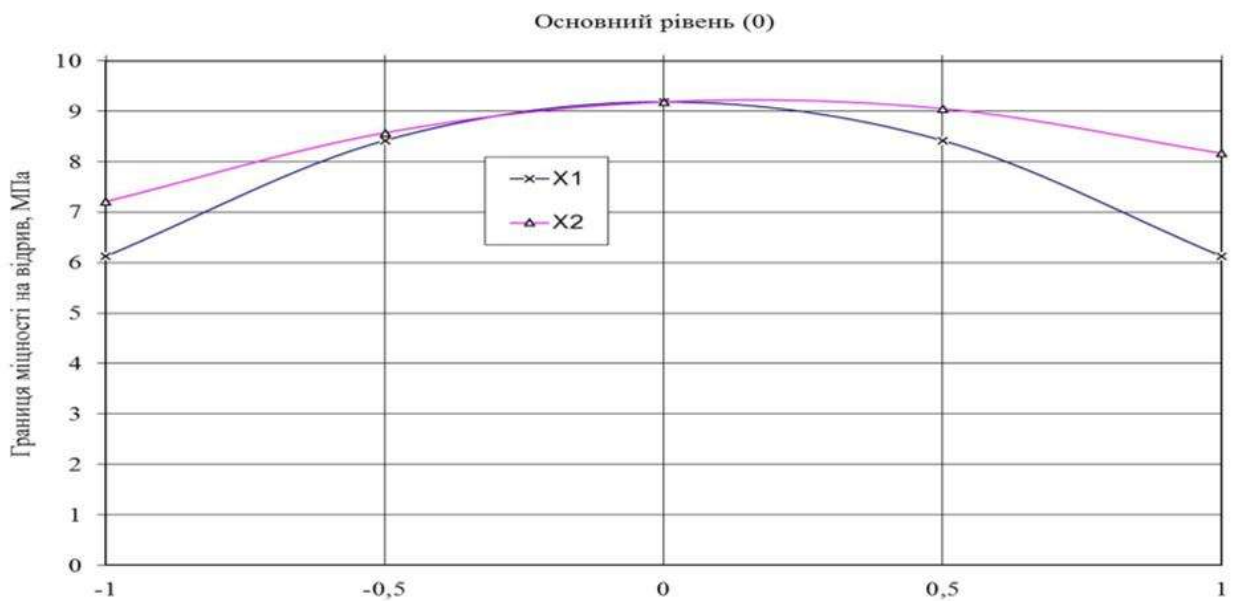
При знаходженні факторів на середньому рівні, найбільша адгезія отримана при товщині шару склеювання 3мм, В/Ц – 0,35.

При знаходженні факторів на мінімальному рівні, найбільша адгезія отримана при товщині шару склеювання 3мм та вменшій мірі В/Ц – 0,35.



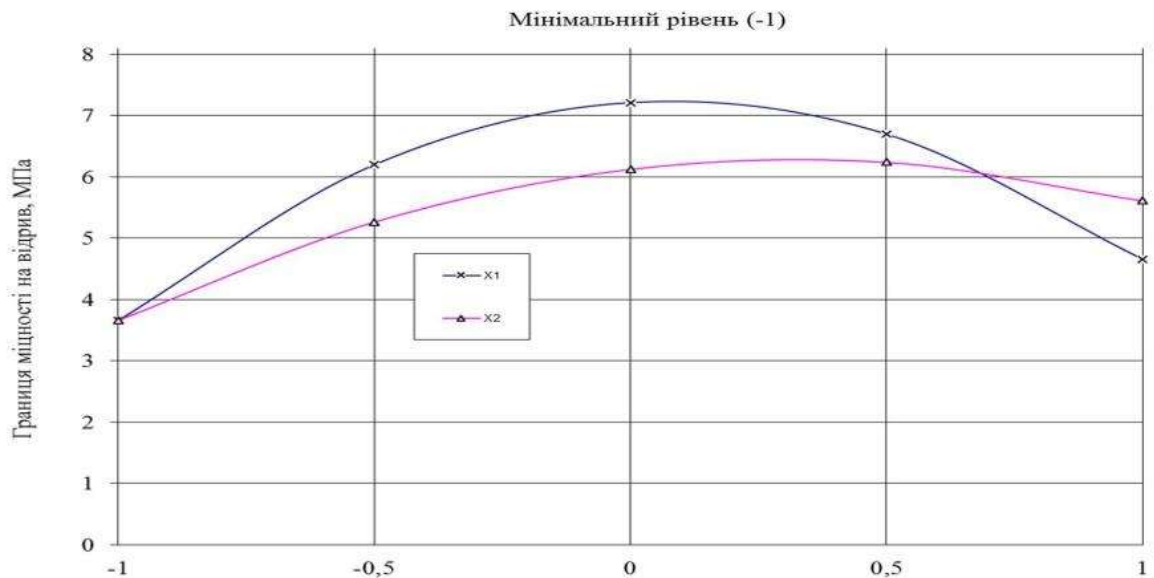
Змінні фактори X1, X2.

Рис. 5.4 Залежність міцності цементного каменю на відрив від В/Ц та товщини шва.



Змінні фактори X1, X2.

Рис. 5.5 Залежність міцності цементного каменю на відрив від В/Ц та товщини шва.



Змінні фактори X1, X2.

Рис. 5.6 Залежність міцності цементного каменю на відрив від В/Ц та товщини шва.

5.4. Вплив добавок на адгезію цементного каменю при склеюванні мокрих поверхонь, цемент М500

Результати випробувань представленні в таблицях 5.3 і рисунках 5.7-5.9, які свідчать про міцність при відриву (3,5 – 9,3 МПа). Це пояснюється тим, в порівнянні з попередніми експериментом, збільшило мцність на розрив за рахунок водонасичення зразків цементу водою та збільшенням активності цементного розчину.

Враховуючи цей фактор досліди експерименту були повторені, але цементні балочки заздалегідь занурювались в воду і витримувались 24 години. Після витримки балочки знову зклеювались і випробовувались. Нові дані мають зовсім іншу картину (табл. 5.3 і рис. 5.7 – 5.9). У даному випадку міцність відриву спостерігається.

Таблиця 5.3

Вплив добавок на адгезію цементного каменю при склеюванні мокрих поверхонь, цемент М500

№ досл іду	X ₁ - ВЦ	X ₂ товщина, мм	Наявність добавки	Сила відриву, кгс	Площа поверхні, см ²	Адгезія, МПа	Міцність при стискуванні	
							1 доба	7 днів
1	0,34	5	Квасці, ЗАС, бішофіт	216	22,5	3,46		
2	0,34	1	Квасці, ЗАС, бішофіт	175	23,6	3,19	8,19	21,3
3	0,3	5	Квасці, ЗАС, бішофіт	243	31,6	6,94	7,78	19,86
4	0,34	1	Квасці, ЗАС, бішофіт	172,5	28,7	4,22	3,63	12,13
5	0,34	3	Квасці, ЗАС, бішофіт	199	23,4	8,1	7,78	12,81
6	0,3	3	Квасці, ЗАС, бішофіт	168	27,1	5,36	3,18	8,94
7	0,32	5	Квасці, ЗАС, бішофіт	207,3	21,82	8,45	5,26	11,15
8	0,32	1	Квасці, ЗАС, бішофіт	146,7	17,9	8,13	4,97	12,71
9	0,32	3	Квасці; ЗАС; бішофіт+Na NO ₂ 0,25%	195,8	16,32	8,54	12,47	27,15
10	0,32	3	Квасці; ЗАС; бішофіт+Na NO ₂ 0,25%	260,5	14,89	8,52	14,57	28,8
11	0,32	3	Квасці; ЗАС; бішофіт+Na NO ₂ 0,25%	276,0	18,4	9,28	15,71	26,33

Згідно математичного планування експерименту рівняння має вигляд:

$$Y_{\text{міц.}} = 75,81 - 11,75X_1 + 21,55X_2 + 2,7X_3 - 4,53X_1^2 + 3,93X_2^2 - 3,23X_1X_3;$$

$$FP < FT (6,1 < 19,3)$$

Вплив змінних факторів експерименту на адгезію цементного каменя при склеюванні зволжених поверхонь інтерпретовано на рис. 5.4, 5.5, 5.6.

Аналіз графіків показує, що найбільший вплив на адгезію чинить величина водоцементного відношення, а товщина шару склеювання не впливає на адгезію.

При знаходженні факторів на середньому рівні, найбільша показник адгезії при товщині шару склеювання В/Ц – 0,35.

При знаходженні факторів на середньому рівні, найбільша адгезія отримана при товщині шару склеювання В/Ц – 0,35, а товщина шару склеювання не впливає на адгезію..

При знаходженні факторів на мінімальному рівні, найбільша адгезія отримана при товщині шару склеювання, а товщина шару склеювання не впливає на адгезію.

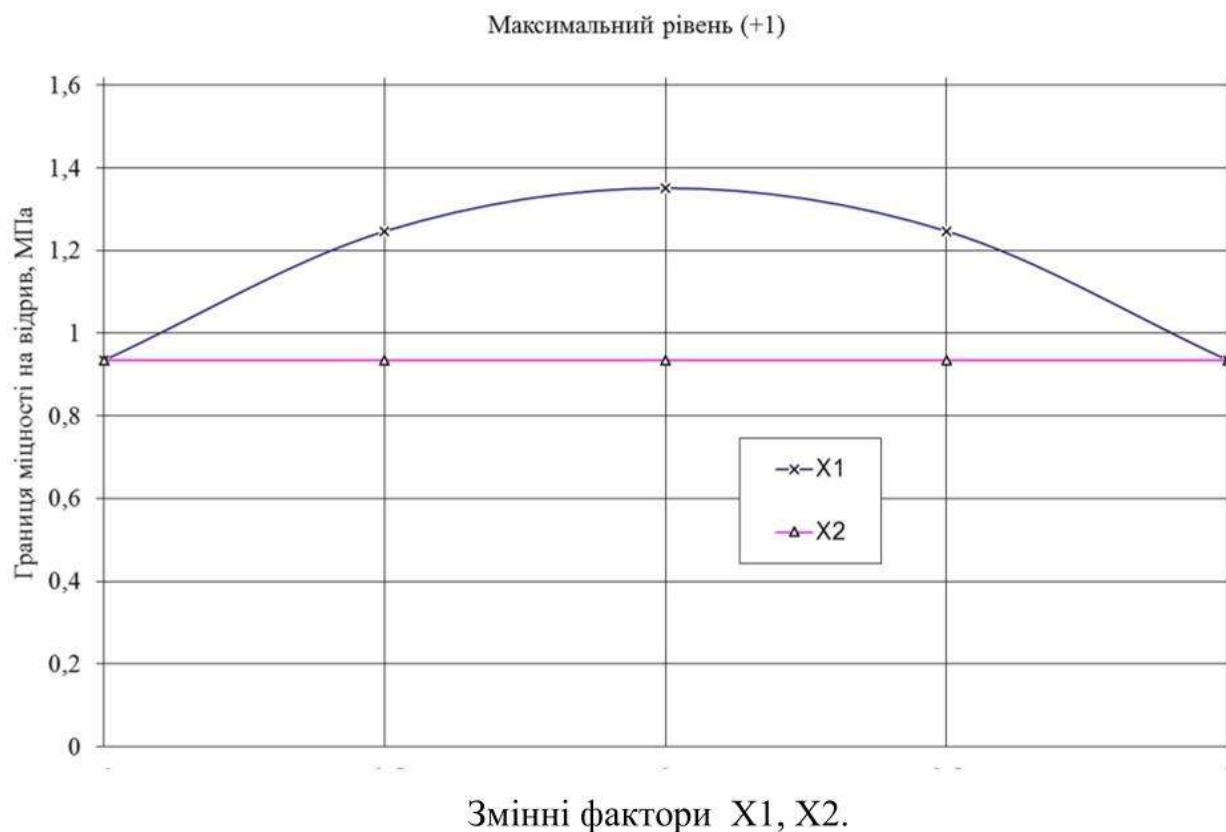
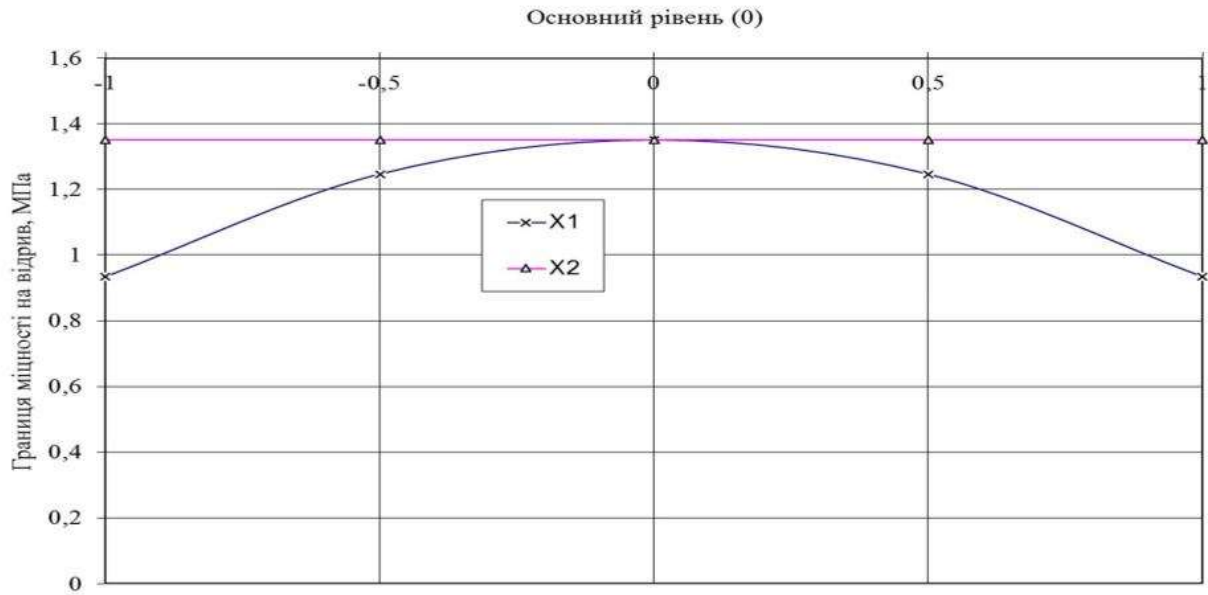
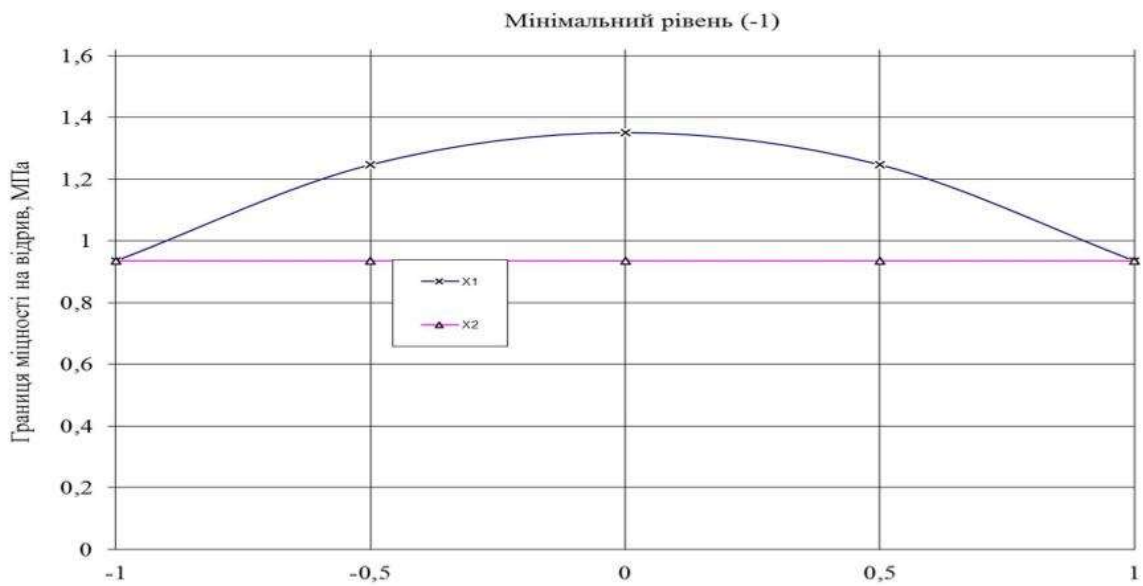


Рис. 5.7 Залежність міцності цементного каменя на відрив від В/Ц та товщини шва.



Змінні фактори X1, X2.

Рис. 5.8 Залежність міцності цементного каменю на відрив від В/Ц та товщини шва.



Змінні фактори X1, X2.

Рис. 5.9 Залежність міцності цементного каменю на відрив від В/Ц та товщини шва.

Цемент ПЦ I 500 М. Таблиця 4.3

Від 0.6 до 1.5 МПа, залежить в основному від В/Ц тіста і наявності хімічних добавок. Особливо слід відмітити позитивний вплив нітриту натрію. При його додаванні міцність зростає до 1.75 МПа. Така позитивна залежність справджується для різних видів цементу.

Паралельно зі склеюванням балочок з цементного тіста виготовлялися кубики розміром 2*2*2 см. Випробовувалися на стиск також через 7 діб.

Цементне тісто показало дуже високу міцність при стиску і має підвищену адгезію. Це безумовно не випадково, оскільки були створені сприятливі умови для кристалізації цементного тіста як у кубиках так і в клеючій речовині для з'єднання балочок.

За літературними джерелами адгезія цементного каменю до бетонної поверхні у межах 9 МПа.[]Одержані результати повністю узгоджуються із наведеними даними.

5.5 Заключення та рекомендації

Адгезійні властивості в'язучих речовин відіграють значну роль у створенні міцних структур при одержанні бетонних виробів і при реставраційних роботах тому виконана робота має теоретичне й практичне значення.

Для забезпечення високої адгезії композицій, що тверднуть необхідно виконати декілька умов.

- до складу клеючих композицій повинні входити полярні функціональні групи;

- для прояву адгезії потрібен тісний контакт між склеюваним матеріалом і клеєм, забезпечуваний рідиною. Хороше змочування забезпечується властивостями рідини і поверхні, що змочується;

- на адгезійні властивості впливає ступінь дисперсності клеючої речовини;

- найбільшою дисперсністю володіють гідратовані сполуки клінкерних мінералів, які створюють цементний гель;

- цементний гель є матрицею для утворення кристалізаційних контактів між старою поверхнею і клеючою речовиною;
- для виникнення кристалізаційних контактів бажано стару поверхню ретельно змочувати водою, щоб поверхневі пори повністю заповнити водою, в цей простір проникає цементний гель, викристалізовується, утворені кристали зростаються між собою і з кристалами старої поверхні.

5.6. Технічна характеристика оптимального складу для склеювання бетонних зразків

Склеювальна речовина із цементного тіста

Цемент ПЦ І 500 н

В/Ц тіста – 0,32-0,34

Товщина шва, мм – 3-5

Стан поверхонь, що склеюються – поверхні мокрі

Склад комплексної добавки:

Залізонатрієві квасці, % - 1,8

ЗАС, % - 0,5

Бішофіт, % - 1,5

NaNO₂, % - 0,25

Міцність при відриву, МПа через:

1 доба твердіння – 3,46-9,28

7 діб

Міцність при стиску, МПа – 19,86-26,33

РОЗДІЛ 6. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ

6.1. Бетонні роботи

Під час приготування, подавання, укладання і догляду за бетоном та будівельним розчином заготовлення, монтажу арматури, а також монтажу та демонтажу опалубки повинні бути вжиті заходи із запобігання впливу на працюючих таких небезпечних і шкідливих виробничих факторів:

- розташування робочих місць поблизу перепаду по висоті до 1,3 м і більше;
- машини, що рухаються, та предмети, що ними переміщуються;
- обвалення елементів будівельних конструкцій і опалубки;
- підвищена температура арматури (під час виконання робіт із попереднього термонапруження арматури);
- шум і вібрація, недостатня освітленість робочого місця;
- несприятливі метеорологічні умови;
- підвищена напруга в електричному колі, замикання якого може відбутися через тіло людини.

За наявності попередньо зазначених небезпечних і шкідливих виробничих факторів, безпека виконання бетонних робіт повинна бути забезпечена відповідно до вимог проектно-технологічної документації. Одночасно необхідно визначити:

- небезпечні зони та засоби їх позначення (огорожі);
- безпечні засоби механізації для приготування, транспортування, подавання та укладання бетону;
- несучу здатність, міцність та стійкість опалубки, послідовність її монтажу та демонтажу;
- послідовність монтажу арматури;
- заходи та засоби забезпечення безпеки робочих місць на висоті;
- заходи та засоби безпеки праці під час догляду за бетоном у теплу та холодну пори року.

Цемент для виконання бетонних робіт необхідно зберігати в силосах, бункерах, ларях, інших закритих ємностях, запобігаючи розпиленню під час завантаження і вивантаження. Завантажувальні отвори повинні бути закриті захисними ґратами, а ґрати закриті на замок.

Під час використання пари для прогрівання заповнювачів, що знаходяться в бункерах або інших ємностях, необхідно вживати заходів для запобігання проникненню пари в робочі приміщення.

Спускання робітників у камери, що обігріваються парою, допускається після відключення подачі пари, охолодження камери і розташованих в ній матеріалів та виробів до температури плюс 40 °С.

6.2. Порядок виконання робіт

Перед початком бетонних робіт керівник зобов'язаний:

- перевірити стійкість, міцність, справність риштувань, конструкцій опалубки, огорож робочих горизонтів;
- перевірити справність тари, бункерів, бетононасосів, маніпуляторів; - забезпечити працівників необхідними засобами індивідуального захисту.

Робота змішувальних машин повинна здійснюватися з дотриманням таких вимог:

- очищення прямиків для завантажувальних ковшів повинно здійснювати після надійного закріплення ковша в піднятому положенні;
- очищення барабанів і корит змішувальних машин дозволяється тільки після зупинки машини і зняття напруги.

Під час заготівлі арматури необхідно:

- огорожувати місця, призначені для розмотування бухт (мотків) і виправлення арматури;
- під час різання верстатами стрижнів арматури на відрізки довжиною менше ніж 30 см застосовувати пристрої, що запобігають їх розлітання;
- огорожувати робоче місце під час обробки стрижнів арматури, що виступають за габарити верстака, а у разі використання двобічних верстаків,

крім цього, розділяти верстак посередині поздовжньою металевою запобіжною сіткою висотою не менше ніж 1 м;

- складати заготовлену арматуру в спеціально відведені для цього місця;

- закривати щитами торцеві частини стрижнів арматури в місцях загальних проходів, які повинні бути завширшки не менше ніж 1,0 м.

Стропування арматурних стрижнів або каркасів під час переміщення їх вантажопідіймальними кранами повинні здійснювати стропальники.

Складати арматурні каркаси вертикальних конструкцій (колон, стінової огорожі тощо) необхідно з робочих настилів шириною не менше ніж 0,8 м, що мають захисну огорожу.

Відстань між настилами по висоті повинна бути не більше ніж 2,0 м.

Під час виконання робіт на висоті робоче місце арматурника повинно бути огорожено. Якщо неможливо встановити огорожу, а також якщо нахил робочої поверхні більше ніж 20° , працівники повинні користуватись запобіжними поясами і страхувальними канатами, місця закріплення яких визначаються у технологічних картах.

Під час зварювання арматури у закритих приміщеннях робочі місця зварювальників повинні бути відділені від суміжних робочих місць і проходів переносними ширмами з незаймистих матеріалів.

Елементи каркасів арматури необхідно пакетувати з урахуванням умов їх піднімання, складування і транспортування до місця монтажу.

Доступ робітників на встановлені арматурні та арматурноопалубні блоки до повного їх закріплення забороняється.

Ходіння по укладеній арматурі допускається тільки по спеціальних настилах завширшки не менше ніж 0,6 м, закріплених на арматурному каркасі.

Арматурні випуски з плит за їх висоти над рівнем бетону до 1,0 м повинні бути захищені (наприклад, гофрованою пластмасовою трубкою).

Установлення підкладок чи фіксаторів захисного шару під виготовлені арматурні сітки необхідно виконувати з використанням подовжувачів.

Під час проектування технології будівництва монолітних, каркасно-монолітних будівель і споруд необхідно передбачати відставання зведення

конструкцій сходових кліток не більше ніж на один поверх. Методи піднімання працівників на робочі горизонти повинні бути визначені в ПВР.

Опалубка для зведення вертикальних елементів будівель і споруд повинна бути жорстко закріплена на робочому горизонті. Опалубка повинна бути облаштована елементами (площадки, драбини тощо), використання яких забезпечує безпечне піднімання працівників на позначки робочих місць.

Методи захисту від падіння з висоти працівників, елементів опалубки під час її улаштування та розбирання повинні бути передбачені в технологічних картах на виконання бетонних робіт.

Переміщення завантаженого або порожнього бункера для бетону дозволяється тільки, якщо затвор зачинено.

Під час укладання бетону з бункера відстань між нижнім краєм бункера та раніше покладеним бетоном або поверхнею, на яку укладається бетон, повинна бути не більше ніж 1,0 м, якщо інші відстані не передбачені ПВР.

Подавання бетонної суміші за допомогою бетононасоса за відсутності надійної сигналізації між оператором і робітниками, які укладають бетон, забороняється.

Перед включенням бетононасоса повинна бути перевірена надійність роботи замкових з'єднань і ввімкнута сигналізація.

Перед початком укладання бетонної суміші віброхоботом повинна бути перевірена справність та надійність закріплення всіх його ланок між собою і до страхувального каната.

Під час подавання бетону до місця його укладання бетононасосами необхідно забезпечити вільний доступ до стаціонарних вертикальних стояків бетоноводів.

Здійснювати монтаж і демонтаж бетоноводів дозволяється тільки після зниження тиску у бетоноводі до атмосферного.

Під час подавання бетону за допомогою бетононасоса необхідно:

- відводити всіх працюючих від бетоноводу на час його продування на відстань не менше ніж 10 м;

- укласти бетоноводи на прокладки для зменшення впливу динамічного навантаження на арматурний каркас і опалубку під час подавання бетону.

Видалення пробки з бетоноводу стисненим повітрям допускається за умов:

- наявності захисного щита вихідного отвору бетоноводу;
- перебування працюючих на відстані не менше ніж 10 м від вихідного отвору бетоноводу;
- рівномірного без перевищення допустимого тиску подавання повітря до бетоноводу.

За неможливості видалення пробки необхідно скинути тиск у бетоноводі, простукуванням знайти місце, де знаходиться пробка в бетоноводі, роз'єднати бетоновід і видалити пробку чи замінити засмічену ланку.

Здійснювати ремонт, монтаж, демонтаж, перевірку надійності швидкознімальних з'єднань ланок бетоноводу або їх заміну під час роботи бетононасоса заборонено.

Улаштування елементів опалубки у кілька ярусів допускається у разі, якщо це передбачено інструкцією з експлуатації опалубки заводу-виробника.

Розбирати опалубку з дозволу керівника робіт допускається після досягнення бетоном не менше 70 % міцності, що визначена проектною документацією конструкції.

Під час розбирання опалубки повинні бути вжиті заходи з унеможливлення випадкового падіння працюючих, елементів опалубки, обвалення підтримувальних риштувань і конструкцій.

Монтаж, демонтаж, експлуатацію самопіднімальної опалубки необхідно виконувати згідно з інструкцією організації-виробника.

Під час пересування секцій ковзної опалубки та пересувних риштувань повинні бути вжиті заходи, що забезпечують безпеку працюючих. Особам, що не беруть участі у цій операції, перебувати на секціях опалубки чи на риштуваннях забороняється.

Під час ущільнення бетонної суміші електровібраторами переміщувати їх необхідно за допомогою спеціальних тяг; під час перерв у роботі та під час переходу з одного місця на інше електровібратори повинні бути вимкнуті.

Експлуатація електрокабелю, що живить вібратор, з пошкодженою ізоляцією заборонена.

Під час електропрогрівання бетону, монтажу та приєднання електрообладнання до живильної мережі роботу повинні виконувати тільки електромонтери, які мають кваліфікаційну групу з електробезпеки не нижче III.

Місце електропрогрівання бетону повинно бути огорожене згідно з вимогами захисною огорожею, на якій встановлюються попереджувальні написи та сигнальні лампи червоного кольору (у разі виходу їх з ладу (перегоряння) повинно відбуватися автоматичне відключення напруги на прогрівальній ділянці).

У зоні електропрогрівання повинні бути застосовані ізольовані гнучкі кабелі чи провідники у захисних ізоляційних шлангах. Заборонено прокладати живильні провідники чи кабелі безпосередньо по ґрунту чи по шару тирси, а також використовувати провідники та кабелі з пошкодженою ізоляцією.

Зона електропрогрівання бетону повинна знаходитися під цілодобовим наглядом електромонтерів, які виконують монтаж електричної мережі.

Перебування працівників і виконання робіт на цих ділянках не допускається за винятком робіт, що виконуються за нарядом-допуском.

Вимірювати температуру прогрівання бетону дозволяється лише при повному знятті напруги або при нарузі не більше ніж 25 В.

Відкрита (не забетонowana) арматура залізобетонних конструкцій, що пов'язана з ділянкою, яка знаходиться під електропрогріванням, підлягає заземленню.

Після кожного переміщення електрообладнання, що застосовувалось під час прогрівання бетону, на нове місце необхідно візуально проконтролювати стан мережі живлення та інструментально виміряти опір ізоляції.

Забороняється виконання бетонних робіт з риштувань, площадок тощо під час грози, ожеледі, туману і за швидкості вітру 12 м/с і більше.

Під час свердління алмазними кільцевими свердлами технологічних отворів для монтажу трубопроводів у бетонних і залізобетонних конструкціях на місці очікуваного падіння керна повинна бути відгороджена небезпечна зона. Під час експлуатації на будівельному об'єкті маніпулятора з гідравлічним приводом стріли-розподільника заборонено:

- перебувати у небезпечній зоні в радіусі 4 м від місця розташування розподільного шланга або безпосередньо під стрілою-розподільником бетону;
- виконувати роботи маніпулятором у межах охоронних зон діючих ЛЕП, а також на відстані елементів маніпулятора (за винятком розподільного шланга) від будівельних конструкцій менше ніж 1,0 м;
- експлуатувати маніпулятор за мінусової зовнішньої температури, а також під час перевищення швидкості вітру, зазначеної в паспорті заводу-виробника маніпулятора;
- виконувати виробничі операції з гідроманіпулятором із зусиллями, що не передбаченні інструкцією з його експлуатації.

До роботи з маніпулятором допускаються особи, що пройшли спеціальне навчання та відповідний інструктаж із безпечного ведення робіт.

6.3. Організація робочих місць

Під час бетонування перекриттів опалубку необхідно огородити вздовж всього периметру. Всі отвори в робочій підлозі опалубки повинні бути закриті щитами. Якщо необхідно, щоб отвори були постійно відкритими, вони повинні бути закриті ґратами.

Місця розташування опор стояків опалубки перекриттів повинні бути огорожені та позначені заборонними знаками безпеки з пояснювальними написами. Вхід (прохід) під час виконання бетонних робіт в (через) цю зону заборонено.

Перед монтажем збірної опалубки стін, колон, пілонів, що розташовані на краю перекриття, ригелів, склепінь у випадках, коли монтажник під час

виконання робіт перебуває не на робочій підлозі опалубки, повинні бути улаштовані робочі настили завширшки не менше ніж 0,8 м із захисними суцільними огорожами, конструкція яких повинна бути розрахована на можливі технологічні навантаження і бути визначена у ПВР.

Після зняття частини ковзної опалубки та підвісних риштувань торцеві сторони опалубки необхідно огородити.

Для захисту працівників, що виконують роботи на підвісних риштуваннях, від предметів, що можуть падати зверху, по зовнішньому периметру ковзної опалубки повинні бути обладнані козирки шириною не менше ніж ширина риштувань.

Вантажно-розвантажувальні роботи, знімні вантажозахоплювальні пристрої, стропи і тара, призначені для подавання бетонної суміші вантажопідіймальними кранами, повинні відповідати вимогам розділу 8 цих Норм та НПАОП 0.00-1.01.

На ділянках натягання арматури в місцях, де можуть проходити люди, повинна бути встановлена захисна огорожа висотою не менше ніж 1,8 м.

Пристрої для натягування арматури повинні бути обладнані сигналізацією, що приводиться у дію під час включення приводу натяжного пристрою. Забороняється перебування людей на відстані ближче ніж 1,0 м від арматурних стрижнів, що нагріваються електрострумом.

Заготівлю та складання укрупнених арматурних каркасів необхідно виконувати у спеціально призначених для цього місцях.

Під час застосування бетонних сумішей з хімічними добавками необхідно використовувати захисні рукавички й окуляри.

Естакада для подавання бетонної суміші автосамоскидами повинна бути обладнана відбійними брусами. Між відбійними брусами й огорожами повинні бути передбачені проходи завширшки не менше ніж 0,6 м. На тупикових естакадах повинні бути встановлені поперечні відбійні бруси.

Під час вивільнення кузовів автосамоскидів від залишків бетонної суміші працівникам забороняється перебувати в/на кузові транспортного засобу.

ВИСНОВКИ

1. Результати досліджень зволжених балочок свідчать про свідчать про дуже низьку міцність при відриву (0,2 – 0,85 МПа). Це пояснюється тим, що матеріал балочок – цементний камінь має до 53% пор, а така кількість пор безумовно відсмоктує воду із цементного тіста і умови зчеплення різко погіршуються.

2. Результати випробувань на адгезію цементного каменю при склеюванні мокрих поверхонь, цементом М400, збільшило про міцність при відриві (0,6 – 1,75 МПа). Це пояснюється тим, в порівнянні з попереднім експериментом, цементний камінь, який насичений водою має більшу міцність на розрив.

3. Результати випробувань на адгезію цементного каменю при склеюванні мокрих поверхонь, цемент М500, з міцністю при відриву (3,5 – 9,3 МПа), суттєво збільшився міцнісний показник, а при цьому результати досліджень показали, що міцність збільшується на середньому рівні водоцементного співвідношення не залежно від товщини шару склеювання.

ЛІТЕРАТУРНІ ДЖЕРЕЛА

1. Гоц В. І. Бетони і будівельні розчини. – К. : КНУБА, 2016. – 568 с.
2. Дворкін Л. Й., Дворкін О. Л. Будівельне матеріалознавство. – Рівне : НУВГП, 2013. – 448 с.
3. Дворкін Л. Й. Бетони і розчини на основі мінеральних в'язучих. – Рівне : НУВГП, 2011. – 400 с.
4. Руденко Д. В. Фізико-хімічні основи технології модифікованого бетону для споруд спеціального призначення : монографія. – Дніпро : Герда, 2018. – 344 с.
5. Плугін А. А. Фізико-хімічні основи тверднення в'язучих речовин. – Харків : УкрДУЗТ, 2014. – 280 с.
6. Ковальчук В. П. Будівельні матеріали. – Львів : Львівська політехніка, 2018. – 384 с.
7. Санніков Д. Г. Технологія будівельних матеріалів. – К. : Ліра-К, 2019. – 320 с.
8. Баженов Ю. М. Технологія бетону (укр. переклад). – К. : Вища школа, 2012. – 496 с.
9. Пшінько О. М. Будівельні матеріали і вироби. – Дніпро : НГУ, 2017. – 350 с.
10. Барановський В. І. Матеріалознавство в будівництві. – К. : Основа, 2015. – 420 с.
11. Кіріченко В. І. Будівельні матеріали. – К. : Вища школа, 2013. – 360 с.
12. Семко О. В. Сучасні будівельні матеріали. – Полтава : ПНТУ, 2020. – 300 с.
13. Шишкін О. О. Модифіковані бетони підвищеної довговічності. – Кривий Ріг, 2018. – 280 с.
14. Плугін А. А., Плугін О. А. Модифікація цементних систем. – Харків : УкрДУЗТ, 2016. – 250 с.
15. Бабич Є. М. Будівельні матеріали. – К. : КНУБА, 2017. – 400 с.

16. Іщенко А. А. Технологія бетонних і залізобетонних конструкцій. – К. : Основа, 2016. – 350 с.
17. Кравчук В. П. Сучасні технології бетону. – Львів : Львівська політехніка, 2019. – 310 с.
18. Онищенко В. О. Довговічність бетонних конструкцій. – К. : Ліра-К, 2018. – 280 с.
19. ДСТУ Б В.2.7-214:2009. Бетони. Методи визначення міцності за контрольними зразками.
20. ДСТУ Б В.2.7-176:2008. Суміші бетонні. Технічні умови.
21. ДСТУ Б В.2.7-46:2010. Цементи загальнобудівельного призначення. Технічні умови.
22. ДСТУ Б В.2.7-185:2009. Цементи. Методи визначення нормальної густоти, строків тужавлення та рівномірності зміни об'єму.
23. ДСТУ Б В.2.7-273:2011. Вода для бетонів і розчинів. Технічні умови.
24. ДСТУ-Н Б В.2.6-185:2012. Настанова з проектування бетонних і залізобетонних конструкцій.
25. ДБН В.2.6-98:2009. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення.
26. ДСТУ Б В.2.7-32-95. Пісок щільний природний для будівельних матеріалів.
27. ДСТУ Б EN 206:2019. Бетон. Вимоги, властивості, виробництво і відповідність.
28. ДСТУ Б В.2.7-43-96. Щебінь і гравій для будівельних робіт.
29. ДСТУ-Н Б EN 1992-1-1:2010 (Єврокод 2). Проектування залізобетонних конструкцій.
30. ДСТУ Б EN 12390-3:2018. Випробування бетону. Визначення міцності на стиск.
31. ДСТУ Б EN 1008:2014. Вода замішування для бетону.
32. ДСТУ Б EN 197-1:2015. Цемент. Склад, технічні вимоги та критерії відповідності.
33. ДСТУ Б EN 12620:2013. Заповнювачі для бетону.

34. ДСТУ Б EN 934-2:2019. Добавки для бетону, розчинів і цементних розчинів.

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

Графічні та табличні матеріали до дипломної роботи

**«ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ КОМПЛЕКСНОЇ ДОБАВКИ
НА АДГЕЗІЮ БЕТОНУ»**

Виконав:	Д.О. Самольотов
Керівник:	О.М. Гукасян
Завідувач кафедри:	О.В. Семко
Рецензент:	Ю.О. Побуховська

Полтава 2025

ВИСНОВКИ ДО ОГЛЯДУ ЛІТЕРАТУРИ

Основні висновки до огляду літератури

1. В'язучими властивостями володіють дисперсні речовини, які при взаємодії із рідиною замішування здатні утворювати гідратні сполуки (аквакомплекси, сольватоккомплекси).
2. Портландцемент складається з 4-х основних мінералів клінкеру, здатних взаємодіяти з водою і утворювати гідросилікати, гідроалюмінати, гідроферити і гідроксид кальцію.
3. Швидкість гідратації мінералів періодична, спостерігаються етапи прискорення і уповільнення.
5. При замішуванні цементу з водою утворюється спочатку цементне тісто, в процесі гідратації виникають гідратні форми колоїдних розмірів і утворюють тоберморитовий гель, за рахунок під час коагуляції відбувається тужавлення тіста.
6. В коагуляційній структурі виникає дрібнозернистий кристалічний каркас з етtringіту і гідросилікатів кальцію.
8. Процес кристалізації гідросилікатів полегшують спеціальні «затравки», тобто готові центри кристалізації, у якості затрок можуть бути заздалегідь гідратований цемент, або алюмосилікати (пелигорскит), або аквакомплекси сульфатів лужних і трьохвалентних металів (квасци).
9. Головні властивості цементного каменю – це міцність, яка залежить від дуже багатьох факторів, серед яких фактори твердіння, ступінь кристалічності, форма і розміри кристалів.
10. Процеси твердіння і властивості цементного каменю можна з успіхом регулювати введенням комплексних хімічних добавок.
11. Адгезійними властивостями володіють речовини, які мають у своєму складі полярні молекули.
12. Найкраща адгезія на міцність одержується у тому випадку коли в цементному тісті кристали алюмініатів, чи силікатів кальцію, які зростаються із кристалами поверхні що склеюється.

МЕТА РОБОТИ ТА ОСНОВНІ ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Мета роботи – за показниками міцності відриву підібрати склад цементної системи придатної для з'єднання між собою бетонних елементів або для реставраційних робіт.

Об'єкт дослідження – зразки цементних балочок склеєні цементним тістом марок ПЦ400, ПЦ500 та з додаванням добавок.

Предмет досліджень: міцність при відриві цементного шва, водоцементне відношення тіста, ступінь зволоження поверхонь що склеюється, товщина склеюваного шва

Основні задачі дослідження

1. Підібрати раціональний спосіб склеювання двох бетонних зразків.
2. Дослідження динаміки зміни міцності цементного каменю на відрив від В/Ц та товщини шва.
3. Провести аналіз впливу добавок на адгезію.

МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

№ дослід	Рівні змінних факторів		Значення змінних факторів	
	x ₁	x ₂	x ₁	x ₂
1	1	1	0,4	5
2	1	-1	0,4	1
3	-1	1	0,3	5
4	-1	-1	0,3	1
5	1	0	0,4	3
6	-1	0	0,3	3
7	0	1	0,35	5
8	0	-1	0,35	1
9	0	0	0,35	3
10	0	0	0,35	3
11	0	0	0,35	3

Планування експерименту за
допомогою 2х факторного експерименту

X1 – Величина В/Ц: 0,3; 0,35; 0,4;

X2 – товщина склеюваного шару, мм: 1,3, 5;

Наявність добавок в дослідях 1-8.

МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТУ



Для склеювання балок використовували чисте цементне тісто при вказаному значенні В/Ц, а також із добавками:
а) – квасци + ЗАС; б) – квасци + ЗАС + бішофіт;
в) – квасци + ЗАС + бішофіт + NaNO_2



Після затвердіння цементного шару балочки випробовувалися на розрив, на пресі РП-5

ДОСЛІДЖУВАНІ ЗРАЗКИ

6



Зразки до випробування на розрив, на пресі РП-5



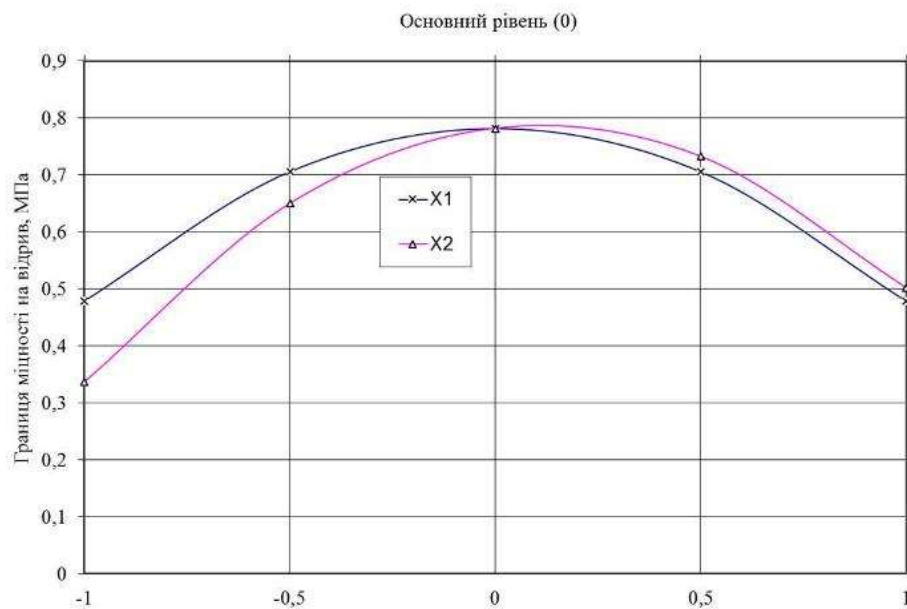
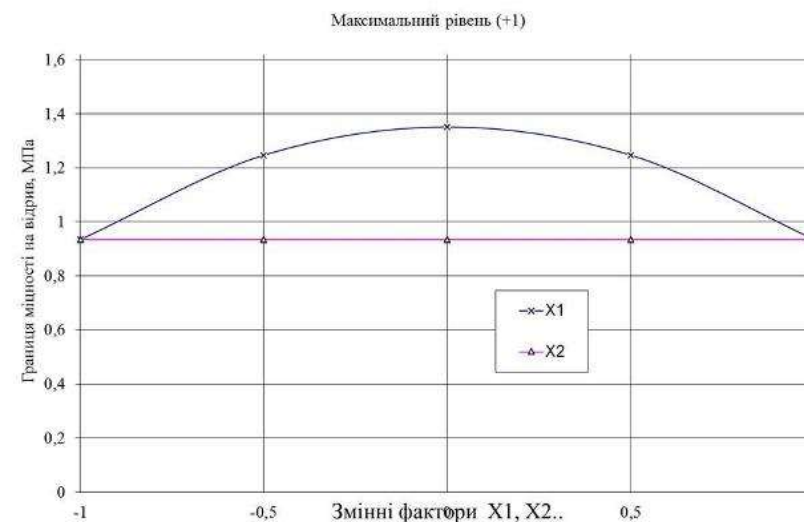
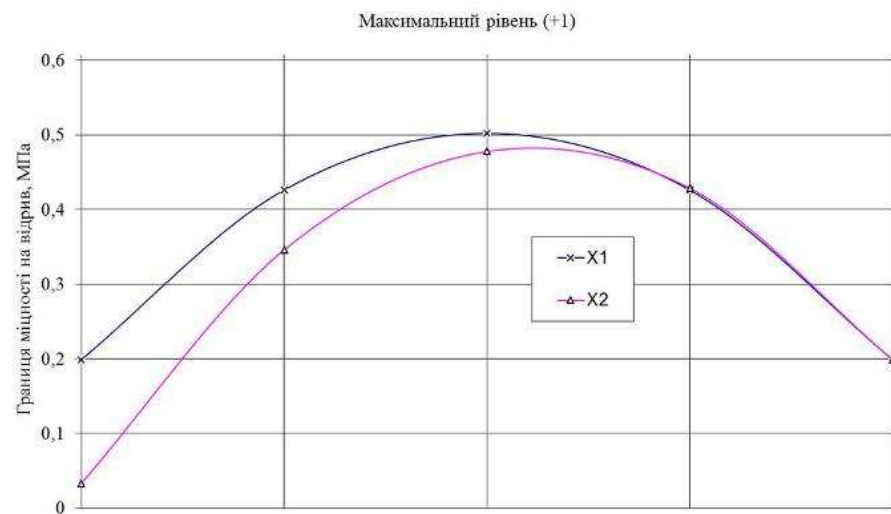
Зразки після випробування на розрив, на пресі РП-5

Вплив компонентної добавки на адгезію цементного каменя при склеюванні зволжених поверхонь

№ досліду	X ₁	X ₂	Наявність добавок	Сила відриву, кгс	Адгезія, МПа	Площа відриву, см ²
	В/Ц	Товщина, мм				
1	0.32	5	Квасці 1,8% ЗАС – 0,5% Бішофіт 1,5%	119	0,35	34
2	0.34	1	Квасці 1,8% ЗАС – 0,5% Бішофіт 1,5%	55	0,2	27,5
3	0.3	5	Квасці 1,8% ЗАС – 0,5% Бішофіт 1,5%	107	0,25	42,8
4	0.3	1	Квасці 1,8% ЗАС – 0,5% Бішофіт 1,5%	60	0,1	57,0
5	0.34	3	Квасці 1,8% ЗАС – 0,5% Бішофіт 1,5%	115	0,25	46,1
6	0.3	3	Квасці 1,8% ЗАС – 0,5% Бішофіт 1,5%	0,5	0,27	38,5
7	0.32	5		180	0,3	61
8	0.32	1		56	0,103	54
9	0.32	3	Квасці; ЗАС; бішофіт+NaNO ₂ 0,25%	230	0,95	24,2
10	0.32	3		142	0,85	16,72
11	0.32	3		146	0,98	14,89

Вплив компонентної добавки на адгезію цементного каменя при склеюванні зволжених поверхонь

8



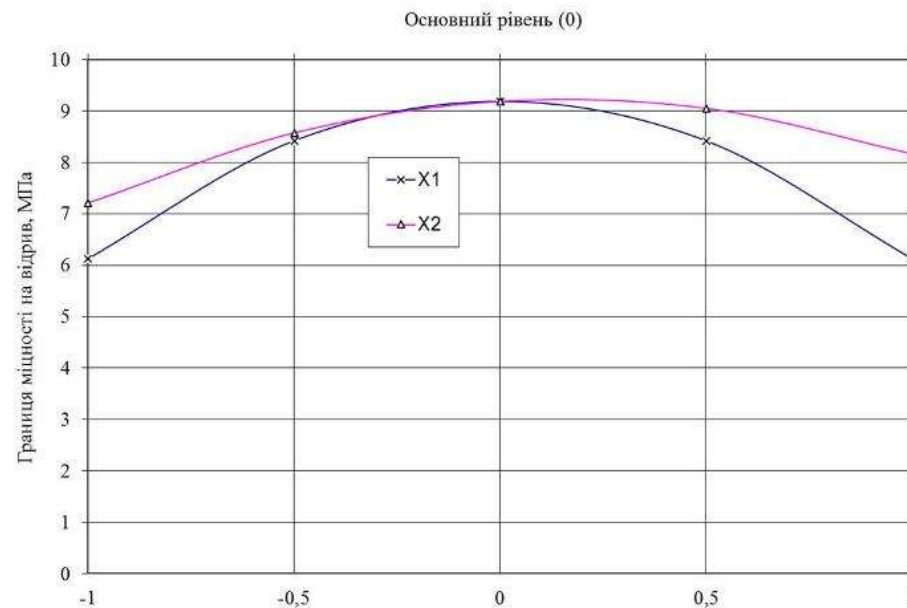
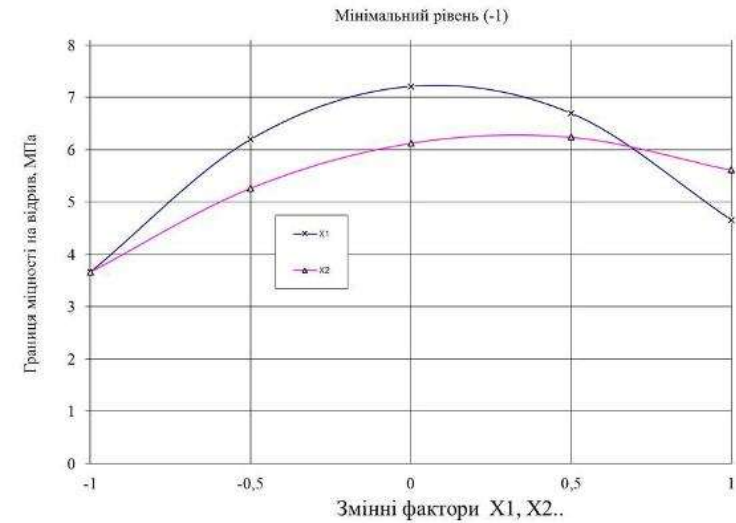
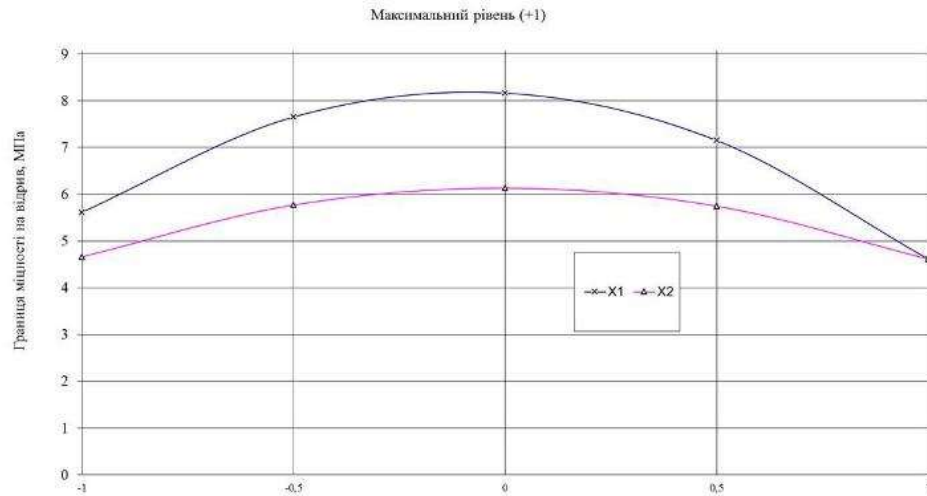
Залежність міцності цементного каменя на відрив від В/Ц та товщини шва

Вплив добавок на адгезію цементного каменю при склеюванні мокрих поверхонь, цемент М400

№ досліду	X ₁	X ₂	Наявність добавок	Сила відриву, кгс	Адгезія, МПа	Площа відриву, см ²
	В/Ц	Товщина, мм				
1	0.32	5	Квасці 1,8% ЗАС – 0,5% Бішофіт 1,5%	119	0,35	34
2	0.34	1	Квасці 1,8% ЗАС – 0,5% Бішофіт 1,5%	55	0,2	27,5
3	0.3	5	Квасці 1,8% ЗАС – 0,5% Бішофіт 1,5%	107	0,25	42,8
4	0.3	1	Квасці 1,8% ЗАС – 0,5% Бішофіт 1,5%	60	0,1	57,0
5	0.34	3	Квасці 1,8% ЗАС – 0,5% Бішофіт 1,5%	115	0,25	46,1
6	0.3	3	Квасці 1,8% ЗАС – 0,5% Бішофіт 1,5%	0,5	0,27	38,5
7	0.32	5		180	0,3	61
8	0.32	1		56	0,103	54
9	0.32	3	Квасці; ЗАС; бішофіт+NaNO ₂ 0,25%	230	0,95	24,2
10	0.32	3		142	0,85	16,72
11	0.32	3		146	0,98	14,89

Вплив добавок на адгезію цементного каменю при склеюванні мокрих поверхонь, цемент М400

10

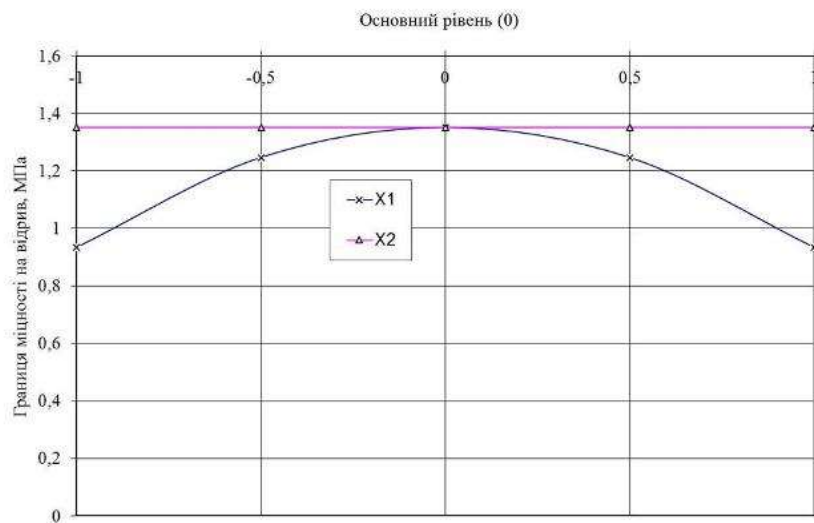
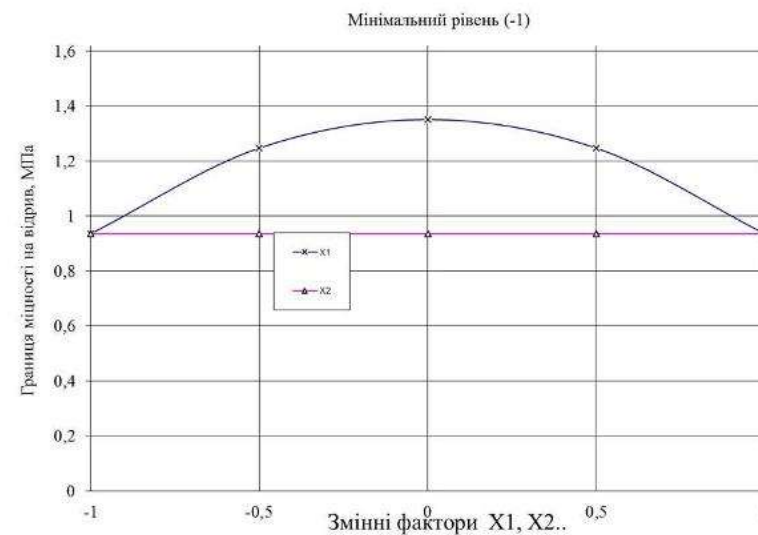
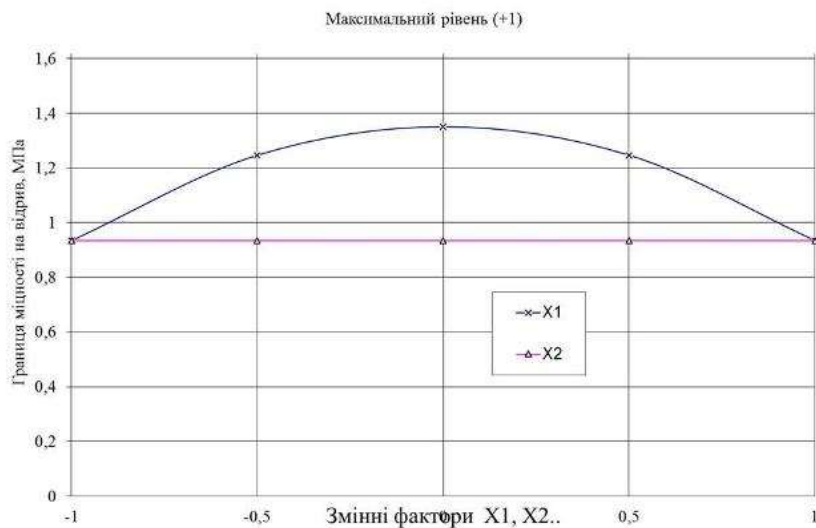


Залежність міцності цементного каменю на відрив від В/Ц та товщини шва

Вплив добавок на адгезію цементного каменю при склеюванні мокрих поверхонь, цемент ПЦ М500

№ досліду	X ₁ - ВЦ	X ₂ товщина, мм	Наявність добавки	Сила відриву, кгс	Площа поверхні, см ²	Адгезія, МПа	Міцність при стисковій	
							1 доба	7 діб
1	0,34	5	Квасці, ЗАС, бішофіт	216	22,5	3,46		
2	0,34	1	Квасці, ЗАС, бішофіт	175	23,6	3,19	8,19	21,3
3	0,3	5	Квасці, ЗАС, бішофіт	243	31,6	6,94	7,78	19,86
4	0,34	1	Квасці, ЗАС, бішофіт	172,5	28,7	4,22	3,63	12,13
5	0,34	3	Квасці, ЗАС, бішофіт	199	23,4	8,1	7,78	12,81
6	0,3	3	Квасці, ЗАС, бішофіт	168	27,1	5,36	3,18	8,94
7	0,32	5	Квасці, ЗАС, бішофіт	207,3	21,82	8,45	5,26	11,15
8	0,32	1	Квасці, ЗАС, бішофіт	146,7	17,9	8,13	4,97	12,71
9	0,32	3	Квасці; ЗАС; бішофіт+NaNO ₂ 0,25%	195,8	16,32	8,54	12,47	27,15
10	0,32	3	Квасці; ЗАС; бішофіт+NaNO ₂ 0,25%	260,5	14,89	8,52	14,57	28,8
11	0,32	3	Квасці; ЗАС; бішофіт+NaNO ₂ 0,25%	276,0	18,4	9,28	15,71	26,33

Вплив добавок на адгезію цементного каменю при склеюванні мокрих поверхонь, цемент М500



Залежність міцності цементного каменю на відрив від В/Ц та товщини шва

ВИСНОВКИ

1. Результати досліджень зволжених балочок свідчать про дуже низьку міцність при відриву (0,2 – 0,85 МПа). Це пояснюється тим, що матеріал балочок – цементний камінь має до 53% пор, а така кількість пор безумовно відсмоктує воду із цементного тіста і умови зчеплення різко погіршуються.
2. Результати випробувань на адгезію цементного каменю при склеюванні мокрих поверхонь, цементом М400, збільшило про міцність при відриві (0,6 – 1,75 МПа). Це пояснюється тим, в порівнянні з попереднім експериментом, цементний камінь, який насичений водою має більшу міцність на розрив.
3. Результати випробувань на адгезію цементного каменю при склеюванні мокрих поверхонь, цемент М500, з міцністю при відриву (3,5 – 9,3 МПа), суттєво збільшився міцнісний показник, а при цьому результати досліджень показали, що міцність збільшується на середньому рівні водоцементного співвідношення не залежно від товщини шару склеювання.