МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ІМ. Ю.М. ПОТЕБНІ
ЗАПОРІЗЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ

Кафедра промислового та цивільного будівництва

Кваліфікаційна робота/проект

_____другий магістерський рівень_____
(рівень вищої освіти)

на тему: Дослідження складу високоміцного бетону з склобою та удосконалення технології його приготування

Виконав: студент 2 курсу, групи 8.1923-пцб-з
спеціальності 192 Будівництво та цивільна інженерія
(код і назва спеціальності)
освітньої програми промислове і цивільне будівництво
(код і назва освітньої програми)
_____Бойко Віталій Олегович_____
(прізвище та ініціали)

Керівник _____доц., к.т.н., Мішук К.М._____
посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали

Рецензент _____
посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали

Запоріжжя
2024

АНОТАЦІЯ

Бойко Віталій Олегович. Дослідження складу високоміцного бетону з склобою та удосконалення технології його приготування.

Кваліфікаційна випускна робота для здобуття ступеня вищої освіти магістра за спеціальністю 192 Будівництво та цивільна інженерія, науковий керівник К.М. Мішук. Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потебні Запорізького національного університету, кафедра промислового та цивільного будівництва, 2024.

У будівельній галузі на даний час стала вимушеною тенденція збільшення витрат монолітного залізобетону на основі сучасних високоміцних бетонів. Такі бетони мають високі характеристики міцності, морозостійкості і водонепроникності, що забезпечує високу довговічність конструкцій, особливо в складних умовах експлуатації.

При виготовленні високоміцних бетонів для зниження витрат використовують звичайні заповнювачі та цементи. У той же час норми проєктування в Україні для залізобетонних конструкцій з високоміцних бетонів знаходяться на стадії розробки. Процеси усадки, повзучості, деформації різного роду до цього часу вивчені недостатньо. Тому вивчення характеристик фізико-механічних високоміцних модифікованих бетонів дозволить підвищити надійність конструкцій, їх напружено-деформований стан та одержати економічний ефект при використанні такого бетону.

Ключові слова: високоміцний бетон, склобій, фізико-механічні властивості, наповнювачі, заповнювачі, міцність, деформативність.

Список публікацій магістранта:

ABSTRACT

Boyko Vitaly Olegovich. Research into the warehouse of high-grade concrete with slopes and improvement of the technology of its preparation.

Qualified graduation work to achieve a higher level of master's degree in the specialty 192 Life and civil engineering, scientific ceramics specialist K.M. Mishuk. Engineering Basic Science Institute named after. Yu.M. Potebni Zaporizhzhya National University, Department of Industrial and Civil Life, 2024. In everyday life, there has been a trend of increasing waste of monolithic reinforced concrete based on current sokomitsnyh concretes. Such concrete has high characteristics of strength, frost resistance and water impermeability, which ensures high durability of the structure, especially in areas of easy use.

When preparing high-composition concretes, to reduce vitriol, use primary resin cements. At the same time, design standards in Ukraine for reinforced concrete structures made from high-component concrete are at the development stage. The processes of shrinkage, swelling, and deformation of various kinds have not been carried out until this time. Therefore, the development of the characteristics of physical-mechanical highly modified concrete will increase the reliability of the structure, their stress-strain resistance and will have an economical effect when pouring such concrete.

Key words: high-grade concrete, slabs, physical-mechanical power, resuming, resuming, value, deformability.

List of publications of the master's student:

	ЗМІСТ	
	ВСТУП.....	6
1	СУЧАСНИЙ СТАН ПИТАННЯ ВИКОРИСТАННЯ СКЛЯНОГО БОЮ У ВИРОБНИЦТВІ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ……	
1.1	Екологічні та економічні аспекти використання ресурсів……	22
1.2	Проблема виділення та утилізації відходів стекла з міських звалищ……	
1.3	Використання скляного бою у виробництві будівельних матеріалів……..	
1.4	Фактор впливу дисперсності компонентів суміші при отриманні високоякісних бетонів	
1.5	Параметри виготовлення високоміцного бетону……..	
2	ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ВИГОТОВЛЕННЯ БЕТОНІВ…….....	
2.1	Систематичні похибки та оцінка довірчих інтервалів експериментальних досліджень…….....	
2.2	Методи дослідження.....	
2.2.1	Визначення властивостей дрібного заповнювача	
2.2.2	Визначення властивостей великого заповнювача.....	
2.2.3	Підбір оптимального складу бетонної суміші із застосуванням склобоя.....	
2.2.4	Визначення властивостей бетонної суміші.....	
2.2.5	Визначення фізико-механічних властивостей бетону.....	
2.2.6	Методика дослідження цементного каменю.....	
2.3	Характеристика застосовуваних матеріалів	
2.3.1	Визначення властивостей портландцементу.....	
2.3.2	Визначення властивостей дрібного заповнювача	
2.3.3	Визначення властивостей крупного заповнювача	
2.3.4	Визначення властивостей склобою	
2.3.5	Визначення властивостей наповнювачей цементу	
2.3.6	Визначення властивостей полікарбоксилатних пластифікаторів	
3	ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ БЕТОНУ З ВИКОРИСТАННЯМ НАПОВНЮВАЧА ЗІ СКЛОБОЮ.....	
3.1	Дослідження впливу скляного бою на характеристики міцності цементного каменю.....	
3.2	Вплив активної мінеральної добавки мікрокремнезему та суперпластифікаторів на характеристики міцності цементного	

	каменю ……	
3.3	Застосування склобою як заповнювача для виготовлення високоміцних бетонів.....	
3.4	Дослідження зони контакту зерен склобою із цементним комнем…	
3.4.1	Дослідження властивостей цементного каменю бетону партії №3…	
3.4.2	Дослідження властивостей цементного каменю бетону партії №6 після пропарювання……..	
3.4.3	Дослідження властивостей цементного каменю бетону партії № 6 після витримування у нормальних умовах твердіння……	
4	РОЗРАХУНОК НЕСУЧОЇ ЗДАТНОСТІ ВИСОКОМІЦНОГО БЕТОНУ З СКЛОБОЮ ПО ДЕФОРМАТИВНІЙ МОДЕЛІ…….	
4.2	Теоретичні передпосилки розрахунку залізобетонних згинаючих елементів на міцність	
4.3	Характеристика досвідчених зразків і результати випробувань .	
4.4	Визначення граничних моментів прогибів в середині прольоту	
	ВИСНОВКИ	
	СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ……	
	ДОДАТКИ	

ВСТУП

Актуальність теми. В даний час будівельна практика характеризується розширенням застосування високотехнологічних бетонів нового покоління, до яких відносяться щільні високоміцні модифіковані бетони. В умовах високої вартості природних сировинних матеріалів особливу цінність представляють науково-дослідні роботи, що виявляють нові можливості по використанню вихідних матеріалів у створенні будівельних матеріалів на їх основі. Питанням утилізації промислових і побутових відходів приділяється все більше уваги. Цьому сприяє екологічна ситуація що погіршується, особливо у великих містах. Розвиток напрямків по використанню техногенної сировини і відходів міського господарства у виробництві високоміцних модифікованих бетонів є перспективним та інноваційним.

Представлена магістерська робота направлена на обґрунтування можливості використання склобою в якості заповнювача бетону, дослідження фізико-механічних властивостей одержуваного бетону та уточнення областей його застосування при виконанні будівельно-монтажних робіт.

Під час виконання цієї науково-дослідницької роботи було проведено комплекс експериментально-теоретичних досліджень по вивченню властивостей склобою, піску і щебню, використовуваних при виробництві бетону в Запорізькій області, бетонної суміші і бетону з використанням склобою в якості склозаповнювача, уточненню механізму впливу склобою на властивості бетону, оптимізації складу склобетону та визначення більш ефективного його використання у будівельній справі.

Мета дослідження. Проведення комплексу експериментально-теоретичних досліджень по обґрунтуванню можливості склобою в якості наповнювача для виробництва бетону, дослідження властивостей отримання бетону з використанням склобою, уточнення механізму впливу склобою на властивості бетону.

Предметом дослідження роботи є бетон з використанням склобою в якості виконавця.

Об'єкт дослідження магістерської роботи – технологія виготовлення високоміцного бетону з використанням відходів скла.

Для досягнення поставленої цілі були поставлені наступні **завдання**:

1. Дослідити властивості бетонної суміші та бетону з використанням наповнювача склобою.

2. Уточнити механізм впливу склобою на властивості бетону.

3. Обґрунтувати вибір ефективних наповнювачів і комплексних хімічних добавок, режимів твердіння бетону з використанням склобою.

4. Розробити рекомендації з виробництва бетону з використанням відсіків дроблення скла в якості дрібного заповнювача.

5. Уточнити поняття «високоміцний бетон з відходів скла»;

6. Визначити розрахунок несучої здатності згинуваного елементу, виготовленого із застосуванням отриманого бетону.

Методи дослідження. Використовувалися методи узагальнення, порівняння, методи системного підходу, експерименти, математичне планування і обробка результатів експериментів.

Наукова новина роботи, полягає в наступному:

1. Уточнений категоріальний апарат у частині трактовки визначення «високоміцний бетон з відходів скла».

2. Доповнена класифікація бетонів у частині доповнення класифікаційного визнання «вид заповнювача».

3. Розроблений склад і уточнене приготування бетону з використанням технології склобою.

4. На основі комплексу експериментально-теоретичних досліджень бетону встановлені закономірності впливу кількості склобою на властивості цементного каменю.

Практична значимість роботи полягає в отриманні бетону з поліпшеними характеристиками з використанням відходів міського

господарства, що дозволить підвищити ефективність переробки промислових відходів і зменшити їх вплив на атмосферу.

Апробація. Магістерська робота була представлена на наступних конференціях:

1)

Структура і об’єм магістерської роботи. Робота складається із введення, чотирьох розділів, висновків, загальних висновків та пропозицій, списку використаних джерел. Основною темою текст викладено на ___ сторінках, з них ___ малюнків, ___ таблиць, та містить списки літератури зі ___ найменування праць вітчизняних та зарубіжних авторів.

1 СУЧАСНИЙ СТАН ПИТАННЯ ВИКОРИСТАННЯ СКЛЯНОГО БОЮ У ВИРОБНИЦТВІ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

Найпоширенішим способом утилізації мінеральних відходів для України є їх поховання. З економічної та екологічної точок зору, подібна практика не тільки завдає шкоди ґрунтам, підземним водам, засмічує території під час поховання твердих побутових відходів, втрачаються без можливості відновлення природні ресурси, які вже були добуті й перероблені в матеріали та вироби.

Для скорочення відходів та втрат сировини та матеріалів на всіх стадіях їх обробки, зберігання та транспортування та більш повного їх використання у виробництві вторинних ресурсів та попутних продуктів необхідно створювати та впроваджувати маловідходні та безвідходні технології, удосконалювати управління якістю сировини та готової продукції.

1.1 Екологічні та економічні аспекти використання ресурсів

Третина споживаних сировинних ресурсів використовується виробництвом промислової продукції, решта як продуктів побічного виробництва та відходів втрачається.

Порівняно з низкою європейських країн, що знаходяться на одному рівні розвитку у сфері промисловості, Україна виділяється досить неблагополучною ситуацією в галузі екології. Близько 16% території України визнано зоною з тяжкою екологічною ситуацією. Багато великих міст мають високий рівень забруднення.

Проблема екологічно безпечного управління відходами споживання та виробництва є гострою та потребує негайного вирішення. В останні роки

обсяги промислового виробництва скоротилися, знизилися і обсяг промислових відходів, що утворилися, але негативний вплив даних відходів на якість життя і навколишнє середовище продовжує зростати і збільшуються обсяги їхнього поховання.

В останні десятиліття у всіх розвинених країнах займаються питаннями ресурсозбереження, внаслідок чого досягнуто високих успіхів у зменшенні негативного впливу відходів на навколишнє середовище. На жаль, в Україні питаннями ресурсозбереження досі займалися недостатньо, що постійно призводить до погіршення екологічної ситуації.

Для досягнення успіхів у питанні ресурсозбереження необхідно навести упорядкування у зберіганні, переміщенні та використанні енергетичних та сировинних ресурсів, а також стимулювати створення нових технологій в справі ресурсозбереження. В цьому питанні ключову роль грають структурні зрушення економіки та вторинна переробка (рециклінг) більшості відходів промисловості.

Скупчення міських побутових відходів та відходів промисловості є однією з основних проблем для міст України. Ця проблема зумовлена низьким розвитком переробки відходів промисловості.

Головне завдання держави в галузі оптимального використання ресурсів – створити механізм, який буде спрямований на економне використання сировини, матеріалів, енергії та інших ресурсів.

Щорічно сумарні об’єми утворення відходів в Україні становлять близько 462,4 млн тон. Понад 90% із загального обсягу відходів складають відходи видобутку та збагачення корисних копалин.

Серед інших видів виділяються такі відходи, як золошлакові відходи ТЕС (обсяг їх утворення становить близько 40 млн. т на рік); металургійні шлаки (19 млн. т); фосфогіпс (5 млн. т); макулатура (0,9 млн. т); відпрацьовані нафтопродукти (1,2 млн. т); піритні недогарки (1,0 млн. т); склобій - відходи виробництва (0,2 млн. т); текстильні відходи (0,2 млн. т); деревні відходи (16 млн. $м^3$). Дані відходи як вторинна сировина використовуються лише на 35%.

Шляхи утилізації відходів, що використовуються як вторинна сировина в промисловості, такі: здавання заготівельним організаціям, переробка на підприємстві-виробнику, переробка на підприємствах своєї галузі, переробка на підприємствах інших галузей.

Для переробки вторинної сировини потрібні капітальні вкладення приблизно в чотири рази менші, ніж при отриманні продукції з первинної сировини. Вкладати кошти у безвідходні технологічні процеси, які зберігають сировинні та енергетичні ресурси та разом з тим самим забезпечують високу якість продукції, вигідно. Наукові дослідження вигаданих відходів та відходів міського господарства показують можливість створення з них нових довговічних будівельних матеріалів з високими фізико-механічними та економічними показниками.

1.2 Проблема виділення та утилізації відходів скла з міських звалищ

Склобій (бій скла, який утворюється при виробництві та використання скляних виробів та листового скла), отриманий з твердих побутових відходів, містить неорганічні вогнетривкі домішки (корунд, муліт, кварц, фарфор та ін.), домішки магнітних та немагнітних металів (консервні банки, металеві пробки, кільця та ін.), а також органічні домішки (папір, картон, пластик). Тому склобій, що виділяється з міських відходів і призначений для вторинного використання, повинен піддаватися такій обробці, щоб за його обробки якість скла не змінювалося.

З точки зору ефективності та якості відбору вторинних ресурсів, зокрема склобою, краще сортування твердих побутових відходів (ТПВ) біля джерел їх утворення.

Згідно наказу МОЗ «Про затвердження Змін до Державних санітарно-протиепідемічних правил і норм щодо поводження з медичними відходами»

від 06.09.2022 № 1602, фізичні особи зобов'язані:

- складувати відходи, у тому числі дрібне сміття та предмети які підлягають викиданню, в урни, контейнери, бункери-накопичувачі спеціально обладнаних місцях відповідно до їх призначення та маркування (приналежність контейнера, вид відходу);

- на спеціально обладнаних майданчиках для збирання великогабаритних відходів складувати відходи акуратно, дрібне сміття повинно бути попередньо поміщений у міцні мішки, коробки, що запобігають забруднення території при завантаженні в спеціалізований транспорт.

В результаті реалізації зазначеної проблеми вирішуються такі завдання:

- екологічна – зменшення витрачання природних ресурсів за рахунок повернення у виробництво вторинних матеріалів, а також продовження терміну дії існуючих полігонів ТПВ за рахунок зменшення обсягів відходів, що надходять на поховання;

- естетична – використання роздільного збору передбачає використання євроконтейнерів та сміттєвозів із заднім завантаженням, які гармонійніше вписуються в інфраструктуру міста, зручні при зборі та транспортуванні відходів;

- економічна - отримання доходу від реалізації вторинної сировини та його витрачання на подальший розвиток системи поводження з відходами, а також зменшення витрат на вивезення ТПВ для поховання.

В складі склобою допускається присутність коркової пробки, паперу та інших органічних домішок трохи більше 2%.

Слід зазначити, що з екологічного погляду скло є важким відходом, що утилізується. Це корозійностійкий матеріал, який не руйнується під дією води, морозу, сильних та слабких органічних та мінеральних кислот, солей, бактерій. Скло зберігається без руйнувань сотні років.

Схема підготовки склобою включає: збирання скла, дроблення, очищення від сторонніх домішок, подрібнення. Після сортування, дроблення та розсівання на фракції скло можна використовувати в бетонах в якості великого та дрібного заповнювача, а тонкомолотий порошок – як в’яжуче.

1.3 Використання скляного бою у виробництві будівельних матеріалів

Добавки до цементу. Склобій у тонкодисперсному стані є гідравлічним в'яжучим автоклавного твердіння, а в природних умовах і при пропарюванні він в'яжучих властивостей не надає. Тому різні види скляних відходів використовують як в'яжуче в безцементних бетонах. Молоте скло реагує з цементними гідратами, в результаті чого хімічний склад цементу покращується. Цемент стає міцнішим і довговічнішим і не вбирає воду так швидко, як звичайний цемент.

На активність в'яжучого зі склобою впливають його хімічний склад, тонкість помелу, водов'яжуче ставлення та параметри автоклавної обробки. Зі збільшенням тонкощі помелу в'яжучого збільшується його питома поверхня, внаслідок чого зростає його розчинність та кількість точок дотику між частинками склобою та заповнювача. З цим пов'язане зростання міцності склобетону.

Добавка для виготовлення цегли. Склобій успішно застосовується як добавка при виготовленні керамічної цегли. При заміні 50% глини склобоєм температура випалення цеглини знижується з 1170°С до 900°С. Продуктивність печі при цьому зростає на ~ 30%. Якісна цегла виходить із суміші: склобій 30%, відходи цегли 60% та глина 10%. Така цегла атмосферостійка, використовується як облицювальний матеріал. Така композитна цегла легша за звичайну цеглу більш ніж у два рази, коштує дешевше, має необхідну вогнетривкість і водостійкість.

Теплоізоляційні та звукоізоляційні матеріали. Найбільш доцільним способом утилізації скляного бою є виробництво довговічних та екологічно чистих тепло- та звукоізоляційних та композиційних будівельних матеріалів, зокрема різних видів піноскла.

Зі склобою отримують гранульоване піноскло з оплавленою поверхнею

за простою технологією: склобій подрібнюють, зволожують, гранулюють, опудрюють золою та спікають. Різні пористі ізоляційні матеріали можна виготовляти більш економічно вигідно зі скляного бою в суміші зі шлаком.

Відома розробка [12] ефективного теплоізоляційного водостійкого та екологічно чистого матеріалу пористої структури зі зниженою середньою щільністю на основі рідкого скла та несортованого бою технічного скла. Прогресивна технологія «сухої мінералізації піни» та відмова від енергоємної автоклавної обробки дозволяють отримувати вироби з ніздрюватого бетону на основі склобою, які призначені для влаштування теплової ізоляції промислових та цивільних будівель, а також промислового обладнання та трубопроводів з температурою ізольованою поверхні до 6000 °С і більше.

Також розроблено [12] методику підбору складу піно бетону на основі склобою, технологічна схема, що включає дробильно-помольне відділення, відділення приготування формувальної маси, пости формування, теплової обробки, витримки та доведення виробів, розпалубки та упаковки. Проведені випробування отриманого матеріалу відповідно до чинних ДСТУ показали, що огороджувальні конструкції з ніздрюватого бетону на основі склобою середньої щільності 400…900 кг/м^3 не тільки не поступаються властивостям конструкцій на основі автоклавних цементних ніздрюватих бетонів, але і значно перевершують їх.

Склобетон в сучасному будівництві та його унікальність. Бетон, армований спеціальним скловолокном, називається склобетоном або склофібробетоном. Цей будівельний універсальний матеріал справді чудовий і унікальний. Технологію отримання такого бетону було розроблено більше ніж 40 років тому, в 1969 році. Склобетон - це загальна назва для цілого сімейства схожих аналогічних матеріалів, який все частіше і частіше сьогодні використовується в найрізноманітніших галузях будівництва. Склобетон зробив величезний внесок у світове будівництво і зробив світову будівельну індустрію універсальною, естетичною та унікальною.

Склобетон - це композиційний ефективний матеріал, який відрізняється відмінними будівельними характеристиками і при цьому не потребує серйозних енергетичних витрат на виробництво. Складається цей вид бетону з природних екологічно чистих компонентів та випускається сьогодні у великій різноманітності будівельних виробів.

Архітектори та проєктувальники сьогодні все частіше використовують склобетон в будівництві, так як цей матеріал має відмінну стійкість і міцність, експлуатаційну надійність, зовнішньою унікальну виразність та прийнятну вартість.

Будівельні можливості склобетону. Властивості та якості виробів зі склобетону можуть змінюватися при додаванні та зміні кількості використовуваних акрилових полімерів, спеціального цементу, що швидко схоплюється, і ряду інших добавок.

Широко використовується сьогодні бетон на основі лужностійких скляних волокон, такий бетон відповідає найвищим технологічним сучасним вимогам. Цей матеріал використовується для виготовлення складних будівельних різних конструкцій і відрізняється універсальністю та здатністю втілення в життя найскладніших художніх ідей.

Склобетон сьогодні має просто величезний спектр загального застосування, він використовується при виготовленні оздоблювальних панелей, грат для огорожі, стін та перегородок, складних архітектурних прозорих дахів. Зі склобетону роблять також інженерні труби, шумозахисні спеціальні бар'єри, карнизні блоки, черепицю, бані, облицювання, квіткарні та багато інших виробів. Тобто сучасний склобетон та його численні види широко використовуються і для створення архітектурних унікальних будівель та для виготовлення інженерних конструкцій та споруд, а також для виробництва різних художніх деталей та елементів.

1.4 Фактор впливу дисперсності компонентів суміші при отриманні високоякісних бетонів

Для значного поліпшення якості бетону та підвищення його характеристик до формування виробів потрібно використовувати нові технологічні підходи. Для зниження значення водоцементного співвідношення було освоєно такі технологічні інструменти, як високоефективні способи ущільнення: віброущільнення, віброущільнення з привантаженням, віброштампування, вібровакуумування і так далі. Завдяки даним технологіям підвищується міцність бетону в 1,5…2 рази, також значно збільшуються водонепроникність, морозостійкість, опір стирання бетону та зчеплення з арматурою.

З метою випуску високоякісних бетонів були розроблені, по-перше, новітні методи пластифікування бетонних сумішей, по-друге, були отримані найбільш активні пуцоланові добавки з високою кількістю наночастинок верхнього нанометричного рівня (100…300нм) – мікрокремнеземів, тонкодисперсних зол та дегідратованих каолінів. Поєднання суперпластифікаторів з гіперпластифікаторами на полікарбоксилатній, поліакрилатній та полігліколієвій основах дозволяє сьогодні отримувати суперпластифіковані цементно-мінеральні дисперсні системи та бетонні суміші.

Збільшення питомої поверхні цементу, його реакційної здатності (активності) значно впливає на формування структури бетону, швидкість твердіння і остаточні характеристики міцності. Використання активованого цементу дозволяє сформувати більш щільну та однорідну структуру бетону, що дає різкий приріст добової міцності та подальше її збільшення через 28 діб твердіння. Підвищення міцності цементного каменю у початкові терміни твердіння значною мірою обумовлюється саме тонкістю помелу.

Таким чином, зі збільшенням дисперсності помелу портландцементу підвищується його активність і міцність цементного каменю, що затвердів. Збільшення міцності цементного каменю відкриває широкі можливості зниження витрати портландцементу при виробництві бетонних виробів з показниками міцності, що нормуються. У працях дослідників [14, 15] відмічено одне явище - підвищення дії, що редукує суперпластифікатори зі зростанням дисперсності порошків. Вони пропонують збільшити частку ультрадисперсних складових додаванням до цементу активного високодиспергованого мікрокремнезему. Використання останніми роками дрібніших фракцій піску (0,1…0,5 мм) послужило для переходу в промисловості від звичайного бетону до дрібнозернистого.

В даний час активно проводяться розробки у виробництві реакційно-активних порошкових бетонів. Мінеральні добавки вже давно стали обов'язковим компонентом у будь-якому високоміцному бетоні. Вони вводяться в досить великих кількостях (50…150 кг/м^3 і більше) і в порівнянні з іншими видами добавок мають найбільш багатоаспектний вплив на структуру та властивості бетону.

Розрізняють кілька груп високодисперсних матеріалів:

- мікронаповнювачі або інертні добавки (пилоподібні відходи при дробленні гірських порід тощо);

- активні мінеральні добавки з невеликою пуцолановою активністю (золи ГРЕС);

- високоактивні добавки (мікрокремнезем, природні пуцолани, електрофільтрові сланцеві золи).

Такий поділ не можна назвати точним, оскільки добавки інертні при звичайній дисперсності (200…500 м^2/кг) стають високоактивними при надтонкому подрібненні (більше 1500 м^2/кг).

Мікрокремнезем є високодисперсним, низькощільним пилом, що створює певні труднощі при його транспортуванні, зберіганні, дозуванні та перемішуванні з іншими компонентами бетону [9]. Крім того, мікрокремнезем

значно підвищує водопотребу бетонних сумішей. Введення його до складу від 10 до 30 % від маси цементу збільшує водопотребу в'яжучого нормальної густини з 25 до 29 %. При цьому для рівнопластичних бетонних сумішей (ОК = Const) скорочується витрата цементу до 30 %, тоді як така кількість мікрокремнезему в бетонній суміші того ж складу, але при постійній витраті цементу збільшує пластичність по осаді конуса в 4 рази. Усе це свідчить про те, що його застосування без водоредукувальних добавок неефективне.

У зв'язку з цим останніми роками були розроблені добавки, що включають до свого складу мікрокремнезем і суперпластифікатори, іноді й інші матеріали різного призначення, наприклад, регулятори твердіння [13].

Застосування комплексної добавки полегшує технологію бетону з мікрокремкеземом. Допустима сфера застосування бетонів з мікрокремнеземом при його дозуваннях до 30 % від маси цементу в складі бетону – всі бетонні та залізобетонні конструкції споруд житлово-цивільного та промислового будівництва, включаючи системи питного водопостачання.

Застосування мікрокремнезему в масовому будівництві дозволяє економити до 40 % цементу без погіршення характеристик бетону. Як і всі пуцоланові матеріали, мікрокремнезем вступає в реакцію з гідрооксидом кальцію $Ca(OH)_2$, що утворюється при гідратації портландцементу в процесі гідратації в'яжучих сполук. Висока чистота та підвищена дисперсність мікрокремнезему сприяє більш ефективній та швидкій реакції. При належному розсіюванні тисячі реактивних сферичних мікрочастинок оточують кожне зерно цементу, ущільнюючи цементний розчин, заповнюючи порожнини продуктами гідратації та покращуючи зчеплення із заповнювачами [3]. Ступінь пуцоланової активності залежить від вмісту реактивного кремнезему, але на практиці між двома різними видами сировини з високим вмістом кремнезему існує досить незначна відмінність.

Мікрокремнезем може забезпечити міцність на стиск, яка набагато перевищує міцність звичайних бетонів. При використанні природних заповнювачів досягається міцність понад 150 МПа, а при використанні

спеціальних високоміцних заповнювачів можна досягти міцності 300 МПа.

В роботі [15] описується вплив мікрокремнезему на фізико-механічні властивості шлакопордландцементу, додаючи мікрокремнезем до цементу у кількості 0, 5, 10, 15 та 20 %.

Частинки мікрокремнезему заповнюють зазори між зернами цементу та в процесі гідратації залучаються до цього процесу. Участь мікрокремнезему в утворенні продуктів гідратації призводить до підвищення якості дрібних гелевих осередків (пір), що входять до складу кальцієвосилікатного гідрогелю, а також знижує капілярну пористість. Це призводить до збільшення щільності та міцності цементного каменю. В бетоні без мікрокремнезему зона між цементним гелем та частинкою заповнювача (перехідна зона) через нещільне укладання частинок цементу біля поверхні заповнювача утворюється простір, заповнений перенасиченим розчином $Ca(OH)_2$. В процесі твердіння цей простір заповнюють кристали вапна, які кристалізуються з розчину.

Зона між цементним гелем та частинкою заповнювача відрізняється від основного об’єму цементного гелю зниженою щільністю, когезійною та адгезійною міцністю.

Д. Дж. Паркер у своїй роботі [18] довів, що 1 кг мікрокремнезему може забезпечувати таку ж міцність, як 3…5 кг звичайного портландцементу в сумішах однакової зручноукладальності при помірному вмісті мікрокремнезему та цементу в обох сумішах. На цю ефективність впливає вміст обох матеріалів, але при вмісті звичайного портландцементу 200…300 кг/м^3 та мікрокремнезему – менше ніж 10 %. При додаванні мікрокремнезему в кількості до 30 % в поєднанні з суперпластифікатором можна отримати суміші з відношенням вода/в'яжуче нижче 0,3. Такі бетони можуть досягати дуже високої ранньої міцності, і вони знайшли широке застосування там, де здійснюється витримування у вологому режимі.

Також в його роботі зазначено, що за кількістю теплоти, що виділяється при гідратації, мікрокремнезем знаходиться між звичайним портландцементом і портландцементом RHPC, хоча наростання теплоти

відбувається повільніше. Для сумішей еквівалентної міцності тепловиділення в цілому буде менше, оскільки загальний зміст в'яжучих матеріалів значно знижено.

Ефект заповнення осередків, створюваний пуцолановими сферичними мікрочастинками, що сприяє значному зменшенню капілярної пористості та проникності бетону. Фактично непроникний бетон можна отримати при помірному вмісті мікрокремнезему та порівняно низькому змісті звичайного портландцементу. Оскільки мікрокремнезем має більший вплив на проникність, ніж на міцність, бетон з додаванням мікрокремнезему завжди буде набагато менш проникним, ніж бетон еквівалентної міцності на звичайному портландцементі без добавок.

Марка водонепроникності модифікованого цементного бетону з добавкою мікрокремнезему до 20 % від маси цементу досягає значення W16.

Низька проникність та підвищена щільність цементного каменю забезпечує чудову морозостійкість бетону з мікрокремнеземом. Не існує несумісності мікрокремнезему з повітровтягуючими добавками, насправді ж стабільна реологічна структура пластичного бетону з мікрокремнеземом має зменшувати втрату залученого повітря при транспортуванні та вібруванні.

1.5 Параметри виготовлення високоміцного бетону

В останні роки розроблено нові технології виробництва бетону, який був і залишається найважливішим матеріалом в будівництві. Передові технології виробництва бетонів ґрунтуються на вивченні хімічних процесів, що відбуваються в цементному камені. Для цього використовуються комплексні модифіковані добавки нового покоління, передові методики підбору та оптимізації складу бетону. Серед мінеральних добавок, що використовуються для підвищення міцності бетонів, виділяється мікрокремнезем, який

складається з мікроскопічних частинок SiO_2 аморфної структури.

Мікрокремнезем впливає на цементний камінь наступним чином:

- він заповнює простір між частинками цементу та ущільнює структуру бетону, що призводить до зниження проникності бетону та збільшення його довговічності;

- відбувається хімічна взаємодія мікрокремнезему з цементним каменем, що прискорює процес набору міцності та зміцнення цементного каменю.

Мікрокремнезем як високореакційна добавка використовується в виробництві залізобетонних виробів, високоміцних бетонів з високими експлуатаційними властивостями, тротуарної плитки, сухих будівельних сумішей, наливної підлоги та інших виробів.

Можливості, які відкрилися для використання мікрокремнезему пов'язані з розвитком в галузі виробництва ефективних суперпластифікаторів. Поєднання мікрокремнезему та суперпластифікаторів стало поштовхом для створення бетону нового покоління, який має високу міцність (60…150 МПа), високу зручноукладальність та довгим терміном служби. Основна задача суперпластифікаторів - знизити кількість води замішування в процесі приготування бетонної суміші, внаслідок чого відбувається поліпшення характеристик бетону. Високоміцний бетон одержують на основі цементу високих марок, якісного піску та щебеню.

Для виготовлення бетону з високою міцністю використовують цемент з високою активністю, для чого здійснюють додатковий помел та активацію цементу, використовують при виготовленні бетону збільшену витрату цементу. При цьому в'яжуче має бути з низькою водопотребою, яку отримують спільним помелом високомарочного цементу та суперпластифікатора.

Як великий заповнювач для виготовлення високоміцних бетонів повинен використовуватися фракціонований щебінь із щільних і міцних гірських порід, таких як виверженні породи. Наприклад, гранітний щебінь, що має марку по дробимості в циліндрі М1200…М1400.

2 ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ВИГОТОВЛЕННЯ БЕТОНІВ

2.1 Систематичні похибки та оцінка довірчих інтервалів експериментальних досліджень

Експериментально визначити справжнє значення будь-якої випадкової величини неможливо, тому практично при багаторазових спостереженнях визначається її середнє арифметичне значення. Ця величина максимально наближена до справжнього значення і може використовуватися замість нього.

За способом отримання числового значення величини, виміри ділять на прямі, непрямі, сукупні та спільні. Це варто враховувати при обробці експериментальних даних та розрахунку похибок.

При вимірі значення виникають похибки, які можуть бути систематичними та випадковими. Випадкові похибки не можна виключити з результатів вимірів. Неможливо вивести випадкову похибку, якщо здійснено один вимір. В даній роботі можна виділити низку систематичних похибок:

– вплив мінливої вологості та температури в лабораторії;

– систематичні (інструментальні) похибки використовуваних приладів (ваги, гідравлічний прес, вимірювальні прилади тощо);

– вплив вологи, що залишається в обсязі предмета дослідження при серії зразків для багаторазових випробувань;

Для отримання максимально близького істинного значення необхідно використовувати низку практичних рекомендацій, що випливають із положень теорії ймовірності.

Достовірність отриманих експериментальних значень підтверджується даними обробками багаторазових спостережень з побудовою відповідних довірчих інтервалів для кожної серії багаторазових спостережень. Загальна

відносна похибка розраховувалася методами обліку довірчих інтервалів та невиключених залишків систематичних похибок, у тому числі за рекомендаціями ДСТУ 3021-95 [1].

2.2 Методи досліджень

Дослідження експериментальної частини проводились у лабораторії кафедри Промислового та цивільного будівництва Інженерного навчально-наукового інституту ім. Ю.М. Потебні Запорізького національного університету. В роботі використані різні методи дослідження матеріалів та бетонів відповідно до вимог чинних державних стандартів.

2.2.1 Визначення властивостей дрібного наповнювача

Для виготовлення бетонів в якості дрібного заповнювача використовувалися пісок з Балівського родовища пісків Дніпропетровської області.

Якість дрібного заповнювача оцінювалося за методиками, викладеними ДСТУ Б В.2.7-232:2010 Будівельні матеріали. Пісок для будівельних робіт. Методи випробувань, відповідно до вимог, які пред'являються до піску ДСТУ Б В.2.7-32-95 Будівельні матеріали. Пісок щільний природний для будівельних матеріалів, виробів, конструкцій і робіт. Технічні умови та ДСТУ Б В.2.7-210:2010 Будівельні матеріали. Пісок з відсівів дроблення вивержених гірських порід для будівельних робіт. Технічні умови.

Зерновий склад піску визначають за допомогою стандартного набору сит з осередками розміру: 5, 2,5, 1,25, 0,63, 0,315 та 0,16. «Наважку сухого

піску просівають через набір сит і визначають спочатку приватні (%), а потім повні залишки на кожному ситі. Повний залишок на будь-якому ситі дорівнює сумі приватних залишків на цьому ситі та всіх ситах більшого розміру. Розміри повних залишків характеризують зерновий склад піску» [4].

На підставі результатів ситового аналізу розраховують безрозмірний показник - модуль крупності піску (Мкр):

$$Мкр = (А_{2,5} + А1_{,25} + А_{0,63} + А_{0,315} + А_{0,16}) / 100, \quad (2.1)$$

де: А2,5, А1,25, А0,63, А0,315, А0,16 – повні залишки на ситах з розмірами осередків відповідно 2,5, 1,25, 0,63, 0,315 та 0,16 мм.

Насипну густину піску визначають за допомогою циліндричної посудини ємністю 1 дм^3 (заздалегідь треба визначити масу порожньої посудини m_c, г). Совком з висоти 10 см пісок засипають у мірний посуд доти, доки пісок не утворить конус над краями судини. Надлишок піску зрізають врівень з краями посудини, і посудину з піском зважують, визначаючи масу піску в посудині за формулою:

$$\rho_{нас} = m_{с+п} - m_с / V, \quad (2.2)$$

де $m_{с+п}$ – маса судини з піском, г, V – об’єм посудини, см^3.

Зміст пилоподібних і глинистих частинок у піску визначається за методом відмучування у відсотках за масою за формулою:

$$П_{отм} = (м - м_1 / м) \cdot 100, \quad (2.3)$$

де: м - маса сухого навішування до відмучування, г,

$м_1$ – маса сухого навішування після відмучування, г.

2.2.2 Визначення властивостей великого заповнювача

Як великий заповнювач для бетону використовували гранітний щебінь Запорізької області крупністю 5…10 та 10…20 мм. Якість щебню визначається відповідно до вимог ДСТУ Б В.2.7-71-98. Щебінь і гравій із щільних гірських

порід і відходів промислового виробництва для будівельних робіт. Методи фізико-механічних випробувань.

Насипна густина $Р_{нас}$ визначається шляхом зважування проби заповнювача у посудині з відомою місткістю за формулою:

$$Р_{нас} = (m - m_c) / V_c, \quad (2.4)$$

де m - маса проби заповнювача з посудиною, кг,

mc – маса посудини, кг,

Vc - місткість посудини, $м^3$ [6].

Міцність великого заповнювача визначається методом роздавлювання його проби в сухому або насиченому водою стані металевому циліндрі з обчисленням показника подрібнення $Д_р$ (%).

Подрібнення заповнювача оцінюється за кількістю дрібняка, що утворюється при здавлюванні проби щебню у сталевій формі під певним зусиллям [3]. Показник подрібнення $Д_р$ (%) обчислюють з похибкою до 1 % за формулою:

$$Д_р = (m_1 - m_2 / m_1) 100, \quad (2.5)$$

де m_1 - проба щебню, кг,

m_2 - залишок на контрольному ситі після просіювання подрібненої в циліндрі проби щебню, кг.

Марку щебню визначають за показником подрібнення залежно від виду гірської породи та способу випробування» [6].

Зміст у щебні пластинчастих (лещадних) та голчастих зерен визначається візуально відбором у навішуванні зерен, товщина або ширина яких менше довжини в три та більше разів. Зважують кількість пластинчастих (лещадних) і голчастих зерен і обчислюють їх вміст у % за масою. Виходячи з результатів, визначають групу щебню по вмісту зерен пластинчастої (лещадної) та голчастої форми[6].

2.2.3 Підбір оптимального складу бетонної суміші із застосуванням склобою

З метою вивчення можливості використання склобою як заповнювача для виготовлення бетону були використані гранітний щебінь фракції 5…10 і 10…20 мм, як дрібний заповнювач – природний пісок Балівського родовища та подрібнений пісок із гранітної породи. Склобій крупністю 0…20 мм вводився до складу пластичної бетонної суміші в кількості 0, 30, 50, 70 та 100 % від маси дрібного заповнювача, замінюючи пісок цією кількістю склобою.

Для конкретних завдань досліджень були підібрані оптимальні склади бетонів. Рухливість бетонних сумішей була прийнята в межах від 4 до 8 см.

Оптимальний склад бетону визначають розрахунково-експериментальним методом в три етапи:

1. Проєктування складу бетону на основі вихідних даних за допомогою формул, графіків і таблиць.

2. Уточнення складу бетону на пробних замісах.

3. Визначення фактичної витрати складових матеріалів на 1 м^3 бетону, виходячи з витрати матеріалів на оптимальний пробний заміс і об’єму цього замісу, обчисленого за експериментально визначеною середньою густиною бетонної суміші.

Остаточно склад бетону виражається у вигляді витрати матеріалів на 1м^3 бетону або частинах за масою або за об’ємом по відношенню до цементу (В/Ц при цьому завжди виражається по масі).

2.2.4 Визначення властивостей бетонної суміші

Вплив суперпластифікаторів на властивості бетонних сумішей та бетонів за допомогою комплексних методів дослідження, викладених у державних нормативно-технічних документах.

Оцінку рухливості бетонної суміші визначають відповідно до вимог ДСТУ Б В.2.7-114-2002 Будівельні матеріали. Суміші бетонні. Методи випробувань.

Готову бетонну суміш для визначення її рухливості завантажують в стандартний конус, встановлений на металевий піддон. Перед випробуванням конус і всі пристрої очищають і протирають вологою тканиною. Завантаження бетонною сумішшю проводять у три шари, штикуючи кожен шар 25 разів. Конус під час наповнення повинен бути щільно притиснутий до піддону. Після ущільнення бетонної суміші її надлишок зрізають нарівні з верхнім краєм конуса [7].

Далі конус плавно знімають із бетонної суміші і ставлять поруч із нею. Осаду конуса бетонної суміші (ОК) визначають, укладаючи металеву лінійку ребром вгору конуса і вимірюючи відстань від нижньої грані лінійки до верху бетонної суміші з похибкою не більше 0,5 см. Осадка конуса з бетонної суміші в сантиметрах є показником рухливості [7].

Приготовлену суміш укладають у металеві роз'ємні форми, потім укладену бетонну суміш у формах ущільнюють на вібромайданчику, після чого приготовані зразки бетону зберігають у формах протягом доби у вологих умовах. Розміри та форму зразків суворо витримують, так як вони впливають на результат випробування. Через добу зразки бетону розпалублюють, після чого вони зберігаються протягом 7, 14 і 28 діб за нормальних умов твердіння.

2.2.5 Визначення фізико-механічних властивостей бетонів

Межу міцності при стисканні бетонів визначали на зразках-кубах розмірами 70,7х70,7х70,7 мм та 100х100х100 мм на гідравлічному пресі з навантаженням 125 і 250 т. Перед випробуванням на міцність зразки бетону вимірювали та зважували з похибкою не більше 1%. Міцні характеристики бетонних зразків визначали відповідно до вимогами ДСТУ Б В.2.7-214:2009 Будівельні матеріали. Бетони. Методи визначення міцності за контрольними зразками.

При тепловологісній обробці зразків бетону дотримувався м'який режим твердіння (температура не вище 70 °С) із граничною швидкістю підйому та зниженням температури обробки не більше 25 °С/год.

Навантаження зразка при випробуванні на стиск виконували плавно до його повного руйнування, максимальне зусилля визначало руйнівне навантаження.

Межу міцності при стисканні $R_{стис}$ (МПа) випробуваного зразка розраховують за формулою:

$$R_{стис} = 10\ F_{руй}/A, \quad (2.6)$$

де А - площа поперечного перерізу зразка, $см^2$,

$F_{руй}$ - руйнівна сила, кг.

При випробуванні зразків-кубів бетону розміром 70,7 х 70,7 х 70,7 мм відповідно до вимог ДСТУ є коефіцієнт перерахунку міцності зразків даного розміру на міцність зразків стандартного розміру (150 х 150 х 150 мм) К = 0,85, для зразків-кубів розміром 100 х100 х 100 мм – К = 0,95.

2.2.6 Методика дослідження цементного каменю

Контактну зону зерна наповнювача з цементним каменем бетонних зразків досліджували за допомогою електронного растрового настільного мікроскопа JEOL 6000 зі збільшенням від 24 до 4000 разів.

Відношення розміру зображення на моніторі до розміру растра зразок визначає збільшення мікроскопа. Створення стійкого зображення діелектричних об'єктів в режимі «low vacuum» забезпечується завдяки напуску повітря в камеру зразка, в результаті чого зберігається можливість спостереження непровідних об'єктів без попереднього напилення струмопровідного покриття.

Під час роботи мікроскопа забезпечуються безпечні умови праці оператора. При максимальних значеннях прискорювальної напруги та струму зонда потужність еквівалентної дози рентгенівського випромінювання в будь-якій доступній точці на відстані 10 см від поверхні колони та камери об'єктів мікроскопа не перевищує 1 мкЗв/год.

2.3 Характеристика застосовуваних матеріалів

2.3.1 Визначення властивостей портландцементів

При виконанні експериментальних досліджень в якості в'яжучого використовувався цемент швидкотвердіючий ЦЕМ II / А-К (Ш-П) 32,5Б, який відповідає вимогам ДСТУ Б В.2.7-112-2002. Будівельні матеріали. Цементи. Загальні технічні умови.

Таблиця 2.1 - Показники якості цементу ЦЕМ II/А-К (Ш-П) 32,5Б.

Показники	Значення
1. Будівельно-технічні властивості цементу	
Межа міцності при стисканні у віці: 2 діб	15,2 МПа
28 діб	40,7 МПа
Початок схоплювання	164 хв
Кінець схоплювання	257 хв
Нормальна густота цементного тіста	26,7%
Наявність помилкового схоплювання	Відсутня
Тонкість помелу, прохід через сито №008	93,5 %
Рівномірність зміни об'єму	0,4 мм
Вміст мінеральної добавки (гранульований шлак + опоку)	18,3 %
2. Мінералогічний склад клінкеру (розрахунковий), %	
Трикальцієвий силікат (C_3S)	60,0
Двокальцієвий силікат (C_2S)	15,0
Трикальцієвий алюмінат (C_3A)	7,6
Чотирьохкальцієвий алюмоферит (C4AF)	12,6
3. Санітарно-епідеміологічні властивості цементу	
Питома ефективна активність природних радіонуклідів $A_{еф}$	93,2 Бх/кг

Для виготовлення цементу використовується клінкер, природний гіпсовий камінь та комплексна мінеральна добавка – опока та доменний гранульований шлак. Опока сприяє зниженню водовідділення та висолоутворенню на поверхні виробів, підвищенню щільності та

водоутримуючої здатності бетону. Доменний гранульований шлак підвищує пластичність бетонних розчинів і надає виробам стійкості до впливу мінералізованих вод. Речовий склад цементу та його дисперсність забезпечують оптимальну нормальну густоту, високі показники міцності в ранні терміни (2 і 7 діб) твердіння, що дозволяє знижувати питому витрату цементу в бетоні та підвищити його міцність. Наявність трикальцієвого алюмінату в клінкері в межах до 8 % сприяє незначному тепловиділенню в процесі гідратації (твердіння) цементу. Низький вміст лугів в перерахунку на Na_2O = 0,6…0,8 % дозволяє застосовувати різноманітні заповнювачі при виробництві бетону та виробів з нього.

Другим в'яжучим, який був використаний при виконанні експериментальних досліджень, є портландцемент заводу-виробника ТОВ «Запоріжбуддеталь». Даний портландцемент є нормальнотвердіючим і випускається з класом міцності 42,5 і містить до 5 % вапняку як допоміжного компонента. Вапняк натурального походження, тобто інертна мінеральна добавка – наповнювач до цементу, що покращує структуру цементного каменю та реологічні властивості цементу.

Відмінною рисою портландцементу ТОВ «Запоріжбуддеталь» є:

- низький вміст CI приблизно 0,01%, по відношенню до норми 0,1%. Це сприяє збільшенню терміну експлуатації за рахунок зменшення корозії арматури в бетоні;

- низький вміст лугів R_2O приблизно 0,4…0,5 %, збільшується стійкість тріщиноутворення;

- оптимальний вміст C_3A від 7%...7,5%;

- середня тонкість помелу за Блейном 3440 $см^2/г$.

Характеристика портландцементу ТОВ «Запоріжбуддеталь» наведено в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 - Характеристика портландцементу ТОВ «Запоріжбуддеталь»

Найменування характеристики	Значення
Будівельно-технічні властивості цементу	
Клас з міцності при стисканні, 28 діб	42,5
Підклас з міцності на стиск, 2 - 7 доба	Нормальнотвердіючий
Нормативний документ	ГОСТ 31108-2016
Міцність при стиску у віці 2 діб (МПа)	19,39
Міцність при стиску у віці 7 діб (МПа)	37,63
Міцність при стиску у віці 28 діб (МПа)	49,92
Міцність при стисканні у віці 28 діб, не більше (МПа)	62,5
Початок схоплювання, (хв) не раніше	60
Вміст інертної мінеральної добавки - вапняку (%)	5
Початок схоплювання	175 хв
Кінець схоплювання	235 хв
Нормальна густота цементного тесту	27,92 %
Тонкість млива, прохід через сито №008	98,2 %
Мінералогічний склад клінкеру, %	
Трикальцієвий силікат (C_3S)	63,82
Двокальцієвий силікат (C_2S)	13,69
Трикальцієвий алюмінат (C_3A)	6,77
Трьохкальцієвий алюмінат (C_3A) + Чотирьохкальцієвий алюмоферит (C_4AF)	17,95
Зміст лугів R_2O	0,4
Санітарно-епідеміологічні властивості цементу	
Питома ефективна активність природних радіонуклідів Аеф	93,2 Бх/кг

Використаний портландцемент ТОВ «Запоріжбуддеталь» задовольняє вимоги ДСТУ Б В.2.7-112-2002. Будівельні матеріали. Цементи. Загальні технічні умови.

2.3.2 Визначення властивостей дрібного заповнювача

Для приготування бетонів як дрібний заповнювач використовувалися природний пісок Балівського родовища та подрібнений пісок із гранітного щебню Запорізької області.

Таблиця 2.3 – Характеристика природного та подрібненого піску та склобою

Характеристика	Найменування матеріалу		
	Природний Балівський пісок	Дроблений пісок з граніту	Склобій 0 – 10 мм
Насипна густина, кг/м^3	1470	1487	1402
Гранулометричний склад Залишки на ситах, мм (приватні/повні)			
20	-	-	-
10	-	-	-
5	-	-	-
2,5	$\frac{0,4}{0,4}$	$\frac{17,98}{44,29}$	$\frac{24,4}{24,4}$
1,25	$\frac{0,4}{0,8}$	$\frac{11,35}{55,64}$	$\frac{15,4}{39,8}$
0,63	$\frac{1,2}{2,0}$	$\frac{3,83}{59,47}$	$\frac{5,2}{45,0}$
0,315	$\frac{30,0}{32,0}$	$\frac{8,4}{67,87}$	$\frac{11,4}{56,4}$
0,16	$\frac{66,0}{98,0}$	$\frac{8,84}{76,71}$	$\frac{0,16}{68,4}$
<0,16	$\frac{2,0}{100}$	$\frac{23,29}{100}$	$\frac{31,6}{100}$
$М_{кр}$	1,33	3,40	3,46

Відповідно до ДСТУ Б В.2.7-232:2010 Будівельні матеріали. Пісок для будівельних робіт. Методи випробувань природній Балівський пісок за значенням модуля відноситься до групи піску "дуже дрібний". Повна решта піску на ситі з сіткою № 63 не відповідає значенням, зазначеним в таблиці 2 ДСТУ Б В.2.7-232:2010.

Подрібнений пісок від гранітних порід по значенню модуля належить до групи піску «підвищеної крупності». За змістом зерен на ситі з розміром осередків 0,63 мм, подрібнений пісок відповідає вимогам ДСТУ Б В.2.7-232:2010.

Склобій містить 3,05 % зерен крупністю 10…20 мм та 29,66 % зерен крупністю 5…10 мм. За модулем крупності склобій відноситься до групи піску «підвищеної крупності».

Вміст пилоподібних і глинистих часток у природному піску – 0,7 % маси (норми ДСТУ Б В.2.7-232:2010 – до 6%), у щебні з гранітних порід – 0,1 %. Глина в грудках відсутня.

Наявність органічних домішок у піску визначалася відповідно до ДСТУ Б В.2.7-232:2010 Будівельні матеріали. Пісок для будівельних робіт. Методи випробувань природній. Пісок при обробці лужним розчином гідроксиду натрію не надає розчину забарвлення, яке відповідає або є темнішим за еталон, що відповідає вимогам ДСТУ.

Порівнюючи властивості природного піску та щебню з гранітних порід, слід відзначити основні відмінності між цими матеріалами. Природний пісок переважно кварцовий, має гладку поверхню і округлу форму зерна. Склад щебню аналогічний складу вихідних гранітних порід, форма зерна кутова і шорстка. Зчеплення з цементним комнем поверхні зерен щебню більш складне, відрізняється від зчеплення поверхні зерен природного піску з цементним комнем. Шорстка поверхня зерен щебню більш активна, що сприяє більш міцному злипанню часток. Така поверхня зерна сприяє збільшенню його водопоглинання.

2.3.3 Визначення властивостей крупного заповнювача

В якості крупного заповнювача бетону зі склобоєм використовувався щебінь гранітних порід Запорізької області. Цей щебінь фракції 5…20 мм відповідає вимогам ДСТУ Б В.2.7-71-98. Щебінь і гравій із щільних гірських порід і відходів промислового виробництва для будівельних робіт. Методи фізико-механічних випробувань (табл. 2.4).

Таблиця 2.4 – Технічні характеристики гранітного щебню

№ з/п	Найменування технічної характеристики	Значення технічної характеристики
1	Марка за подрібненостю	М1400
2	Вміст зерен пластинчастої (ліщадної) та голчастої форми	І група (до 10%)
3	Марка за стираністю	І1
4	Насипна густина	1470 кг/м^3
5	Морозостійкість	F300
6	Зміст пилоподібних та глинистих часток, % за масою	0,8
7	Вміст глини в грудках, % за масою	Ні
8	Зміст зерен слабких порід, % за масою	Ні
9	Зміст шкідливих домішок	Ні
10	Питома ефективна активність природних радіонуклідів	Менш 370 Бк/кг, 1 клас для будь-яких видів будівництва

2.3.4 Визначення властивостей склобою

Масштаби утворення склобою як відходу достатньо значні. На відходи виробництва припадає 0,32 млн. тон на рік. Крім цього, скло займає 5…7% від усього обсягу твердих побутових відходів, що становить близько 1,3...1,9 млн. тон щорічно.

В дослідженнях використовувався склобій з тарного скла крупністю фракції 0…20 мм та насипною щільністю 1402 кг/м^3. Характеристика склобою наведена в таблиці 2.3, хімічний склад – в таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 - Хімічний склад тарного скла

Хімічний елемент	SiO_2	Al_2O_2	Fe_2O_3	CaO	MgO	Na_2O+K_2O	SO_3
Відсотковий зміст, %	71,5…73,7	0,2…3,3	1,7…3,2	5,2…9,1	0,1…0,6	15,2…16	до…0,2

Встановлено, що склобій у тонкодисперсному стані являє собою в'яжучу речовину автоклавного твердіння, а при природних умовах і при пропарюванні він в'яжучих властивостей не виявляє. В процесі автоклавної обробки утворюється низькотемпературний кварц - кристобаліт, а також у незначних кількостях низькоосновні гідросилікати натрію. [13]

2.3.5. Визначення властивостей наповнювачей цементу

Гранулометричний склад становить 0,1 мікрона, що у 100 разів менше середнього розміру зерна цементу.

Частинки мікрокремнезему мають гладку поверхню та сферичну форму. Основним компонентом відходу є діоксид кремнію в аморфної форми.

Хімічний склад мікрокремнезему представлений у таблиці 2.6.

Таблиця 2.6 - Хімічний склад мікрокремнезему

Компонент	SiO_2	Al_2O_2	Fe_2O_3	CaO	MgO	Na_2O	K_2O	C	S
%	90-92	0,68	0,69	0,85	1,01	0,61	1,23	0,98	0,26

Значення показника pH водної суспензії мікрокремнезему становить у середньому – 7,74.

Тонкість мікрокремнезему можна порівняти з тонкістю інших порошкоподібних матеріалів:

- мікрокремнезем – 140000 – 300000 $см^2/г$,
- зола-винесення – 4000 – 7000 $см^2/г$,
- портландцемент – 3000 – 4000 $см^2/г$.

Мікрокремнезем сприяє зменшенню витрати цементу до 200…450 $кг/м^3$, має високу міцність на стиск 60…80 МПа і вище 80 МПа для дрібнозернистих бетонів, підвищує антикорозійну стійкість, знижує водонепроникність на 50%, що підвищує довговічність бетонів.

2.3.6 Полікарбоксилатні пластифікатори

Полікарбоксилатні гіперпластифікатори володіють високим рівнем водозниження до 30 %, стабільністю і довговічністю, а також запобігають розшаруванню бетонної суміші. Механізм роботи гіперпластифікаторів наступний: спочатку вони адсорбуються на поверхні зерен цементу, потім після адсорбції на поверхні зерен гіперпластифікатори на різних зернах починають відштовхуватися один від одного – диспергувати частинки цементу. Дані гіперпластифікатори використовують свою об'ємну полімерну структуру для стеричного або фізичного розштовхування.

В дослідженнях використовувався гіперпластифікатор

STACHEMENT 2280 - високоефективний рідкий, готовий до застосування, виготовлений на основі полікарбоксилатів. Він належить до розряду «швидких» гіперпластифікаторів, т.я. має прискорюючий ефект і відповідно дає високі ранні міцності бетону.

STACHEMENT 2280 призначений для виробництва якісних конструкційних бетонів. Зовнішній вигляд: червоно-коричнева рідина. Продукт не горючий та фізіологічно нешкідливий. Щільність при 20 °С - 1,065±0,030 г/мл. РН – 7…10.

Позитивні властивості:

- знижує витрату цемент, тим самим знижується собівартість бетону;
- підвищує ранню та фінальну міцність, водонепроникність та довговічність бетону;
- підвищує оборотність опалубки;
- збільшує стійкість бетону проти кліматичного та хімічного впливу;
- зменшує кількість води замішування;
- заощаджує енергію при обробці бетонної суміші;
- надає бетонній поверхні якісний вигляд, не змінює колір бетону і не створює вицвіти;
- перешкоджає залученню зайвого повітря до бетону;
- підходить для армованих і попередньо напружених конструкцій, тобто не містить хлоридів;
- економить час та теплову енергію при термічній обробці бетону.

Також в експериментах використали такий продукт, як Sika ViscoCrete-G2 – ефективна суперпластифікуюча та суперводоредулююча добавка, призначена для виробництва високоякісних бетонних сумішей та отримання бетонів з високими експлуатаційними характеристиками

Технічні характеристики Sika ViscoCrete-G2:

- основа: водні композиції модифікованих полікарбокстилатних ефірів;
- зовнішній вигляд: каламутна рідина світло-жовтого кольору;
- щільність (при 20 °С): 1,070…1,085 кг/дм^3;

- показник PH: 4,0…6,0;

- рекомендоване дозування: 0,3…1,6 % рідкої добавки від маси цементу.

Оптимальне дозування встановлюється на основі лабораторних випробувань і залежить від зернового та гранулометричного складу заповнювачів, від наявності у складі тонкодисперсних компонентів, марки цементу, витрати цементу на виробництво бетонної суміші, тривалості перемішування та температури суміші.

Sika ViscoCrete-G2 використовується розчиненим у воді або додається одночасно з додаванням води в заміс безпосередньо в міксер. Введення пластифікатора в суху бетонну суміш до того, як буде зроблено додавання води, є неприпустимим. З метою отримання бетонної суміші однорідної структури, її перемішування здійснюється щонайменше 60 секунд.

3 ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ БЕТОНУ З ВИКОРИСТАННЯМ НАПОВНЮВАЧА ЗІ СКЛОБОЮ

3.1 Дослідження впливу скляного бою на характеристики міцності цементного каменю

Серія зразків бетону №1.

З метою вивчення можливості використання склобою як наповнювачів для виготовлення бетонних зразків серії №1 були використані гранітний щебінь фракції 5…10 мм, як дрібний наповнювач – природний пісок Балівського родовища та склобій крупністю 0…10 мм. Склобій вводився до складу пластичної бетонної суміші в кількості 0, 30, 50, 70 і 100 % від маси дрібного заповнювача, замінюючи пісок цією кількістю склобою. Склад бетонної суміші представлений у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 - Склад бетонної суміші

№ замісу	0 - 1	0 - 2	0 - 3	0 - 4	0 - 5
Вміст склобою від маси дрібного заповнювача, %	0	30	50	70	100
Одиниця виміру	кг/м^3				
Цемент ЦЕМ II/А-К (Ш-П) 32,5Б	710	710	701	697	692
Пісок природний Балівський	968	677	478	285	0
Бій скла	0	290	478	665	943
Щебінь 5…10 мм	266	266	263	261	260
Вода	330	330	325	323	320
Водоцементне відношення	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46
Середня щільність, кг/м^3	2274	2274	2245	2235	2215

Виготовлені бетонні зразки розміром 7,07х7,07х7,07 см бетонної суміші різних складів витримувалися протягом 7 і 28 діб в нормальних умовах твердіння. Межа міцності при стисканні зразків бетону наведена у перерахунку на межу міцності зразків стандартного розміру 150х150х150 мм. Результати досліджень подано на рис. 3.1 та у табл. 3.2.

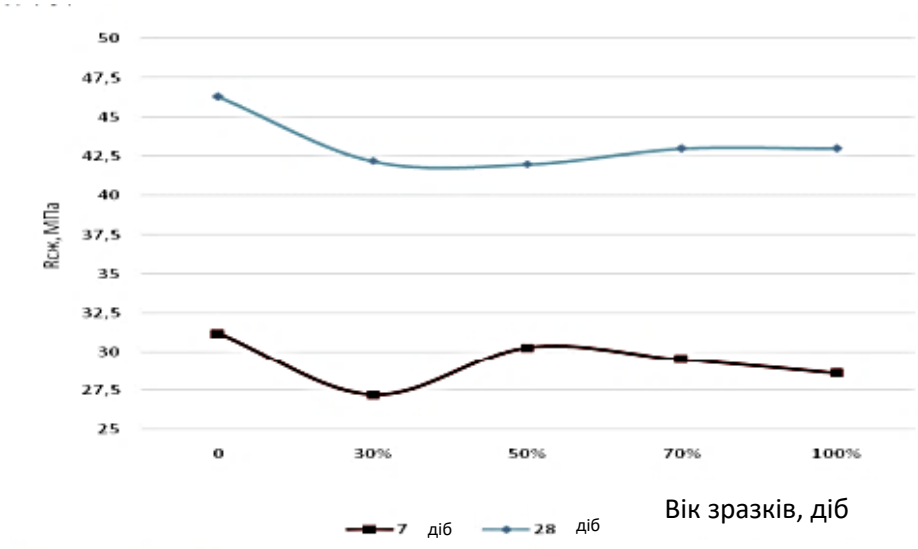


Рисунок 3.1 – Залежність міцності бетону від кількості склобою

Таблиця 3.2 - Межа міцності при стиску (МПа) при кількості склобою у % від маси дрібного заповнювача

Вік зразків	Кількість склобою від маси дрібного заповнювача				
	0 %	30 %	50 %	70 %	100 %
7 діб	31,2	27,2	30,3	29,5	28,6
28 діб	46,3	42,2	42,0	43,0	43,0

Проведені дослідження показали, що при заміні дрібного піску склобоєм у кількості 30 % відбувається зниження міцності бетону в віці 28 діб ≈ на 9 %, а при подальшому збільшенні частки склобою в дрібному заповнювачі – відбувається незначне збільшення міцності бетону.

При заміні дрібного піску склобоєм у кількості 70 % відбувається зниження міцності бетону у віці 28 діб - на 7 %. Можливо припустити, що зниження міцності бетонів при додаванні в дрібний заповнювач склобою відбувається в результаті того, що зерна скла мають гладку поверхню, зчеплення з цементним каменем відсутнє.

Серія зразків бетону №2.

З метою підвищення міцності бетонних зразків як заповнювачів для зразків серії №2 були використані гранітний щебінь фракції 5…10 мм, як дрібний заповнювач – подрібнений пісок з граніту та склобій крупністю 0…10 мм.

Склобій вводився до складу пластичної бетонної суміші у кількості 0, 30, 50, 70 та 100 % від маси дрібного заповнювача, замінюючи пісок цією кількістю склобою. У якості в'яжучого використовувався нормально-твердіючий портландцемент ЦЕМ I 42,5Н. Рухливість бетонної суміші серії №2 приймалася такою ж, як і в серії I. Склад бетонної суміші представлений у таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 - Склад бетонної суміші

№ партії	1	2	3	4	5	6
Зміст склобою від маси дрібного заповнювача, %	0	15	30	50	70	100
Одиниця виміру	кг/м^3					
Цемент ЦЕМ І 42,5Н	585	581	589	586	580	577
Пісок подрібнений з граніту	836	706	589	418	249	0
Бій скла	0	125	252	418	580	824
Щебінь 5…10 мм	627	623	631	627	622	618
Вода	293	291	295	293	290	289
Водоцементне відношення	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Середня густина, кг/м^3	2340	2325	2357	2342	2322	2308

Розрахунок складу бетонної суміші на 1м^3 представлений у Додатку А.

Зовнішній вигляд бетонних зразків до випробування та після випробування на межі міцності при стисканні представлений на рис. 3.2.

Результати випробувань бетонних зразків розміром 7,07 х 7,07 х 7,07 см віці 7, 14 та 28 діб після витримування в нормальних умовах твердіння представлені на рис. 3.3 та табл. 3.4.



Рисунок 3.2 – Зовнішній вигляд бетонних зразків до випробування та після випробування на міцність при стисканні

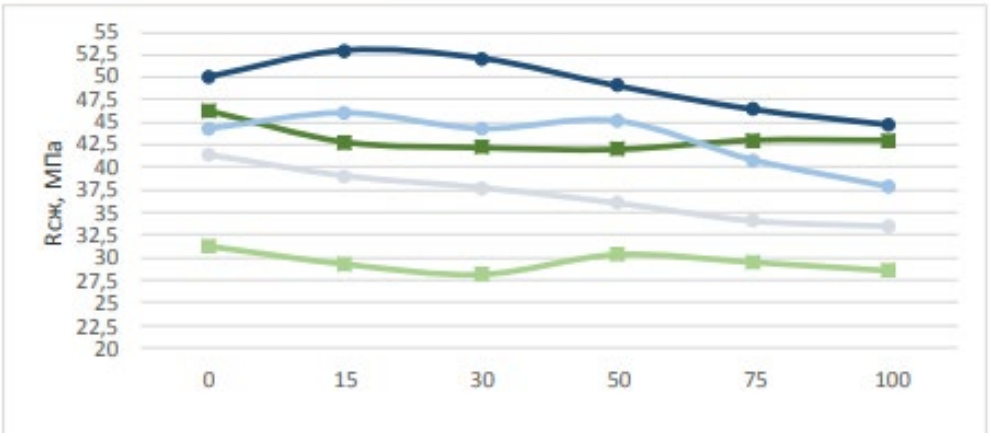


Рисунок 3.3 – Залежність міцності бетону від кількості склобою

Табл. 3.4 – Результати випробувань бетону на міцність

% скла від маси дрібного заповнювача	Межа міцності при стисканні (МПа) у віці, доба				
	Подрібнений пісок із граніту			Б пісок	
	7	14	28	7	28
0	43,4	44,2	46,4	31,2	46,2
15	39,0	46,0	52,9	26,0	42,8
30	37,7	44,2	52,0	27,2	42,2
50	39,5	45,1	49,0	30,3	42,0
75	31,7	40,8	40,8	29,5	43,0
100	33,4	35,6	41,2	28,6	43,0

Згідно з результатами випробувань, міцність бетонних зразків на подрібненому піску з граніту вище, ніж міцність зразків з аналогічним процентним вмістом склобою на природному Балівському піску.

Дані рис. 3.3 та табл. 3.4 вказують на невеликий (в межах 10 %) набір міцності бетону з 15 % вмістом склобою в дробленому піску з граніту. Потім збільшення кількості склобою в подрібненому піску плавно призводить до зниження міцності бетону. Так, заміна подрібненого піску з граніту повністю

склобоєм знижує міцність бетону приблизно на 11,2 % в порівнянні з міцністю бетонів, виготовлених тільки на подрібненому піску.

Для дослідження впливу на властивості бетону склобою різної крупності була виготовлена III партія бетонних зразків. У цій партії бетонних зразків як заповнювач був використаний гранітний щебінь фракції 5…10 мм, як дрібний заповнювач – подрібнений пісок з граніту та склобій фракцій: <0,16; 0,16…0,315; 0,315…0,63; 0,63…1,25; 1,25…2,5; 2,5…5; 5…10 мм. Склобій вводився до складу пластичної бетонної суміші у кількості 50 % від маси дрібного заповнювача, замінюючи подрібнений пісок цією кількістю склобою. Склад бетонної суміші представлений у таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 - Склад бетонної суміші

№ партії	7	8	9	10	11	12	13
Розмір фракції склобою, мм	5…10	2,5…5	1,25…2,5	0,63…1,25	0,315…0,63	0,16…0,315	< 0,16
Одиниця виміру	кг/м^3						
Цемент	586	585	578	572	574	571	613
Пісок подрібнений	419	418	413	409	410	408	365
Склобій	419	418	413	409	410	408	365
Щебінь, 5…10 мм	628	627	619	613	615	612	547
Вода	293	292	289	286	287	286	306
Водоцементне співвідношення	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Середня щільність, кг/м^3	2345	2339	2311	2290	2296	2286	2196

При використанні склобою в якості дрібного заповнювача фракцією 5..10 мм виходить досить рухлива суміш з невеликим водовідділенням. Це пов'язано зі збільшенням частки заповнювача з великим розміром фракції, у зв'язку з чим відбувається зменшення водопоглинання.

Зі зменшенням розміру фракцій склобою спостерігається збільшення твердості бетонної суміші.

При виготовленні зразків бетону партії № 12 з використанням склобою з крупністю зерен від 0,16 до 0,315 мм бетонна суміш вийшла жорстка, що пояснюється збільшенням питомої поверхні зерен дрібного заповнювача.

При використанні склобою в якості заповнювача крупністю менше 0,16 мм (партія № 13), суміш вийшла дуже жорсткою, яка незручно укладається. Для покращення зручноукладальності, до складу бетонної суміші була додана вода та цемент у кількості 20 % від первісної маси.

Розрахунок складу бетонної суміші на 1м^3 представлений у Додатку Б.

В якості в'яжучого для виготовлення бетонних зразків використовувався цемент класу ЦЕМ I 42,5 Н. Результати випробувань бетонних зразків, витриманих протягом 7 та 28 діб у нормальних умовах твердіння, на межу міцності при стиску представлені на рис. 3.4 та в табл. 3.6.

Табл. 3.6 – Результати випробувань бетонів на міцність

Вік зразка	Межа міцності при стисканні (МПа)						
	Розмір фракції склобою, мм						
	< 0,16	0,16 …0,315	0,315 …0,63	0,63 …1,25	1,25 …2,5	2,5 …5	5…10
7 діб	29,5	36,9	40,8	36,4	39,9	29,5	39,0
28 діб	41,2	43,8	51,2	44,7	46,4	47,7	46,0

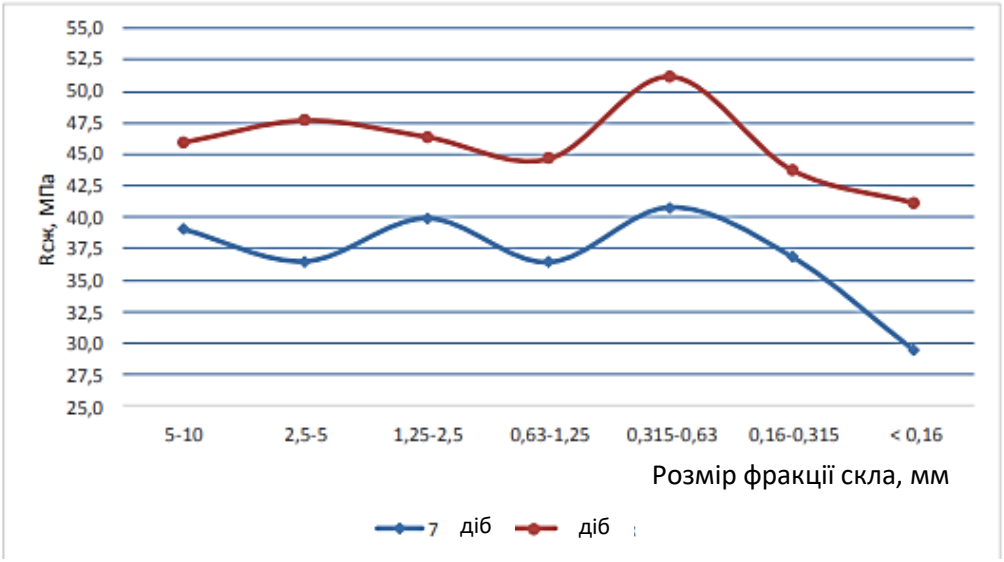


Рисунок 3.4 – Зміна міцності бетону в залежності від розміру крупності склобою

З результатів випробувань видно, що найбільший результат по межі міцності при стисканні і в 7 і в 28 діб твердіння показали зразки бетону з використанням склобою з крупністю зерен від 0,315 до 0,63 мм, найменший результат - з крупністю зерен склобою менше 0,16 мм.

Отже, як заповнювач в бетонах можна використовувати склобій великих фракцій, переважно вище 1,25 см, причому міцність цих бетонів можна порівняти з міцністю звичайних бетонів на природному та подрібненому піску. Порівнюючи результати випробувань (табл. 3.4 та 3.6), можна сказати, що міцність звичайних бетонів на природному та подрібненому піску перевершує міцність бетону з використанням склобою крупністю 0,315…0,63 мм. При розмірі частинок склобою з крупністю зерен менше 0,315 мм відбувається різке зниження міцності бетону. Таке зниження міцності може бути пояснено високою питомою поверхнею зерен заповнювача, що призводить до різкого зниження зчеплення зерен скла з цементним каменем.

3.2 Вплив активної мінеральної добавки мікрокремнезему та суперпластифікаторів на характеристики міцності цементного каменю

В останні роки обов'язковим компонентом у будь-якому високоміцному бетоні є мінеральні добавки, наприклад, мікрокремнезем. Як і всі пуцоланові матеріали, мікрокремнезем вступає в реакцію з гідроокисом кальцію $Ca(OH)_2$, що утворюється при гідратації портландцементу в процесі гідратації в'язких сполук. Висока чистота та підвищена дисперсність мікрокремнезему сприяє більш ефективній та швидкій реакції, що залежить від вмісту реактивного кремнезему. Мікрокремнезем може забезпечити міцність на стиск, набагато перевищує міцність звичайних бетонів, у поєднанні з ефективними суперпластифікаторами. В результаті спільного використання активних мінеральних добавок та полікарбоксилатних суперпластифікаторів можливе отримання високоміцних бетонів з підвищеною довговічністю.

У цій роботі проведено дослідження активного впливу мінеральної добавки мікрокремнезему та ефективного суперпластифікатора Sika ViscoCrete-G2 на характеристики міцності цементного каменю, виготовленого із застосуванням склобою.

При виготовленні партії №4 бетонних зразків в якості великого заповнювача був використаний гранітний щебінь фракції 5…10 мм, як дрібний заповнювач – подрібнений пісок з граніту та склобій крупністю 0…10 мм. Склобій вводився до складу пластичної бетонної суміші в кількості 30 та 50 % від маси дрібного заповнювача, замінюючи пісок цією кількістю склобою. Мікрокремнезем вводився до складу суміші в кількості 10, 20 та 30 % від маси цементу. До складу кожної із сумішей даної партії також вводився суперпластифікатор Sika ViscoCrete-G2 в кількості 1 % маси цементу. Склад бетонної суміші представлений в таблиці 3.7, зміна міцності бетону в залежності від кількості склобою та мікрокремнезему – на рисунках 3.5, 3.6 та 3.7.

Таблиця 3.7 - Склад бетонної суміші.

№ партії	14	15	16	17	18	19	20	21	22
Зміст склобою від маси дрібного заповнювача, %	0	30	50	0	30	50	0	30	50
Зміст мікрокремнезему від маси цементу, %	10	10	10	20	20	20	30	30	30
Суперпластифікатор Sika, % від Ц	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Одиниця виміру	кг/м^3								
Цемент	516	517	511	458	455	444	391	389	384
Пісок подрібнений	818	574	406	818	568	396	799	556	392
Мікрокремнезем	57	57	57	115	114	111	168	167	165
Склобій	0	246	406	0	244	396	0	238	392
Щебінь, 5…10 мм	614	615	608	614	609	595	599	596	588
Вода	286	287	284	286	284	277	280	278	274
Суперпластифікатор Sika	6	6	6	6	6	6	6	6	5
Водоцементне ставлення	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Середня щільність, кг/м^3	2297	2302	2277	2296	2279	2225	2242	2229	2201

Розрахунок складу бетонних сумішей на 1м^3 представлений у Додатку В.

Залежність міцності бетонних зразків із кількістю мікрокремнезему 10, 20 і 30 % від кількості склобою представлений на рисунках 3.5, 3.6, 3.7 відповідно.

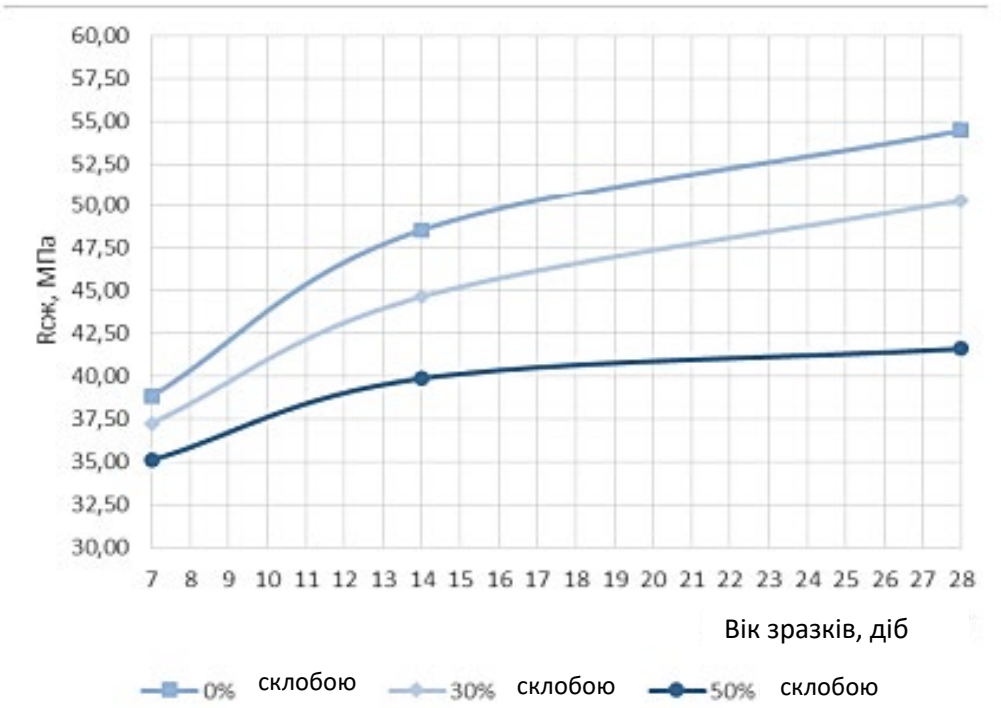


Рисунок 3.5 – Залежність міцності зразків з мікрокремнеземом в кількості 10 % від кількості склобою

Таблиця 3.8 - Міцність зразків з мікрокремнеземом у кількості 10 %

Кількість склобою від маси дрібного заповнювача, %	Межа міцності при стисканні (МПа)		
	Вік зразків, діб		
	7	14	28
0	38,86	48,57	54,51
30	37,30	44,67	50,31
50	35,13	39,90	41,63

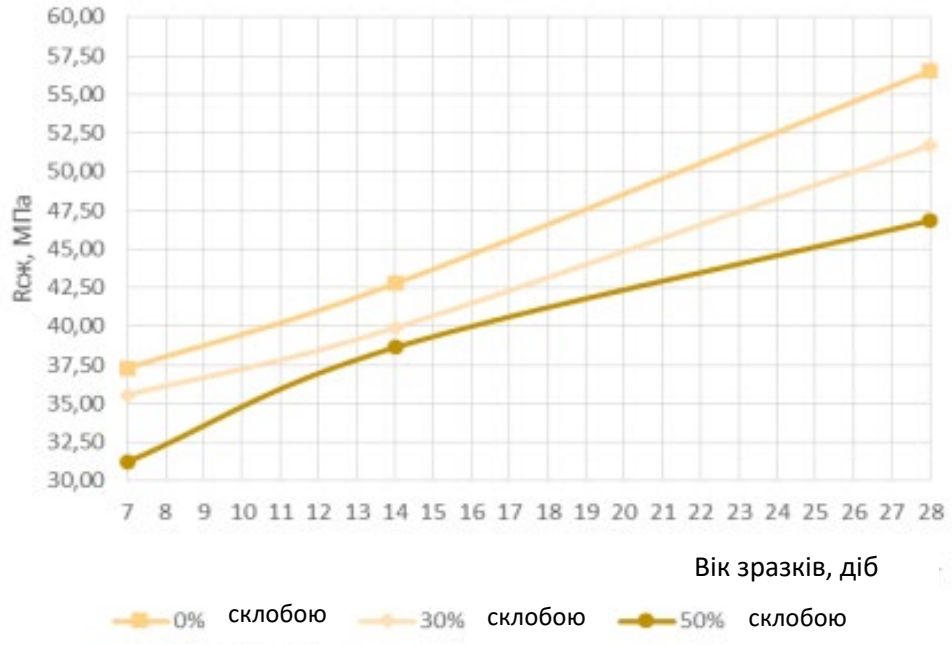


Рисунок 3.6 – Залежність міцності зразків з мікрокремнеземом в кількості 20 % від кількості склобою

Таблиця 3.9 - Міцність зразків з мікрокремнеземом в кількості 20 %

Кількість склобою від маси дрібного заповнювача, %	Межа міцності при стисканні (МПа)		
	Вік зразків, діб		
	7	14	28
0	37,30	42,77	56,51
30	35,56	39,90	51,70
50	31,22	38,63	46,84

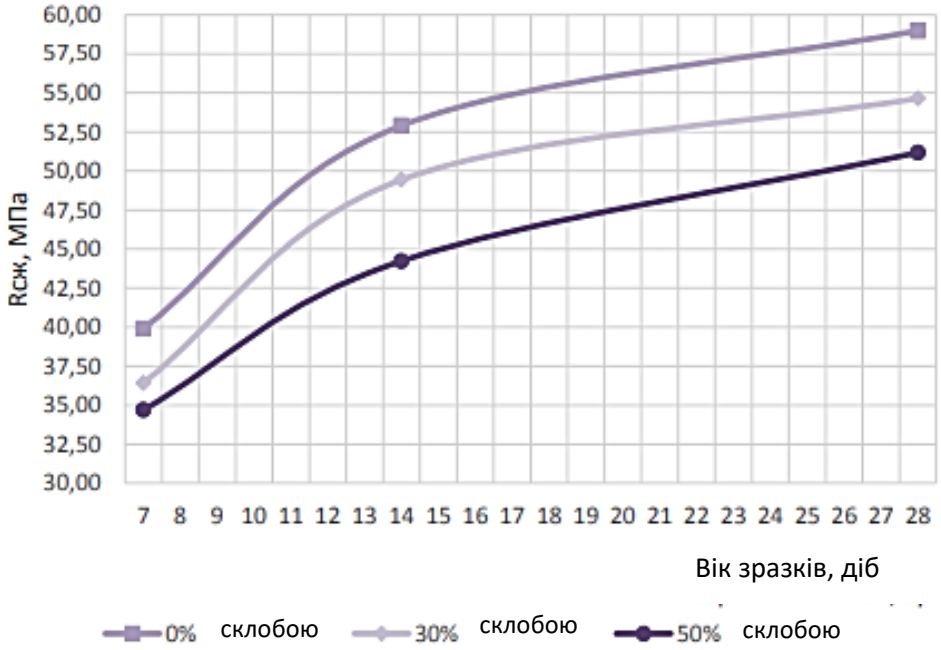


Рисунок 3.7 – Залежність міцності зразків з мікрокремнеземом в кількості 30 % від кількості склобою

Таблиця 3.10 - Міцність зразків з мікрокремнеземом у кількості 30 %

Кількість склобою від маси дрібного заповнювача, %	Межа міцності при стисканні (МПа)		
	Вік зразків, діб		
	7	14	28
0	39,70	52,91	58,98
30	36,43	49,44	54,64
50	34,69	44,23	51,17

Застосування суперпластифікатора у складі бетонної суміші дозволяє покращити зручність укладання бетону, отримати суміш з більшою рухливістю (партія № 14). Аналіз властивостей бетонних сумішей показує, що зі збільшенням кількості склобою спостерігається підвищення жорсткості бетонної суміші. При використанні у складі бетонної суміші суперпластифікатора, склобою в кількості 50 % від маси дрібного заповнювача та мікрокремнезему в кількості 30 % від маси цементу, суміш виходить досить жорсткою і потрібно на її ущільнення більше часу.

Під час приготування бетонних сумішей встановлено, що при збільшенні кількості мікрокремнезему знижується рухливість розчину. Це спостерігається при постійному водоцементному відношенні (В/Ц = 0,5) та постійному відношенні кількості суперпластифікатора Sika до цементу (1% від кількості цементу). Дане явище пояснюється тим, що при збільшенні кількості мікрокремнезему значно підвищується загальна водопотреба.

На рис. 3.8 спостерігається залежність міцності зразків бетону від кількості високодиспергованого мікрокремнезему. З цього графіка видно, що найкращі результати міцності отримані при вмісті в дрібному заповнювачі 30% склобою та при заміні цементу мікрокремнеземом у кількості 30 %.

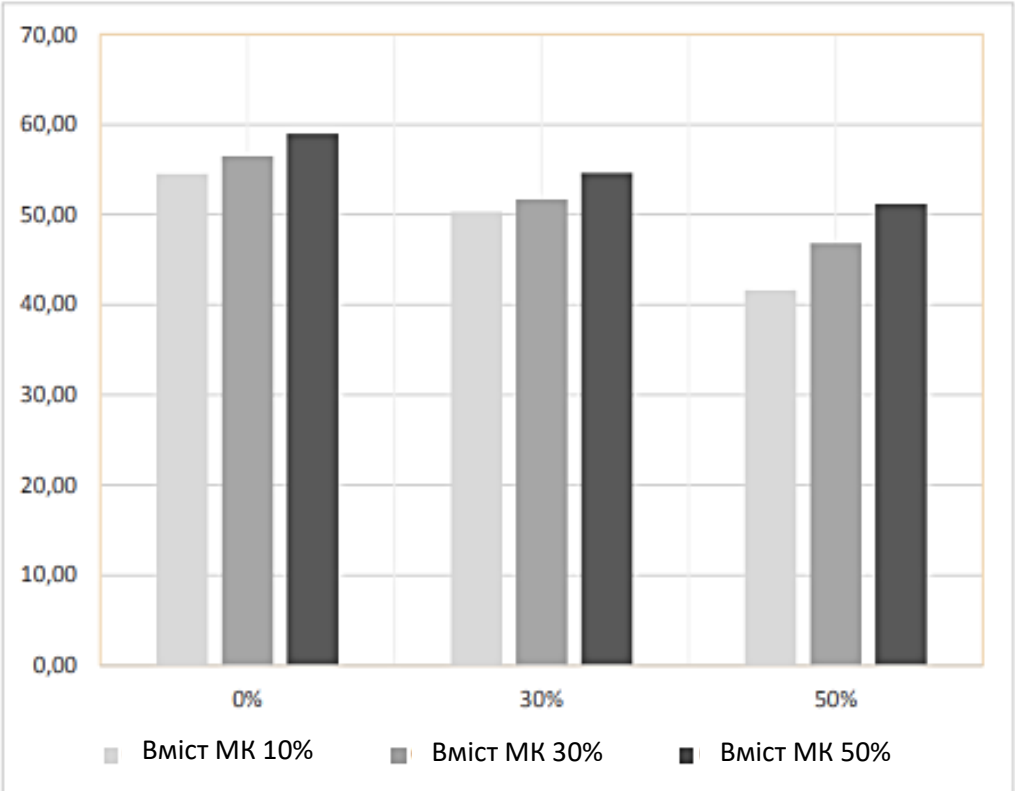


Рисунок 3.8 – Залежність міцності зразків бетону від кількості мікрокремнезему

Таблиця 3.11 – Залежність міцності зразків від кількості скла та мікрокремнезему

Кількість склобою, %	28 діб		
	Вміст МК 10 %	Вміст МК 20 %	Вміст МК 30 %
0	54,51	56,51	58,98
30	50,31	51,70	54,64
50	41,63	46,84	51,17

В зразках бетону із вмістом склобою в кількості 30 % помітний приріст міцності бетону на 2,7…8,6 % при заміні цементу від 10 до 30 % відповідно. У зразках бетону із вмістом склобою в кількості 50 % приріст міцності бетону збільшується вже на 11,1…22,9% при заміні цементу мікрокремнеземом від 10 до 30 % відповідно.

Звідси випливає, що високодиспергований мікрокремнезем діє як хімічний компонент під час утворення цементного каменю.

3.3 Застосування склобою як заповнювача для виготовлення високоміцних бетонів

З метою вивчення можливості використання склобою як заповнювача високоміцних бетонів певного складу були виготовлені бетонні зразки розміром 10 х 10 х 10 см із використанням матеріалів, зазначених в табл. 3.12. Зразки бетону партій 1 – 4 витримувалися протягом 3, 7 та 28 діб в нормальних умовах твердіння.

Результати випробувань зразків бетону даних партій подано на рис. 3.9 та в табл. 3.13.

Таблиця 3.12 - Склад бетонної суміші

№ партії	1	2	3(5)	4	6	7
Зміст склобою від маси дрібного заповнювача, %	0	0	30	30	30	30
Одиниця виміру	кг/м^3					
Цемент ЦЕМ II/А-К (Ш-П) 32,5Б	301	232	238	238	362	473
Пісок дроблений з граніту	650	711	510	506	384	422
Склобій	0	0	218	216	163	181
Мікрокремнезем	129	100	102	101	155	-
Щебінь гранітний фракцій 5…10 та 10…20 мм	1060	1159	1187	1179	1168	1280
Вода	258	271	204	203	208	189
Пластифікатор STACHEMENT 2280	-	3	3	-	5	5
Пластифікатор Sika ViscoCrete-G2	-	-	-	2,81	-	-
Водоцементне відношення	0,6	0,6	0,6	0,6	0,4	0,4
Середня густина, кг/м^3	2398	2476	2462	2446	2445	2550

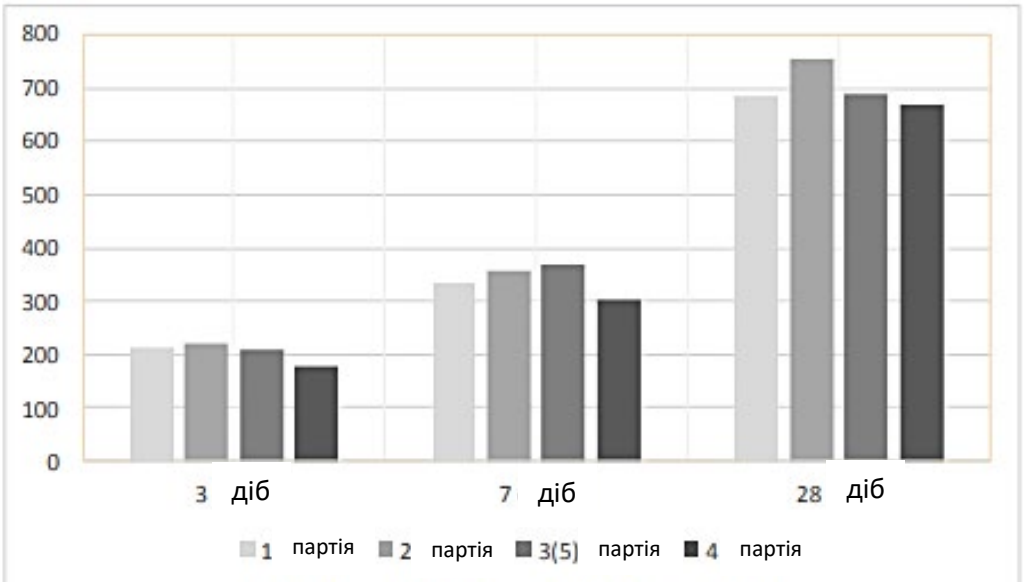


Рисунок 3.9 – Залежність міцності зразків від бетонного складу суміші

Таблиця 3.13 - Міцність зразків

Вік зразків	1 партія	2 партія	3(5) партія	4 партія
3 доби	213	221	208	178
7 діб	335	358	370	302
28 діб	687	756	688	668

Дані рис. 3.9 і табл. 3.13 показують, що при використанні в якості гіперпластифікуючої добавки STACHEMENT 2280 підвищуються характеристики міцності бетону на 4…9 % (партії 1 і 2).

Склобій як дрібний заповнювач знижує міцність бетонів на 6…9 % (партії 2 та 3). При використанні як пластифікуючої добавки Sika ViscoCrete-G2 отримані бетони, ідентичні за міцністю бетони на гіперпластифікаторі STACHEMENT 2280. Однак набір міцності бетонів на гіперпластифікаторі STACHEMENT 2280 відбувається набагато швидше, ніж на суперпластифікаторі Sika ViscoCrete-G2 (партії 3 та 4).

У зв'язку з тим, що склобій автором даної роботи рекомендується використовувати у виготовленні бортового каміння, при визначенні придатності склобою як дрібний заповнювач при приготуванні бетонної суміші було враховано вимоги ДСТУ Б В.2.7-237:2010 Будівельні матеріали. Камені бетонні і залізобетонні бортові. Технічні умови:

- водоцементне відношення (В/Ц) має бути не більше 0,40;

- бетонні суміші для важкого бетону з маркою по зручноукладальності П2 або П3 з рухливістю не більше 12 см слід готувати з обов'язковим застосуванням добавок, що пластифікують;

- для приготування бетонної суміші слід застосовувати бездодатковий портландцемент або портландцемент із мінеральними добавками до 5 %, що відповідають ГОСТ 10178;

- модуль крупності піску має бути не менше 2,0;

- найбільший розмір зерен великого заповнювача - 20 мм;

- марка щебеню за міцністю на стиск повинна бути не нижче М1000.

Склади виготовлених бетонних сумішей важкого досліджуваного бетону партій 6 та 7 представлені в табл. 3.12, результати випробувань зразків бетону на міцність – на рис. 3.10.

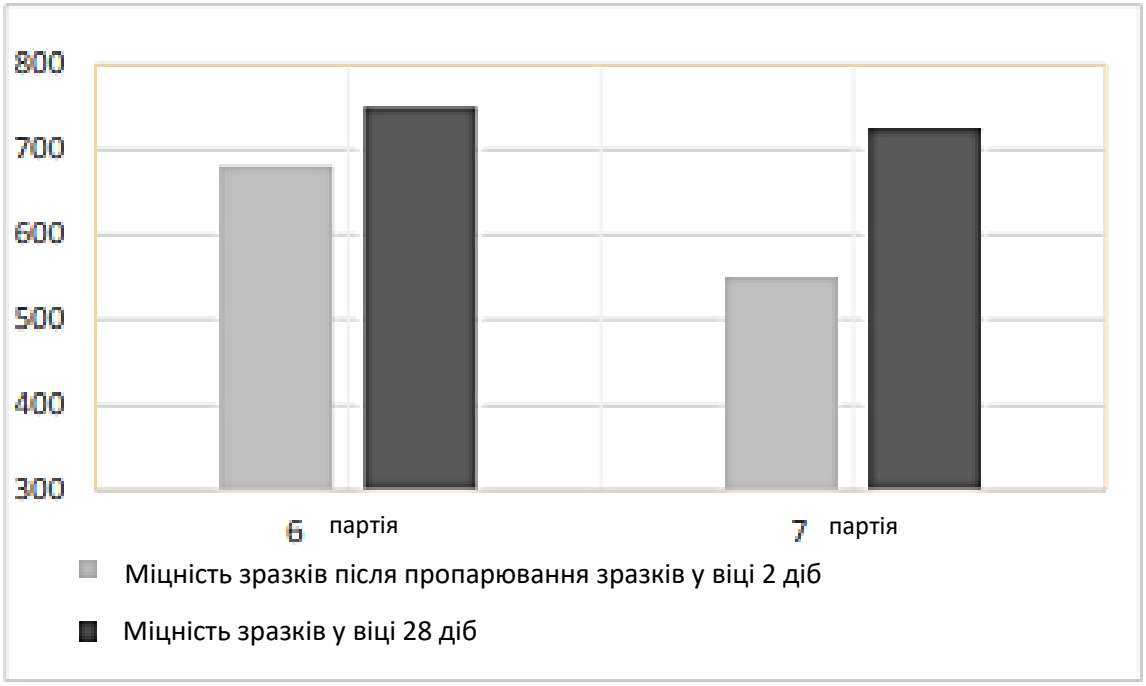


Рисунок 3.10 – Міцність зразків бетону

Як пластифікуюча добавка використовувався гіперпластифікатор STACHEMENT 2280.

При тепловологісній обробці бетону дотримувався м'який режим твердіння (температура не вище 70 °С) з граничною швидкістю підйому та зниження температури обробки трохи більше 25 °С/год.

Аналізуючи результати досліджень, можна дійти невтішного висновку, що бетон, виготовлений з використанням як наповнювач високодиспергованого мікрокремнезему має вищі міцнісні показники, а ніж бетон без мікрокремнезему (партії 6 та 7).

Після пропарювання бетон із мікрокремнеземом набирає 90 % марочної міцності, без мікрокремнезему – лише 75 %. Клас отриманого бетону партії 6 та 7 – В55.

Наявність високодиспергованого мікрокремнезему позитивно позначається на характеристиках бетону, оскільки мікрокремнезем в

цементному камені вступає в реакцію з $Ca(OH)_2$, що виділяється при гідратації клінкерних мінералів цементу C_3S та C_2S, з утворенням дуже міцних з'єднань. Висока дисперсність мікрокремнезему сприяє ефективності та швидкості реакції. Безліч сферичних мікрочастинок оточують кожне зерно цементу, ущільнюють цементний камінь, покращують зчеплення із заповнювачем та заповнюють порожнечі міцними продуктами гідратації [30]. Мікрокремнезем бере участь в утворенні продуктів гідратації, що призводить до збільшення якості дрібних гелевих осередків, що входять до складу кальцієвосилікатного гідрогелю, а також знижує капілярну пористість [17]. Д. Дж. Паркер у своїй роботі [18] довів, що 1 кг мікрокремнезему може забезпечувати таку ж міцність, як 3…5 кг звичайного портландцементу, в сумішах однакової зручності при помірному вмісті мікрокремнезему та цементу в обох сумішах.

Також доведено, що бетони, виготовлені з додаванням мікрокремнезему у кількості до 30 % у поєднанні з суперпластифікатором, досягають дуже високої ранньої міцності.

Мікрокремнезем забезпечує міцність бетону на стиск, набагато перевищує міцність звичайних бетонів, і можливе виготовлення високоміцних бетонів із міцністю від 60 до 300 МПа.

У цих дослідженнях міцність пропарених зразків бетону з мікрокремнеземом приблизно на 19 % більше, ніж зразків бетону без мікрокремнезему.

3.4 Дослідження зони контакту зерен склобою із цементним комнем

Нові технології виробництва бетонів засновані на глибокому вивченні процесів, що відбуваються на мікрорівні у цементному камені. При цьому контролюється наявність та швидкість протікання хімічних речовин процесів, що відбуваються в бетоні, що твердіє. У цій роботі було вивчено контактну

зону зерен скла з цементним каменем бетонів, що відрізняються складом та умовами твердіння.

Дослідження, проведені у Колумбійському університеті (США) професором С. Мейєром, показали, що додавання скла до цементного каменю в більшості випадків призводить до протікання лужно-силікатної реакції. В результаті цієї реакції між сполуками оксиду кремнію в аморфному вигляді, що знаходяться на поверхні скла, та лугами цементу утворюється гель, який характеризується значною здатністю до набухання, він поглинає воду з подальшим збільшенням свого обсягу.

Також скло містить на поверхні Na+, здатний створювати певну концентрацію NaOH у цементному камені навіть у разі відсутності лугу в цементі, а з іншого боку скло містить поверхні з'єднання оксиду кремнію в аморфному вигляді. В результаті виникнення внутрішнього тиску, тому що гель знаходиться в цементному камені, утворюються тріщини, розширення та руйнування бетону.

Дослідники стверджують, що при використанні скла високої дисперсності розширення зразків бетону немає. На підставі чого робиться припущення, що процес лужно-силікатної реакції протікає протягом доби, внаслідок чого зафіксувати розширення та руйнування зразків неможливо.

В даній роботі пропонується процес придушення лужносилікатної взаємодії в бетонах із заповнювачем зі скла добавкою високодиспергованого мікрокремнезему.

3.4.1 Дослідження властивостей цементного каменю бетону партії №3

Склад бетонної суміші партії 3 представлений у таблиці 3.3. Зразки бетону розміром 7,07 х 7,07 х 7,07 см з моменту виготовлення протягом 28 діб набирали міцність у нормальних умовах твердіння.

Мікроструктура цементного каменю при збільшенні у 24 рази

представлена на рис. 3.10. Виразно видно зерна скла та подрібненого піску із граніту. Структура цементного каменю є щільною.

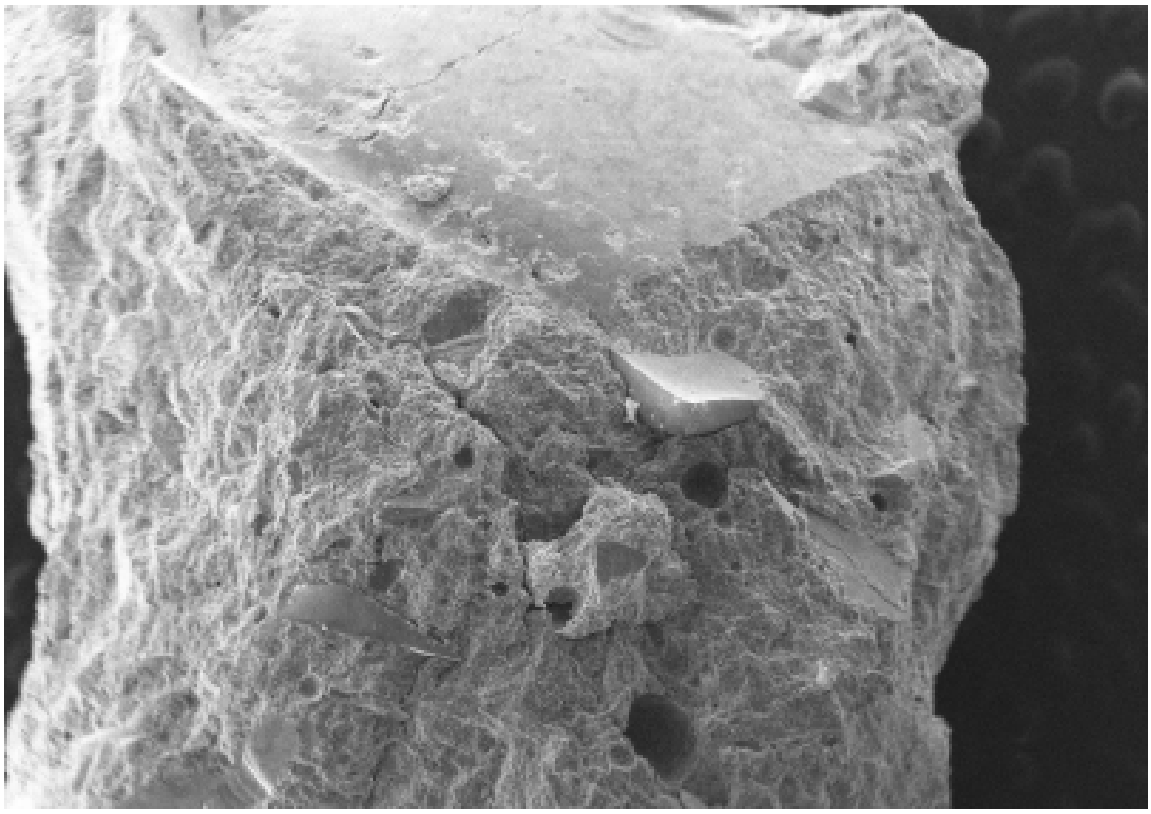


Рисунок 3.10 – Мікроструктура цементного каменю

На рисунках 3.11 та 3.12 при збільшенні відповідно у 170 та 500 разів представлені зерна скла різної крупності в якості дрібного заповнювача в бетоні. Зерна скла блискучі, зчеплення з цементним каменем відсутнє.

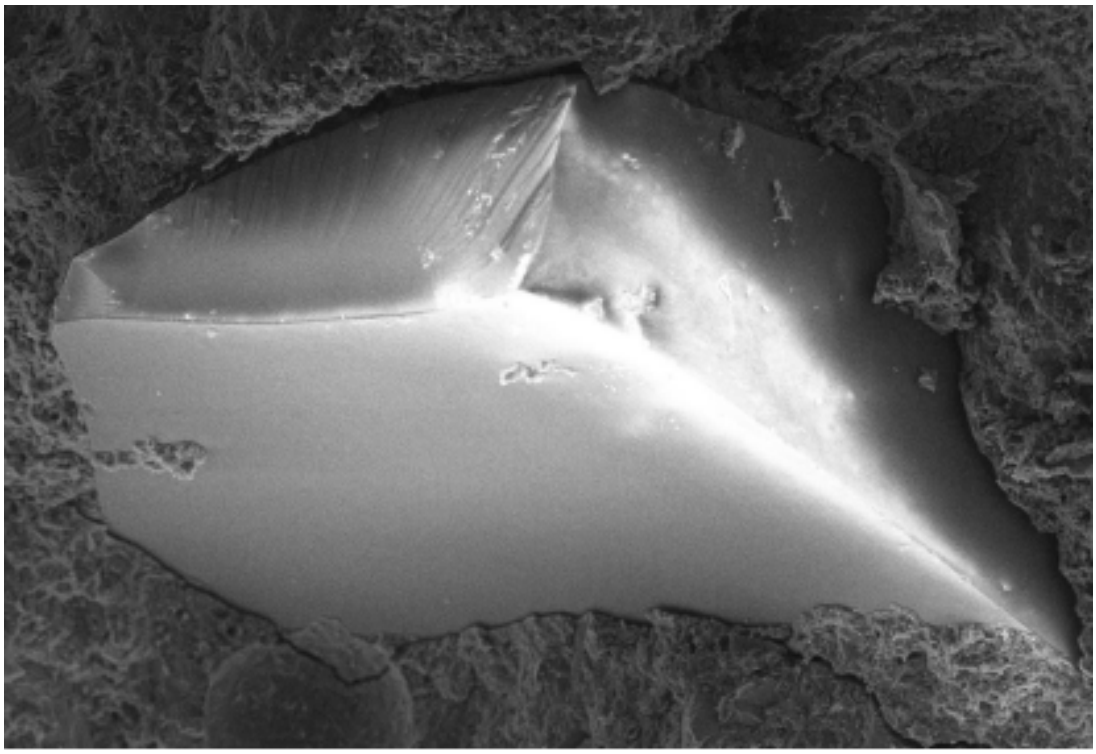


Рисунок 3.11 – Зерно скла в цементному камені зі збільшенням в 170 разів

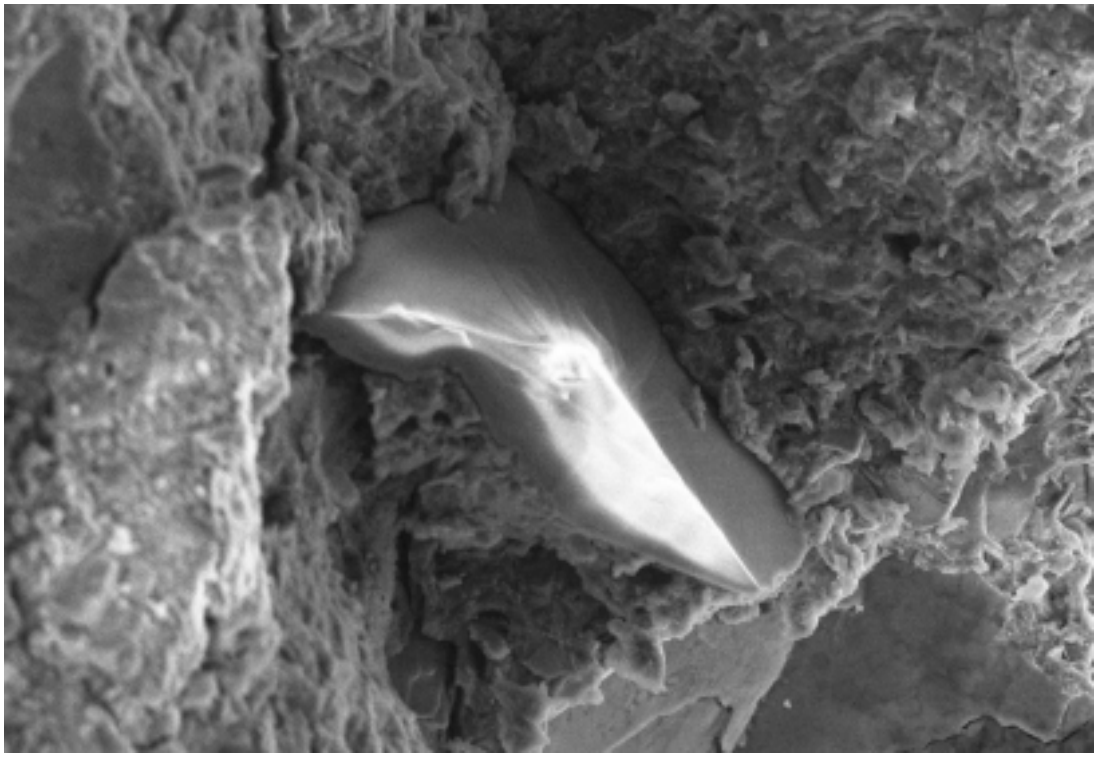


Рисунок 3.12 – Зерно скла в цементному камені зі збільшенням в 500 разів

При збільшенні у 2200 разів чітко видно зазор між зерном скла та цементним каменем 3.13. Новоутворень в результаті реакції між аморфним різновидом окису кремнезему та NaOH не спостерігається.

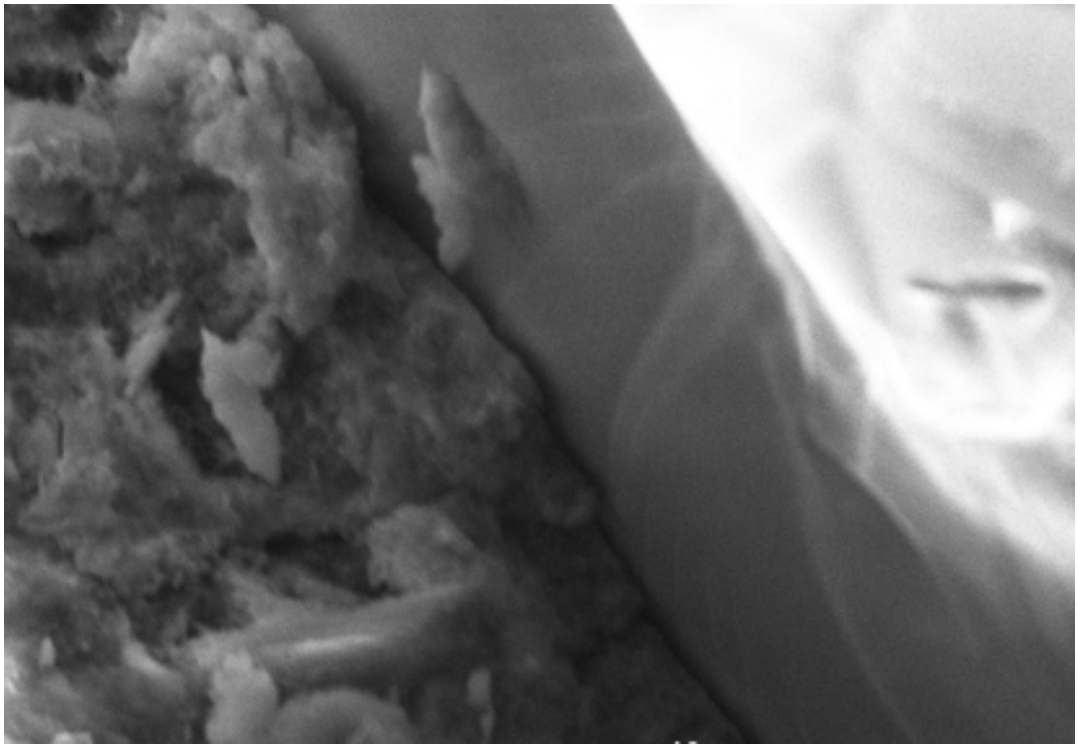


Рисунок 3.13 – Зерно скла в цементному камені зі збільшенням в 2200 разів

Для порівняння на рис. 3.14 представлена контактна зона зерна граніту із цементним каменем. Зерно граніту має міцне зчеплення з складовими цементного каменю: гідросилікатами, гідроалюмінатами та гідроферитами кальцію, $Ca(OH)_2$ та ін. Зазор між зерном заповнювача граніту та продуктами гідратації цементу відсутній.

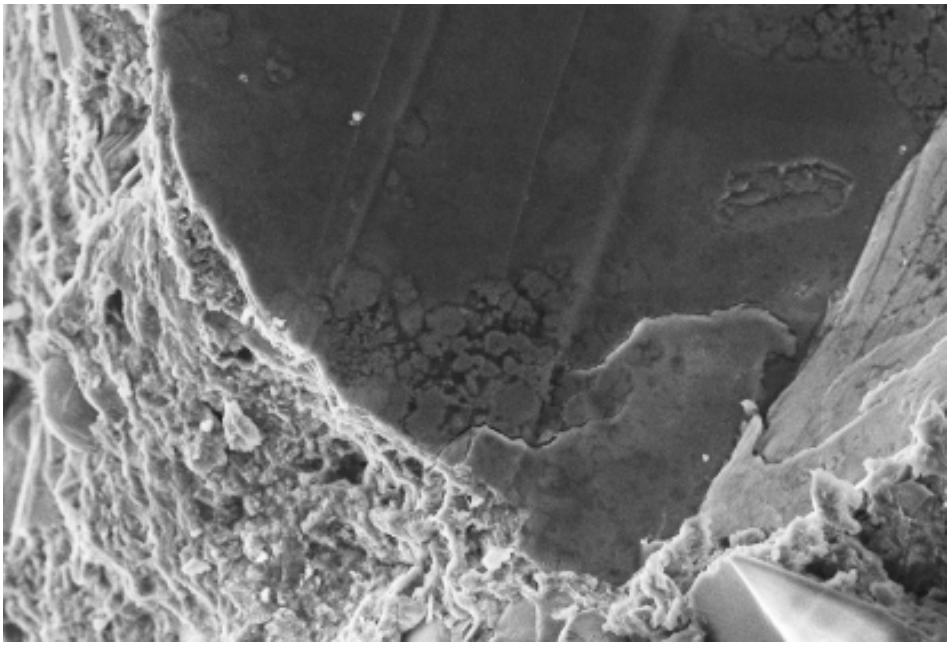


Рисунок 3.14 – Контактна зона зерна граніту із цементним каменем

3.4.2 Дослідження властивостей цементного каменю бетону партії №6 після пропарювання

Склад бетонної суміші партії 6 представлений в таблиці 3.12.

Зразки бетону розміром 10 х 10 х 10 см на другу добу після виготовлення були схильні до пропарювання за режимом 3 + 8 + 3 години при температурі 70 °С.

В складі цієї партії бетону знаходиться мікрокремнезем в кількості 30 % від маси цементу та гіперпластифікатор STACHEMENT 2280 в кількості 1 % від маси цементу.

Досліджуючи під мікроскопом (збільшення у 80 разів) структуру цементного каменю, бачимо, що зерно скла покрито полімерною складовою гіперпластифікатора STACHEMENT 2280 (рис. 3.15 та 3.16). Кордон між зерном скла та складовими цементного каменю не чіткий, розмитий.

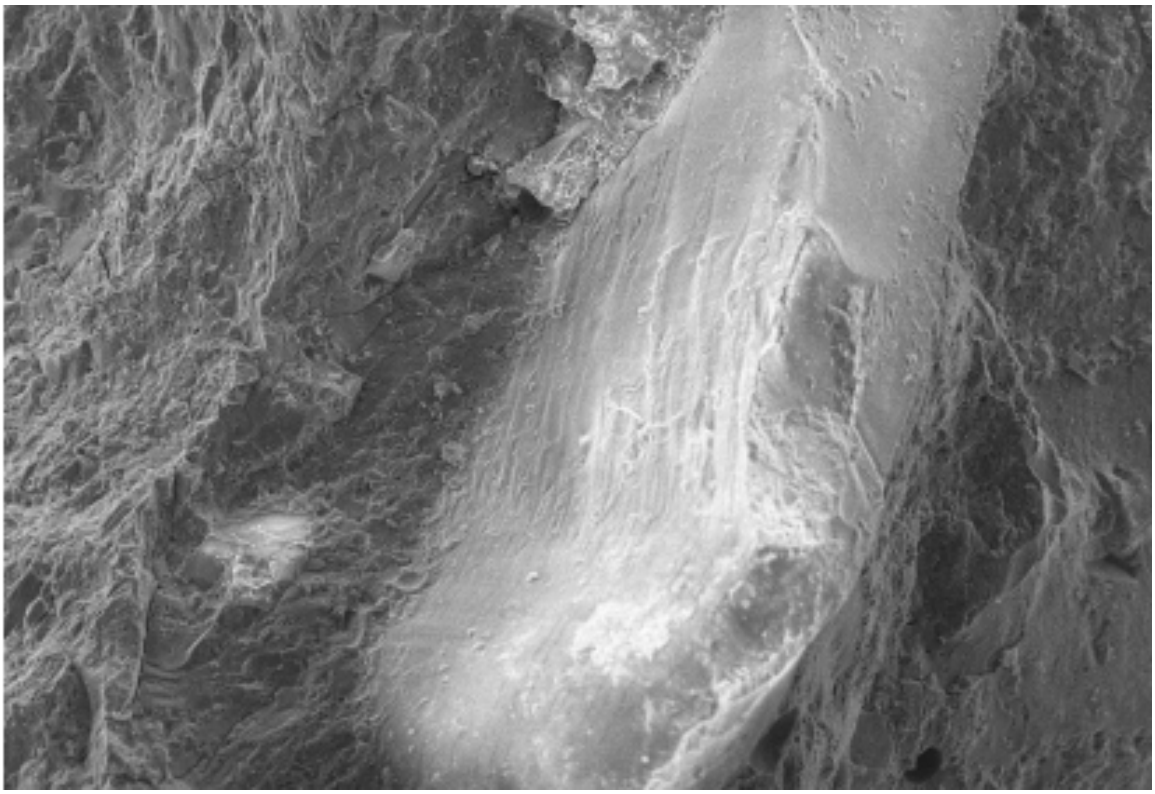


Рисунок 3.15 – Зерно скла в цементному камені зі збільшенням у 80 разів

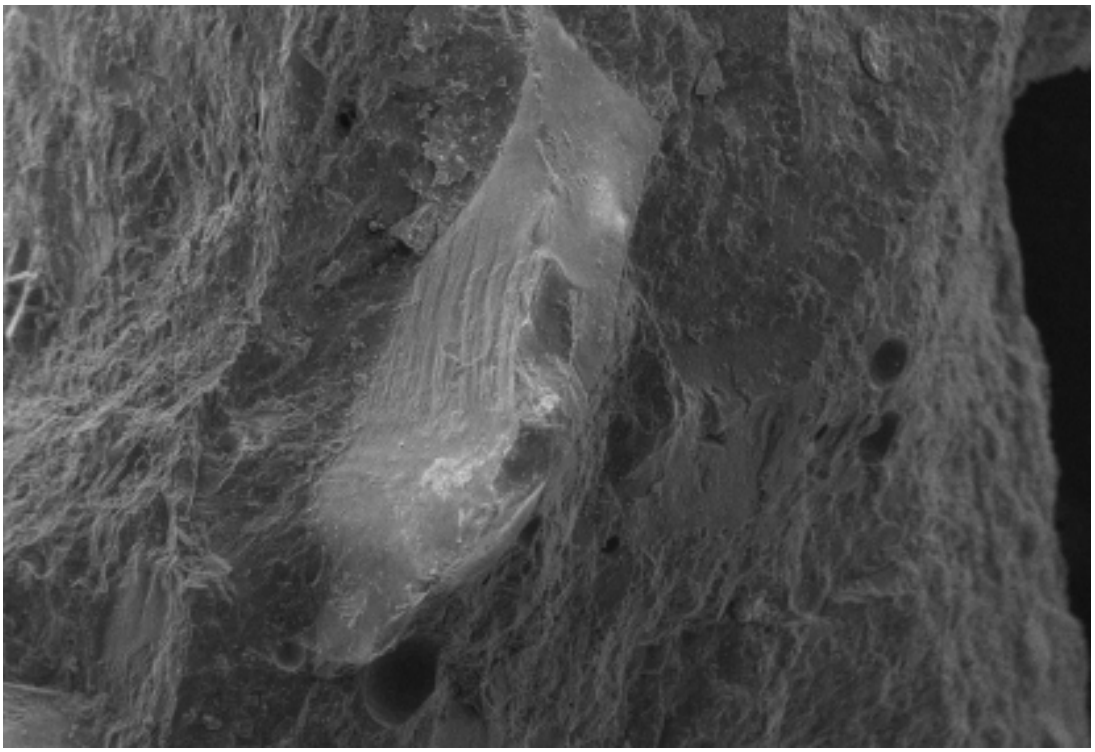


Рисунок 3.16 – Зерно скла в цементному камені зі збільшенням у 45 разів

Полімерна складова гіперпластифікатора STACHEMENT 2280 із зерна скла плавно переходить у цементний камінь. Структура цементного каменю дещо інша, ніж у партії 3, велику роль відіграє наявність у цементному камені полімерної складової гіперпластифікатора на основі полікарбоксілату. Переглянувши кілька зерен скла в цементному камені, приходимо до висновку, що щілина між зерном скла, покритим полімером, та цементним каменем практично відсутня, що її не вдається зафіксувати навіть зі збільшенням 4000 разів.

3.4.3 Дослідження властивостей цементного каменю бетону партії № 6 після витримування у нормальних умовах твердіння

На рисунку 3.17 при збільшенні в 540 разів зерно скла шорстке, порожнини між зерном та цементним каменем не спостерігається. Кордон скла з цементним каменем знаходиться в оболонці полімеру, зчеплення з цементним каменем міцне, що призвело до високих результатів міцності зразків бетону (рисунок 3.10).

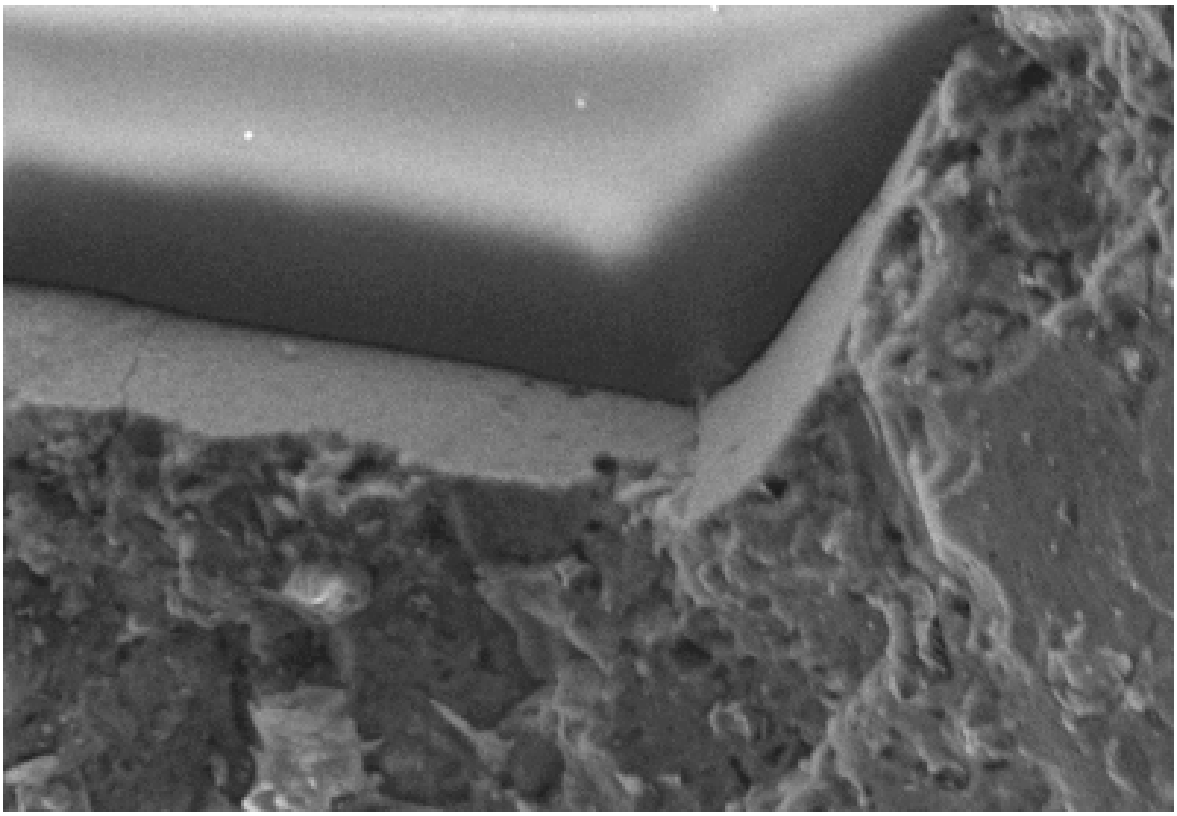


Рисунок 3.17 – Зерно скла в цементному камені зі збільшенням у 540 разів

4 РОЗРАХУНОК НЕСУЧОЇ ЗДАТНОСТІ ВИСОКОМІЦНОГО БЕТОНУ З СКЛОБОЮ ПО ДЕФОРМАТИВНІЙ МОДЕЛІ

В цьому розділі наводяться різні види діаграм бетону та арматури.

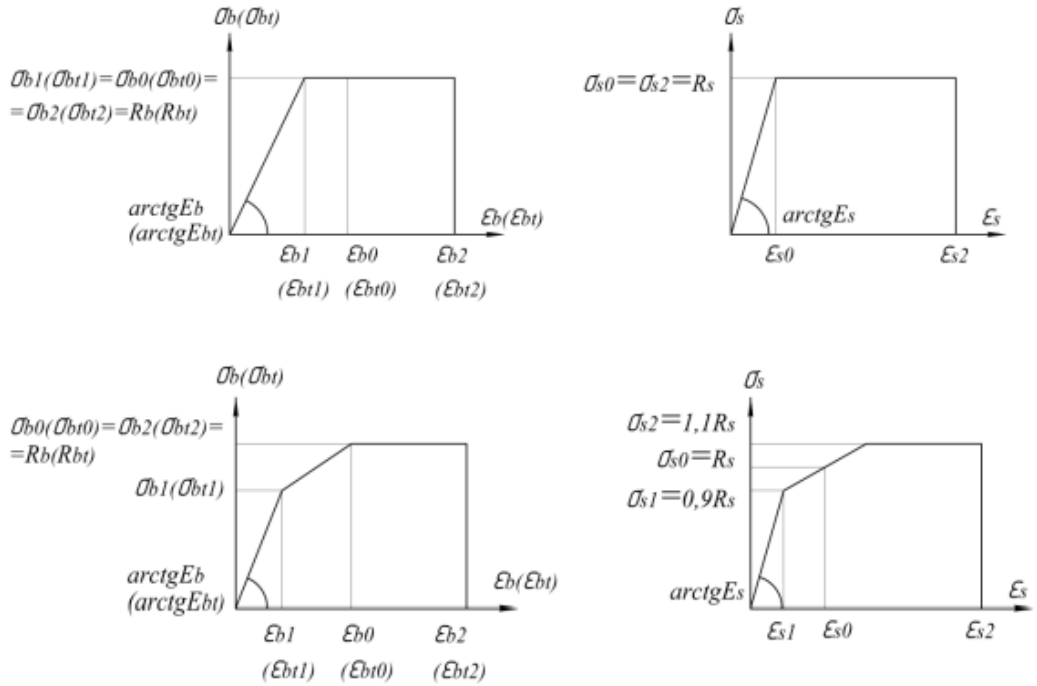


Рисунок 4.1 – Кусочно-лінійні діаграми бетону та арматури

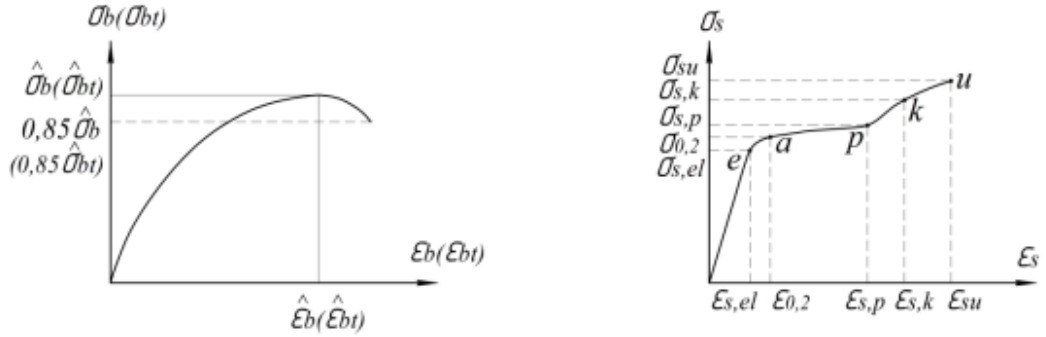


Рисунок 4.2 – Криволінійні діаграми деформування бетону та арматури

4.2 Теоретичні передумови розрахунку залізобетонних елементів бетону з скобою на міцність

Для встановлення співвідношення між граничними значеннями моментів та деформацій у розрахунках міцності нормального перерізу залізобетонного елементу за нелінійною деформаційною моделлю використовуються нормовані діаграми стану (деформування) бетону при стисканні $\varepsilon_b - \sigma_b$: білінійна, трилінійна (рис.4.3а), криволінійна з спадаючою гілкою (рис.4.3б) - згідно з рекомендаціями [15] та аналогічні: спрощена білінійна, параболічно-лінійна, криволінійна – згідно з рекомендаціями [16]. Закони зміни напруг від деформацій залежно від контуру діаграм представлені у зазначених нормативних документах, а також у роботах [28, 30, 36, 37]. Як розрахункова діаграма деформування арматури при розтягуванні $\varepsilon_s - \sigma_s$ (класу А-500 включно) приймається єдина рекомендована нормами [15, 16] білінійна діаграма, у якій межа пружної ділянки ol обмежується деформаціями $\varepsilon_{so} = \sigma_{0,2}/E_s$ ($\sigma_{0,2}$ - межа плинності арматурної сталі). У роботах [31,32] пропонується алгоритм опису повної діаграми (гілка oeapku), де межа пружної ділянки oe обмежується напругами рівними межі пружності арматури $\sigma_s = \sigma_{s,el}$ (рис.4.3в). Далі розглядається алгоритм розрахунку міцності з використанням нормованих діаграм [15], а потім він апробується в розрахунках з діаграмами [16].

У повних діаграмах арматури (при $\sigma_s \geq \sigma_{s,el}$) та криволінійних діаграми бетону зв'язок між деформаціями та напругами в нормах [15] відповідно приймається у вигляді:

$$\sigma_s = \varepsilon_s \nu_s E_s; \qquad \sigma_b = \varepsilon_b \nu_b E_b \quad (4.1)$$

де ν_s, ν_b - коефіцієнти зміни сіючого модуля арматури та бетону [37].

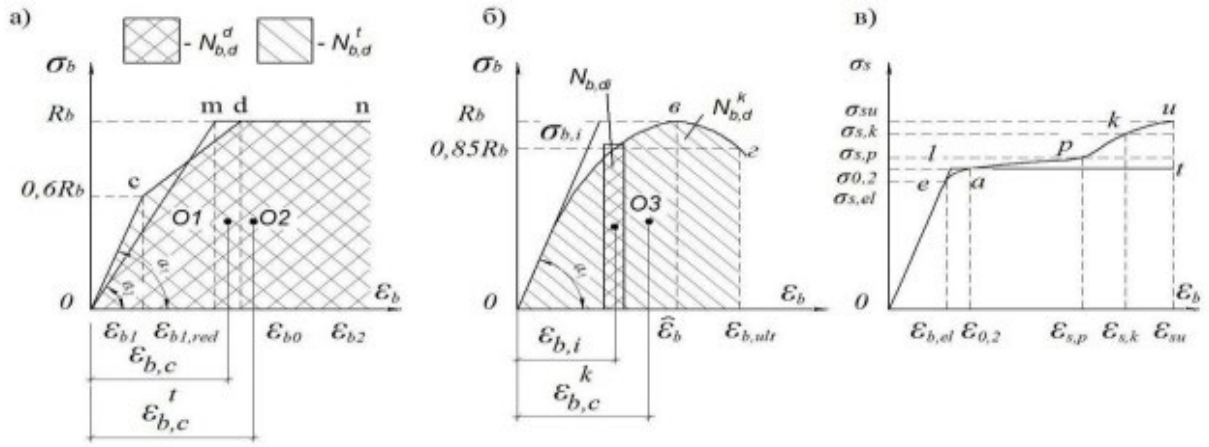


Рисунок 4.3 – Діаграми деформування бетону на стиск: а – кусочно – лінійні (дволінійна та трилінійна); б – криволінійна; в – арматури на розтяг

Для прямокутного перерізу з армуванням у нижній зоні арматурою площею A_s та у верхній зоні площею A^1_s (рис. 4.2 а) з урахуванням розподілу відносних деформацій бетону та арматури по лінійному закону (рис. 4.2 б) епюри напруги представлені рисунку 2 *в, г, д*. На підставі лінійного закону розподілу відносних деформацій по висоті елемента слідують співвідношення

$$\frac{1}{\rho} = \chi = \frac{\varepsilon sn}{h0-x} = \frac{\varepsilon bn}{x} = \frac{\varepsilon bn+\varepsilon sn}{h0}; \quad (4.2)$$

де h_0 – робоча висота перерізу; x - висота стиснутої зони; ε_{bn} - відносні деформації на крайньому волокні бетону стиснутої зони; χ - кривизна елемента; ρ - радіус кривизни; ε_{sn} - відносні деформації в розтягнутої арматури.

Міцність перерізу перевіряється за умов:

$$|\varepsilon_{b.,max}| \le \varepsilon_{b.,ult}; \; |\varepsilon_{s.,max}| \le \varepsilon_{s.,ult}; \quad (4.3)$$

де $\varepsilon_{b.,max}$, $\varepsilon_{s.,max}$ - максимальні відносні деформації від зовнішнього навантаження; $\varepsilon_{b.,ult} = \varepsilon_{b2} = 3{,}5\ ^0/_{00}$ - граничні відносні деформації стисненого бетону (для криволінійної діаграми $\varepsilon_{b.,\ ult}$ обчислюється за рівня напруг η=0,85); $\varepsilon_{s.,ult} = \varepsilon_{s2} = 25\ ^0/_{00}$ - граничні відносні деформації розтягнутої арматури. При деформаціях вище за граничні відповідний елемент бетону або стрижень арматури вимикаються з роботи.

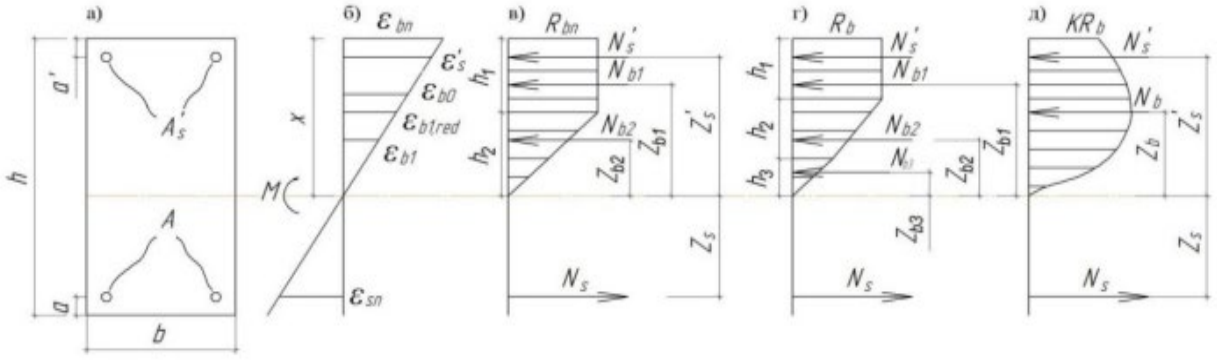


Рисунок 4.4 – Схеми зусиль, напружень та деформацій у поперечному перерізі ненапруженого елемента, що згинається при розрахунку на міцність з використанням шматково - лінійних (в - дволінійних, г - трилінійних) і д - криволінійний діаграм бетону на стиск

У випадку, коли гілки діаграми описуються нелінійними рівняннями (рис.4.3б), за допомогою комп'ютерного моделювання по осі деформацій відкладаються окремі малі ділянки $\Delta\varepsilon_{b,i}$ (і – номери дільниць). Відносним деформаціям у діаграмах $\Delta\varepsilon_{b,i}$ у стиснутій зоні елемента відповідає висота елементарної ділянки перерізу $\Delta h_{b,i} = \Delta\varepsilon_{b,i}/\chi$, з величиною напруги $\sigma_{b,i}$. Площа і-тої дільниці діаграми визначається за формулою: $A_{b,i} = \Delta\varepsilon_{b,i}\ \sigma_{b,i}$. Рівняння рівноваги зусиль у перерізі залізобетонного елемента запишеться у вигляді:

$$N_b + N'_s - N_s = 0, \qquad (4.4)$$

Деформації арматури обчислюються з виразів:

$$\varepsilon'_s = \varepsilon_{bn} - \chi\alpha', \quad \varepsilon_s = \chi h_0 - \varepsilon_{bn} \quad (4.5)$$

Значення зусилля Nb, що сприймаються бетоном стиснутої зони в граничному стані для смужки одиничної ширини (b=1), обчислюється за формулою:

$$N_b = N_{b,d}/\chi \qquad (4.6)$$

де в загальному випадку

$$N_{b,d} = \sum_{i=1}^{n} A_{b,i} = \sum_{i=1}^{n} \sigma_{b,i}\Delta\varepsilon_{b,i}$$

- являє собою роботу, витрачену на деформацію зразка при навантаженні до їх граничних значень, чисельно рівну сумі площ елементарних ділянок

області, обмеженої гілки діаграм бетону на стиск. З урахуванням отриманих залежностей рівняння рівноваги (4.4) шириною b запишеться

$$\frac{N_{b,d}b}{\chi}+\sigma_s^{/}A_s^{/}-\sigma_s A_s=0 \qquad (4.7)$$

Перевірку рівняння рівноваги (4.7) виконують методом послідовних наближень (методом ітерацій). На першому наближенні на крайньому волокні бетону стиснутої зони та розтягнутої арматури приймаються граничні значення деформацій $\varepsilon_{bn}^{(1)}=\varepsilon_{b,ult}$, $\varepsilon_{sn}^{(1)}=\varepsilon_{s,ult}$.

У відповідно до прийнятих знаків перед доданками в лівій частині рівняння (4.7) за результатами обчислення можуть виникнути два випадки: 1 – ліва частина рівняння (4.7) більша за нуль, що свідчить про недостатність армування перерізу; 2 – ліва частина рівнянь (4.7) менше нуля, що означає – переармований перетин. У разі виникнення першого випадку необхідно при постійних значеннях $\varepsilon_{s,ult}$ зменшувати деформації першого наближення $\varepsilon_{bn}^{(1)}$ на величину $\Delta\varepsilon_b^{(k)}$ доти поки не буде досягнуто заданої точності наближення:

$$\Delta\varepsilon_b^{(k)}\le 0.01\varepsilon_{bn}^{(1)} \qquad (4.8)$$

За реалізації другого випадку, тобто коли ліва частина рівнянні виявилася меншою за нуль, алгоритм перевірки рівняння рівноваги (4.7) виконується у тій же послідовності. Однак деформації в арматурі, прийняті у першому наближенні $\varepsilon_{sn}^{(1)}=\varepsilon_{s2}=25\ {}^{0}/_{00}$, зменшуються на другому циклі ітерацій на величину збільшення $\varepsilon_s^{(2)}=\varepsilon_{sn}^{(1)}-\Delta\varepsilon_s^{(1)}$ при постійних значення деформацій на крайньому волокні стиснутої зони бетону $\varepsilon_{b.,ult}=3{,}5\ {}^{0}/_{00}$. Обчислення виконуються доти, доки не буде досягнуто достатньо (задана) точність виконання умови (4.8) за $\Delta\varepsilon_s^{(k)}$. Відстань зусиль у арматурі N'ls, Ns та зусиль у бетоні N_b до нейтральної осі відповідно складають:

$$z_s^{/}=\frac{\varepsilon_b^{(k)}-a^{/}\chi^{(k)}}{\chi^{(k)}};\quad z_s=\frac{\chi^{(k)}h_0-\varepsilon_b^{(k)}}{\chi^{(k)}};\quad z_b=\frac{S_{b,d}}{\chi^{(k)}N_{b,d}}=\frac{\varepsilon_{b,c}}{\chi^{(k)}}, \qquad (4.9)$$

Де $S_{b,d}=\sum_{i=1}^{n} A_{b,i}\varepsilon_{b,i}=\sum_{i=1}^{n}\sigma_{b,i}\Delta\varepsilon_{b,i}\varepsilon_{b,i}$, - момент, чисельно рівний сумі здоутків площ елементарних майданчиків у діаграмах бетону на відстані їхніх центрів тяжкості до осі напруг σ_b; $\varepsilon_{b,c} = S_{b,d} / N_{b,d}$ - відстань від осі напруг σ_b ($\varepsilon^d_{b,c}$, $\varepsilon^t_{b,c}$, $\varepsilon^k_{b,c}$ - на малюнку 4.3 а, б) діаграм бетону до їхніх центрів важкості O_1, O_2, O_3; $\chi^{(k)}$ - кривизна елемента після виконання умови (4.8) на k-ій ітерації.

Рівняння для обчислення граничного згинального моменту прийме вигляд:

$$M_{ult} = N_b\, bz_b + \sigma_s\, A_s\, z_s + \sigma'_s\, A'_s\, z'_s \quad (4.10)$$

Для визначення згинального моменту M_{ult} використовують величини $\varepsilon_{bu} = \varepsilon^{(к)}_b$ - для першого випадку, $\varepsilon_{su} = \varepsilon^{(к)}_s$ - для другого випадку, отримані на останніх циклах ітерацій після виконання умови (4.8).

4.3 Характеристика дослідних зразків та результати випробувань

Зразки мають прямокутну форму перерізу з висотою h = 18см, шириною b = 12см та довжиною l = 210 см. Армування проводилося симетрично звареними каркасами (рис. 2.1) із поздовжньою арматурою класу А-III (по два робочі стрижні у верхній та нижній зонах). Зразки розділені на 3 серії діаметром поздовжньої арматури (8 мм, 10 мм, 12 мм).

Поперечна арматура – хомути із дроту 5 В-1, встановлені з постійним кроком 90 мм та сполучні стрижні 5 В-1 з кроком 180 мм.

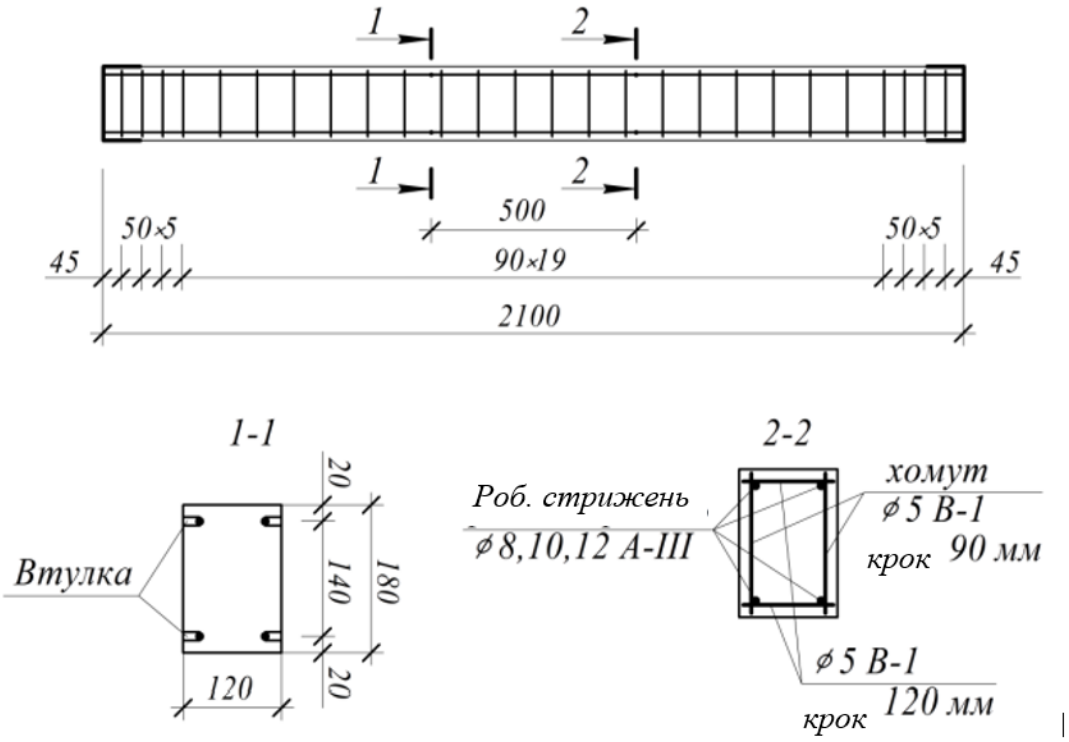


Рисунок 4.5 – Конструкція зразків

Завантаження зразків вироблялося за схемою «чистого вигину» (рис.4.6).

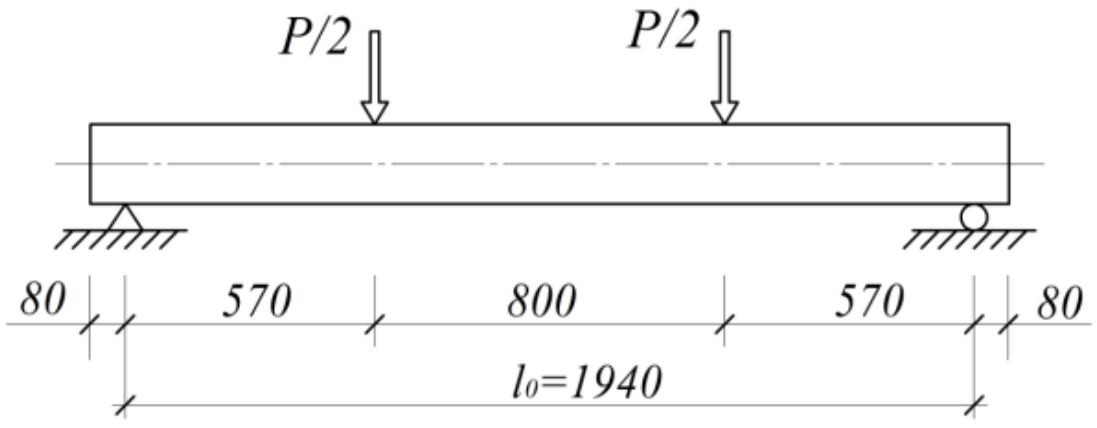


Рисунок 4.6 – Схема навантаження

4.4 Визначення граничних моментів прогинів у середині прольоту

Для переходу до призмінної міцності бетонних зразків знайдемо міцність кубиків з масштабним коефіцієнтом при випробуванні, що дорівнює 0,95 для кубів з ребром 100 мм, ДСТУ Б В.2.7-214:2009 Будівельні матеріали. Бетони. Методи визначення міцності за контрольними зразками.

$$R_n = 0,95\ R_{сж} \quad (4.11)$$

$$R_n = 0,95 * 75 = 71,3 МПа$$

Призмінна міцність бетонних зразків визначається за формулою 4.12:

$$R_{bn} = R_n\ (0,77 – 0,001 * R_n) \quad (4.12)$$

$$R_{bn} = 71,3\ (0,77 - 0,001 * 71,3) = 49,82\ МПа$$

За схемою ДСТУ Б В.2.7-214:2009 Будівельні матеріали. Бетони. Методи визначення міцності за контрольними зразками визначимо клас бетону з коефіцієнтом необхідної міцності $К_Т$=1,28 при контролі для всіх видів бетонів (крім щільного) силікатного та комірчастого):

$$B = R_{bn}/K_T \ ;\ B = 71,3/\ 1,28 = 55,7 \quad (4.13)$$

Відповідно до табл. 6.11 СП 63.13330.2012 «Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення» визначено розрахункові міцності та деформаційні характеристики бетону для класу В=55,7: початковий модуль пружності $E_b=39,0\cdot10^3$ МПа, опір бетону стиску R_b=50 МПа. З використанням цих характеристик здійснено розрахунок на міцність залізобетонних згинальних елементів балкового типу з геометричними розмірами перерізу h=18 см, b=12 см, прольотом l=210 см, з армуванням арматури класу А500. Розрахунок проводився по розробленому програмному комплексу в Microsoft Exel.

Програмний комплекс включає три блоки:

– Блок 1 – блок вихідних даних, таблиця 4.1;

– Блок 2 – блок ітерації (послідовного наближення), таблиця 4.2;

– Блок 3 – блок визначення фактичних параметрів та значень граничних моментів, додаток Б.

ВИСНОВКИ

З результатів проведених експериментальних досліджень слідують наступні висновки:

1. Експериментально встановлено, що при заміні дрібного природного заповнювача склобоєм внаслідок відсутності зчеплення між зернами скла та цементним каменем відбувається зниження міцності бетону. При кількості у дрібному природному піску Балівського родовища 30 % склобою зниження міцності бетону у віці 28 діб відбувається на 9 %.

При використанні як дрібний заповнювач дробленого піску із міцного граніту заміна 15 % піску склобоєм не впливає на міцність бетонів. І тільки при вмісті в піску склобою в кількості понад 30 % призводить до плавного зниження міцності бетону. При повній заміні подрібненого піску склобоєм виявлено явний максимум зниження міцності бетону (на 11,2 % порівняно з міцністю бетонів, виготовлених тільки на подрібненому піску).

2. Виявлено, що як заповнювач в бетонах можливо використовувати склобій великих фракцій, переважно вище 1,25 см, причому міцність цих бетонів можна порівняти з міцністю звичайних бетонів на природному та подрібненому піску. Так само міцність звичайних бетонів на природному і подрібненому піску перевищує міцність бетону з використанням склобою крупністю 0,315…0,63 мм. При розмірі частинок склобою з крупністю зерен менше 0,315 мм відбувається різке зниження міцність бетону. Таке зниження міцності може бути пояснено високою питомою поверхнею зерен заповнювача, що призводить до різкого зниження зчеплення зерен скла з цементним каменем.

Для виключення можливості протікання лужно-силікатного взаємодії, збільшення стійкості цементного каменю до тріщиноутворення та зниження міцності бетону при виготовлення бетонів з використанням як заповнювач

склобою рекомендується використовувати низьколужні цементи із вмістом лугів у перерахунку на R_2O трохи більше 0,6 %.

3. Показано технічну доцільність введення до складу бетонних сумішей з використанням склобою високодиспергованого мікрокремнезему, який забезпечує високу міцність на стиск, набагато перевищує міцність звичайних бетонів, у поєднанні з ефективними гіперпластифікаторами на основі полікарбоксилату.

4. Есперимантально доведено, що одночасне поєднання двох складових (високодиспергованого мікрокремнезему та гіперпластифікатора на основі полікарбоксилату STACHEMENT 2280) використанням високоміцних заповнювачів з 30 % вмістом у них склобою можливе отримання високоміцних бетонів з міцністю при стисканні вище 60 МПа, при цьому після пропарювання бетон з використанням мікрокремнезему та гіперпластифікатора на основі полікарбокстлату набирає 90 % марочної міцності.

5. Вперше розроблено склад високоміцного бетону з використанням як заповнювач склобою в кількості 30 % від маси дрібного наповнювача.

6. Розроблений високоміцний бетон із використанням склобою впроваджено на заводі при виготовленні бортового каміння.

7. З отриманими характеристиками міцності бетону зразків №6 виконано розрахунок залізобетонних перерізів 12х18(h) см при відсотку армування 0,52, 0,82 та 1,12.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДСТУ 3021-95. Випробування і контроль якості продукції. Терміни та визначення. [Чинний від 01-01-1996]. Вид. офіц. Київ : Київський науково-дослідний інститут радіовимірювальної апаратури, 1996. 75 с.

2. ДСТУ Б В.2.7-112-2002. Будівельні матеріали. Цементи. Загальні технічні умови. [Чинний від 01-07-2002]. Вид. офіц. Київ : Концерн «Укрцемент», 2002. 43 с.

3. ДСТУ Б В.2.7-232:2010 Будівельні матеріали. Пісок для будівельних робіт. Методи випробувань. [Чинний від 01-01-2011]. Вид. офіц. Київ : ДП «Український науково-дослідний і проектно-конструкторський інститут будівельних матеріалів та виробів», 2011. 31 с.

4. ДСТУ Б В.2.7-32-95 Будівельні матеріали. Пісок щільний природний для будівельних матеріалів, виробів, конструкцій і робіт. Технічні умови. [Чинний від 01-01-1996]. Вид. офіц. Київ : Науково-дослідний інститут в'яжучих речовин і матеріалів ім. В.Д. Глуховського Київського національного університету будівництва і архітектури, 1996. 35 с.

5. ДСТУ Б В.2.7-210:2010 Будівельні матеріали. Пісок з відсівів дроблення вивержених гірських порід для будівельних робіт. Технічні умови як дрібному заповнювачу. [Чинний від 01-08-2011]. Вид. офіц. Київ : ДП «Український науково-дослідний і проектно-конструкторський інститут будівельних матеріалів та виробів» (НДІБМВ), 2011. 26 с.

6. ДСТУ Б В.2.7-71-98. Щебінь і гравій із щільних гірських порід і відходів промислового виробництва для будівельних робіт. Методи фізико-механічних випробувань. [Чинний від 01-01-1999]. Вид. офіц. Київ : Науково-дослідний і проектно-вишукувальний інститут з проблем видобутку, транспорту та переробки мінеральної сировини в промисловості будівельних матеріалів, 1999. 29 с.

7. ДСТУ Б В.2.7-114-2002 Будівельні матеріали. Суміші бетонні. Методи випробувань. [Чинний від 01-07-2002]. Вид. офіц. Київ : Науково-дослідний і проектно-вишукувальний інститут з проблем видобутку, транспорту та переробки мінеральної сировини в промисловості будівельних матеріалів, 2002. 32 с.

8. ДСТУ Б В.2.7-214:2009 Будівельні матеріали. Бетони. Методи визначення міцності за контрольними зразками. [Чинний від 01-09-2010]. Вид. офіц. Київ : ДП «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій», 2009. 43 с.

9. ДСТУ Б В.2.7-237:2010 Будівельні матеріали. Камені бетонні і залізобетонні бортові. Технічні умови. [Чинний від 01-07-2011]. Вид. офіц. Київ : Науково-технічний комітет «Будстандарт», 2011. 45 с.

10. Іванов, О. А. Композиційний жаростійкий бетон з використанням відходів виробництва : Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля НУЦЗ України, 2021. 328 с.

11. Чеканський Б.Б., Луцюк І.В. Оптимізація складу багатокомпонентного композиційного в'яжучого. *Вісник НУ ЛП. Збірник наукових праць*. Львів, 2018. №18, С. 73-78.

12. Demchyna, B., L. Vozniuk, and M. Surmai. "Scientific foundations of solving engineering tasks and problems." 2021. Vol.19, No 1. P. 98-108.

13. Hnes, L., S. Kunytskyi, and S. Medvid. "Theoretical aspects of modern engineering." International Science Group. Boston, 2020. 356 p.

14. Кочешкова І.М., Трушкіна Н.В. Організаційно-економічний механізм управління рециклінгом відходів. *Глобальні та національні проблеми економіки*. 2018. Вип. № 22. С. 669-672. URL: http://global-national. in.ua/ussue-22-2018.

15. Hansen, E. G., Lüdeke Freund, F. & Fichter, K. (2020). Circular Business Model Typology: Actor, Circular Strategy and Service Level. Institute for Integrated Quality. IQD Research, No. 2020-1.

16. Шапошникова О., Співак В. Шлак може істотно зменшити

собівартість продукції. URL: https://gmk.center/ua/ interview/viktoriyaspivak-shlak-mozhe-istotno-zmenshiti-sobivartist-produk cii/. (дата звернення: 17.10.2024).

17. Проєкт Закону України «Про управління відходами» (реєстр. № 2207-1-Д). URL:: http://w1.c1.rada.gov.ua/pls/zweb2/ webproc4_1?pf3511=69033. (дата звернення: 12.11.2023).

18. Про відходи: Закон України. Відомості Верховної Ради України. 1998. № 36-37. Ст. 242 (ст. 1).

19. Державний класифікатор України. Класифікатор відходів ДК 005-96. Розділи А.1 - А.20: Наказ Держстандарту України від 29.02.1996 р. № 89.

20. Закон України «Про житлово-комунальні послуги». Відомості Верховної Ради України. 2018. № 1. Ст. 1.

21. Постанова Кабінету Міністрів України «Про затвердження Порядку ведення реєстру об'єктів утворення, оброблення та утилізації відходів» від 31 серпня 1998 р. № 1360.

22. Konoplianyk Oleksandr, Nikolay Kotov, Illia Iliev. Specific Design Features of Prefabricated Fire-Resistant Floor Slabs Made from Lightweight Concrete. Slovak Journal of Civil Engineering. Vol. 30, iss. 1. 2022. Pp. 1−7.

23. Корогодська А., Катенін В., Самойленко Н., Шабанова Г. Розробка складів бетонів з використанням відходів скла сонячних фотоелектричних панелей. *Вісник Хмельницького національного університету.* 2023. №6. С. 189-193.

24. K. Máčalová, J. Charvát, V. Václavik, T. Dvorský Extracts of Cement Composites Based on Recycled Glass. *GeoScience Engineering*. 2022. Vol. 68, Iss. 1. Pp.16–21.

25. Бердник О., Виговський С., Ларченко О., Виговська К. Використання відходів скляного бою в бетонному виробництві. *TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES*. 2023. №1 (31). С. 158-162.

26. Бондаренко О. П., Москаленко О. А., Захарченко К. Д., Новоселенко Є. Д. Особливості процесів гідратації та структуроутворення

шлакопортландцементів, модифікованих відходами скляного бою. *Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури*. 2016. Вип. 63. С. 110-116.

27. Корх О.І., Сопов В.П. Метод утилізації скляного бою у виробництві бетону. Будівельні матеріали та вироби. 2018. №5-6. С. 38-40.

28. EN 1992-1 Eurocode 2: Design of concrete structures. Part 1: General rules and rules for building. European Committee for Standardization. Brussels/ 2004. p. 52.

29. Троян В. В. Технологічні основи підвищення та прогнозування довговічності бетонів для масивних споруд. Київ, Інтерсервіс. 2017. 238 с.

30. Борзяк О. С. Регулювання контактних взаємодій для підвищення стійкості в умовах експлуатації матеріалів на основі мінеральних в‘яжучих. Дис. докт. техн. наук, спец. 05.23.05 : Будівельні матеріали та вироби. УкрДУЗТ, Харків, 2021.

31. Сунак П. О., Синій С. В., Мельник Ю. А., Парасюк Б. О. Ефективні галузі застосування сталефібробетону. Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві. 2018. Вип. 9. С. 136-142.

32. Andriichuk O. V., Uzhegov S. O. Steel fiber concrete –effective material in road building. Modern technologies and methods of calculations in construction. 2017. Vol. 6. Pp. 3-8.