

Міністерство освіти і науки України
Центральноукраїнський національний технічний університет
Факультет будівництва, транспорту та енергетики
Кафедра будівельних, дорожніх машин і будівництва

“Допустити до захисту”

Завідувач кафедри БДМБ, канд. техн. наук, професор

_____ Владислав НАСТОЯЩИЙ

" ____ " _____ 2024 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА

на тему:

" Обґрунтування оптимальних параметрів комплексних добавок та їх вплив на міцність легкого бетону "

Виконав: здобувач групи БІ-23М-2
спеціальності 192

“Будівництво та цивільна інженерія”

_____ Олексій Касян

" ____ " _____ 2024 р.

Керівник кваліфікаційної магістерської роботи:
канд. техн. наук, доцент

_____ Володимир ЯЦУН

" ____ " _____ 2024 р.

Кропивницький – 2024 рік

Центральноукраїнський національний технічний університет

(повне найменування вищого навчального закладу)

Інститут, факультет, відділення Факультет будівництва, транспорту та енергетики

Кафедра, циклова комісія Будівельних, дорожніх машин і будівництва

Освітньо-кваліфікаційний рівень магістр

Напрямок підготовки 192 "Будівництво та цивільна інженерія"

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри, голова циклової комісії
к.т.н. проф. Настоящий В.А.

“ ” 2024 року

**З А В Д А Н Н Я
НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Касян Олексію Валерійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи

Обґрунтування оптимальних параметрів комплексних добавок та їх вплив на міцність
легкого бетону

керівник проекту (роботи) доцент Яцун В.В.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від “ ” 2024 р. №

2. Строк подання студентом роботи “ 1 ” січня 2025 р.

3. Вихідні дані до роботи

Предметом дослідження - бетон із використанням комплексних
добаков і склобою як заповнювача.

Об'єкт дослідження – технологія виготовлення міцного бетону з
використанням комплексних добаков і відходів скла.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно
розробити)

1. Науково-дослідницький розділ. 2. Охорона праці.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

1. Мультимедійна презентація, 13 слайдів (А4), у тому числі 7 креслень (А4):

1. Фасад 1-10, фасад Ж-А, ТЕП генплану – А1; 2. План на відм. 0.000, експлікація приміщень, вузол 3 – А1; 3. Розріз 2-2, розріз 1-1, вузли 1,2,4,5 – А1. 4. Колона К-1 – А1; 5. Схема виробництва робіт, графік руху робочих, машин і механізмів, завою матеріалів, розріз 1 - 1, ТЕП – А1. 6. Будгенплан, ТЕП, експлікація тимчасових будівель і споруд, умовні позначення – А1. 7. Календарний план проведення робіт, графік руху робочих, завою і витрат матеріалів, роботи основних будівельних машин, ТЕП – А1.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Науково-дослідницький	доцент Яцун В.В.		
Охорона праці	доцент Скриннік І.О.		

7. Дата видачі завдання 2.09.2024

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Дослідження стану питання	10.09.-15.09.2024	
2	Створення методики проведення випробувань	15.09.-20.09.2024	
3	Проведення натурного експерименту	20.09.-25.09.2024	
4	Аналіз отриманих даних	25.09.-15.10.2024	
5	Розробка заходів з охорони праці	15.10.-18.10.2024	
6	Оформлення альбому документів	18.10.-20.11.2024	

Студент

(підпис)

Касян О.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи)

(підпис)

Яцун В.В.

(прізвище та ініціали)

Анотація

Справжня магістерська робота спрямована на обґрунтування можливості використання склобою як наповнювача бетону, дослідження фізико-механічних властивостей одержуваного бетону та уточнення областей його застосування при виконанні будівельно-монтажних робіт.

Перед виконанням цієї науково-дослідної роботи було поставлено завдання проведення комплексу експериментально-теоретичних досліджень вивчення властивостей склобою, піску та щебеню, що використовуються при виробництві бетону, бетонної суміші та бетону з використанням склобою як заповнювача, уточнення механізму впливу склобою на властивості бетону, оптимізації складу склобетону та визначення більш ефективного його використання у будівництві.

Annotation

The real master's work is aimed at substantiating the possibility of using broken glass as a concrete filler, studying the physical and mechanical properties of the resulting concrete, and clarifying the areas of its application in construction and assembly works.

Before carrying out this scientific and research work, the task was set to conduct a complex of experimental and theoretical studies to study the properties of broken glass, sand and crushed stone used in the production of concrete, concrete mix and concrete with the use of broken glass as an aggregate, to clarify the mechanism of the effect of broken glass on the properties of concrete, to optimize the composition glass concrete and determination of its more effective use in construction.

[illegible]

[illegible]

Вступ

В даний час будівельна практика характеризується застосуванням високотехнологічних бетонів нового покоління, до яких відносяться щільні високоміцні модифіковані бетони. В умовах високої вартості природних сировинних матеріалів особливу цінність становлять науково-дослідні роботи, які виявляють нові можливості щодо використання відходів у створенні будівельних матеріалів на їх основі. Питанням утилізації промислових та побутових відходів приділяється дедалі більша увага. Цьому сприяє екологічна ситуація, що погіршується, особливо у великих містах. Розвиток напряму з використання техногенної сировини та відходів міського господарства у виробництві високоміцних модифікованих бетонів є перспективним та інноваційним.

					ТЦ 2500. ПЗ				
Зм	Лист	№ документа	Підпис	Дата					
Розробив	Касян				Обґрунтування оптимальних параметрів комплексних добавок та їх вплив на міцність легкого бетону	Літ.	Лист	Листів	
Перевірив	Яцун					М	1		
						ЦНТУ Гр. БІ-23М-2			
Н. контр.	Дарієнко								
Затвердив.	Настоящий								

Актуальність роботи

Справжня магістерська робота спрямована на обґрунтування можливості використання склобою як наповнювача бетону, дослідження фізико-механічних властивостей одержуваного бетону та уточнення областей його застосування при виконанні будівельно-монтажних робіт.

Перед виконанням цієї науково-дослідної роботи було поставлено завдання проведення комплексу експериментально-теоретичних досліджень вивчення властивостей склобою, піску та щебеню, що використовуються при виробництві бетону, бетонної суміші та бетону з використанням склобою як заповнювача, уточнення механізму впливу склобою на властивості бетону, оптимізації складу скlobетону та визначення більш ефективного його використання у будівництві.

Ціль досліджень. Проведення комплексу експериментально-теоретичних досліджень з обґрунтування можливості використання склобою як заповнювача для виробництва бетону, дослідження властивостей одержуваного бетону з використанням склобою, уточнення механізму впливу склобою на властивості бетону.

Предметом дослідження роботи є бетон із використанням склобою як заповнювача.

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

Для досягнення поставленої мети було поставлено такі завдання:

1. Дослідити властивості бетонної суміші та бетону з використанням у якості заповнювача склобою.
2. Уточнити механізм впливу склобою на властивості бетону.
3. Обґрунтувати вибір ефективних наповнювачів та комплексних хімічних добавок, режимів затвердіння бетонів з використанням склобою.
4. Розробити рекомендації з виробництва бетонів з використанням

		відсіву дроблення скла в якості дрібного заповнювача.			Арк.
		ТЦ 2500. ПЗ			
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата	

5. Уточнити поняття «високоміцний бетон із відходів скла».
6. Зробити розрахунок несучої здатності згинального елемента, виготовленого із застосуванням отриманого бетону.

Методи дослідження.

Дослідження якості піску, щебеню та склобою як заповнювачів бетону проведено відповідно до нормативних документів.

Дослідження контактної зони зерна склобою із цементним каменем здійснювалося за допомогою електронного мікроскопа.

Наукова новизна роботи полягає в наступному:

1. Уточнено категоріальний апарат у частині трактування визначення «високоміцний бетон із відходів скла».
2. Доповнено класифікацію бетонів у частині додавання класифікаційної ознаки «вид наповнювача».
3. Розроблено склад та уточнено технологію приготування бетону з використанням склобою.
4. На підставі комплексу експериментально-теоретичних досліджень бетону встановлено закономірності впливу кількості склобою на властивості цементного каменю.

Практична значимість робіт полягає у отриманні бетонів з покращеними характеристиками з використанням відходів міського господарства, що дозволить підвищити ефективність переробки промислових відходів та зменшити їх шкідливий вплив на атмосферу.

					ТЦ 2500. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 Сучасний стан питання використання скляного бою у виробництві будівельних матеріалів

Найпоширенішим способом утилізації мінеральних відходів 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 добыті 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.

Третина споживаних сировинних ресурсів витрачається 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 зоною з тяжкою екологічною ситуацією. Майже всі великі міста 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 обсяги промислових відходів, що утворилися, але негативний вплив даних відходів на якість життя і довкілля продовжує зростати і збільшуються обсяги їх поховання.

В останні десятиліття у всіх розвинених країнах займаються питаннями ресурсозбереження, внаслідок чого досягнуто високих успіхів у зменшенні

					ТЦ 2500. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

негативного впливу відходів на навколишнє середовище. На жаль, питаннями ресурсозбереження досі займалися недостатньо, що постійно призводить до погіршення екологічної ситуації.

Для досягнення успіхів у питанні ресурсозбереження необхідно навести лад у зберіганні, переміщенні та використанні енергетичних та сировинних ресурсів, а також стимулювати створення нових технологій у питанні ресурсозбереження. У 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. Ця проблема зумовлена низьким розвитком промисловості переробки цих відходів.

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

земель, зайнятих під полігони та звалища відходів, розробити нові процеси та обладнання, пов'язані з переробкою відходів.

Щорічно сумарні обсяги утворення відходів становлять близько 2,5 млрд т. Більше 90% із загального обсягу відходів становлять 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 м³). Ці 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.

					ТЦ 2500. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата		

Для переробки вторинної сировини потрібні капітальні вкладення приблизно в чотири рази менше, ніж при отриманні продукції з первинної сировини. Вкласти кошти у безвідходні технологічні процеси, які зберігають сировинні та енергетичні ресурси та водночас 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.

Склобій (бій скла, який утворюється при виробництві та використанні скляних виробів та листового скла), витягнутий з твердих побутових відходів, містить неорганічні вогнетривкі домішки (корунд, муллiт, 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 такому обробленню, щоб при його використанні якість скла не змінювалася.

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

Фізичні особи зобов'язані:

- складувати відходи, у тому числі дрібне сміття та предмети, що підлягають видаленню в урни, контейнери, бункери-накопичувачі у 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 має бути попередньо поміщене в міцні мішки, коробки, що запобігають забрудненню території при завантаженні в спеціалізований автотранспорт.

					ТЦ 2500. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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 смітєвозів із заднім завантаженням, які гармонійніше вписуються в інфраструктуру міста, зручні при збиранні та транспортуванні відходів;
- економічна - отримання доходу від реалізації вторинної сировини та його витрачання подальший розвиток системи поводження з відходами, і навіть зменшення витрат за вивезення ТПВ для поховання.

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

Слід зазначити, що з екологічної точки зору скло є відходом, що важко 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 склабою включає: збирання скла, дроблення, очищення від сторонніх домішок, подрібнення. Після сортування, дроблення та розсіву на фракції скло можна використовувати в бетонах як великий і дрібний заповнювач, а тонкомолотий порошок – як сполучний.

Скlobій у тонкодисперсному стані є гідралічним в'язким автоклавного твердіння, а в природних умовах і при пропарюванні він в'язучих властивостей не виявляє. Тому різні види скляних відходів використовують як в'язке у безцементних бетонах. Молоте скло реагує із цементними гідратами, внаслідок чого хімічний склад цементу покращується. Цемент стає міцнішим і довговічнішим і не вбирає воду так швидко, як звичайний цемент.

					ТЦ 2500. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

На активність в'язучого зі склобою впливають його хімічний склад, тонкість помелу, водяне ставлення і параметри автоклавної обробки. Зі збільшенням тонкості помелу в'язучого 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.

Склобій успішно застосовується як добавка при виготовленні керамічної цегли. Заміна 50% глини склобом температур випалу 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%. Такі цеглини атмосферостійкі, використовуються як облицювальні матеріали. Ця композитна цегла легша за звичайну цеглу більш ніж у два рази, коштує дешевше, має необхідну вогнетривкість і водостійкість.

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 і спікають. Різні пористі ізоляційні матеріали економічно вигідно можна виготовляти зі скляного бою у суміші зі шлаком.

Прогресивна технологія «сухої мінералізації піни» та відмова від енергоємної автоклавної обробки дозволяють отримувати вироби з пористого бетону на основі склобою, призначені для влаштування теплової ізоляції промислових та цивільних будівель, а також промислового обладнання та трубопроводів з температурою поверхні, що ізолюється, до 6000 °С і більше.

Склообетон в сучасному будівництві та його унікальність. Бетон, армований спеціальним скловолокном, називається склобетон або

					ТЦ 2500. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

склофібробетон, цей будівельний універсальний матеріал дійсно чудовий і унікальний. Технологія отримання такого бетону була розроблена ще більше 40 років тому в 1969 році, склобетон - це загальна назва для цілого сімейства схожих аналогічних матеріалів, які все частіше і частіше сьогодні використовуються в різних галузях будівництва. Склообетон зробив величезний внесок у світове будівництво і зробив світову будівельну індустрію більш універсальною, естетичною та унікальною.

Склообетон - це композиційний ефективний матеріал, що відрізняється відмінними будівельними характеристиками і при цьому він не потребує серйозних енергетичних витрат за його виробництво. Складається цей вид бетону з екологічно чистих природних компонентів і випускається сьогодні у великій різноманітності будівельних виробів. Архітектори і проектувальники сьогодні все частіше використовують склобетон у будівництві, так як цей матеріал має відмінну стійкість і міцність, експлуатаційну загальну гнучкість, зовнішню унікальну виразність і прийнятну вартість.

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 лугостійких скляних волокон, такий бетон відповідає найвищим технологічним вимогам. Цей матеріал використовується при виготовленні складних будівельних конструкцій і відрізняється універсальністю і здатністю втілення в життя найскладніших художніх ідей.

Склообетон сьогодні має просто величезний спектр загального застосування, він використовується при виготовленні оздоблювальних панелей, решіток для огорожі, стін та перегородок, складних архітектурних прозорих дахів. Зі склобетону роблять також інженерні труби, шумозахисні спеціальні бар'єри, карнизні блоки, черепицю, куполи, облицювання, квіткарні та багато інших виробів. Тобто сучасний склобетон та його

					ТЦ 2500. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата		

численні види широко використовуються і для створення архітектурних унікальних будівель, і для виготовлення інженерних конструкцій та споруд, а також для виробництва різноманітних художніх деталей та елементів.

Для значного поліпшення якості бетону та підвищення його характеристик до формування виробів потрібно використовувати нові технологічні підходи. Для зниження значення водоцементного співвідношення були освоєні такі технологічні інструменти, як високоефективні засоби ущільнення: віброущільнення, віброущільнення з привантаженням, віброштампування, вібровакуумування і т.п. 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 (100-300 нм) – мікрокремнеземів, високодисперсних зол і високодисперсних зол. Поєднання суперпластифікаторів з гіперпластифікаторами на полікарбоксилатній, поліакрилатній та полігліколієвій основах дозволяє сьогодні отримувати надплинні 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

					ТЦ 2500. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

зниження витрати портландцементу при виробництві бетонних виробів з показниками міцності, що нормуються.

У працях дослідників відмічено одне явище - підвищення дії суперпластифікаторів зі зростанням дисперсності порошків.

Вони пропонують збільшити частку ультрадисперсних складових додаванням до цементу активного високодиспергованого мікрокремнезему. Використання в останні роки дрібніших фракцій піску (0,1-0,5мм) 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 у досить великих кількостях ($50-150 \text{ кг/м}^3$ і більше) і в порівнянні з іншими видами добавок надають 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 пуццоланічною активністю (золи ДРЕС);
- високоактивні добавки (мікрокремнезем, природні пуццолани, електрофільтрові сланцеві золи).

Такий поділ не можна назвати точним, оскільки добавки, інертні при звичайній дисперсності ($200 - 500 \text{ м}^2/\text{кг}$) стають високоактивними при надтонкому подрібненні (понад $1500 \text{ м}^2/\text{кг}$).

Мікрокремнезем є високодисперсним, низькощільним, пиляючим матеріалом, що створює проблеми при його транспортуванні, зберіганні, дозуванні та перемішуванні з іншими компонентами бетону/ Крім того, мікрокремнезем значно підвищує водопотребу бетонних сумішей. Введення його до складу від 10 до 30% від маси цементу збільшує водопотребу

					ТЦ 2500. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

в'язучого нормальної густоти з 25 до 29%. При цьому для рівнопластичних бетонних сумішей ($OK = Const$) скорочується витрата цементу до 30%, тоді як така кількість мікрокремнезему в бетонній суміші того ж складу, але при постійному 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. Застосування комплексної добавки полегшує технологію бетону з мікрокремнеземом.

Допустима сфера застосування бетонів з мікрокремнеземом при його дозуваннях до 30% від маси цементу у 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 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. При належному розсіюванні тисячі реактивних сферичних мікрочастинок оточують кожне зерно цементу, ущільнюючи цементний розчин, заповнюючи порожнечі міцними продуктами гідратації та покращуючи зчеплення із заповнювачами. Ступінь пуцоланової активності залежить від вмісту реактивного кремнезему, однак на практиці між двома різними видами сировини з високим вмістом кремнезему існує досить незначна відмінність.

Мікрокремнезем може забезпечити міцність на стиск, що набагато перевищує міцність звичайних бетонів. При використанні природних

					ТЦ 2500. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата		

наповнювачів досягається міцність понад 150 МПа. а при використанні спеціальних високоміцних заповнювачів можна досягти міцності 300 МПа.

Частинки мікрокремнезему заповнюють зазори між зернами цементу і в міру гідратації залучаються до цього процесу. Участь мікрокремнезему в утворенні продуктів гідратації призводить до збільшення якості дрібних гелевих пір, що входять до складу кальцієвосилікатного гідрогелю, а також знижує капілярну пористість. Це призводить до збільшення щільності та міцності цементного каменю. Автори наочно показали ефект впливу мікрокремнезему. У бетоні без мікрокремнезему зона між цементним гелем і частинкою заповнювача (перехідна зона) через нещільне укладання частинок цементу біля поверхні заповнювача являє собою простір, заповнений перенасиченим розчином $\text{Ca}(\text{OH})_2$. У процесі твердіння цей простір заповнюють кристали вапна, що кристалізуються з розчину.

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

Д. Дж. Паркер у своїй роботі довів, що 1 кг мікрокремнезему може забезпечувати таку ж міцність, як 3-5 кг звичайного портландцементу в сумішах однакової зручності для укладення при помірному вмісті мікрокремнезему і цементу в обох сумішах. На цю ефективність впливає вміст обох матеріалів, але при вмісті звичайного портландцементу 200-300 кг/м³ та мікрокремнезему – менше 10%. При додаванні мікрокремнезему в кількості до 30% у поєднанні з суперпластифікатором можна отримати суміші з відношенням вода/ в'язуче нижче 0,3. Такі бетони можуть досягати дуже високої ранньої міцності, і вони знайшли широке застосування там, де здійснюється витримка у вологому режимі.

Також у 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

					ТЦ 2500. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ док.ум.	Підпис	Дата		

тепловиділення в цілому буде меншим, оскільки загальний вміст в'язучих матеріалів значно знижений.

Ефект заповнення пір, що створюється пуццолановими сферичними мікрочастинками, сприяє значному зменшенню капілярної пористості та проникності бетону. Фактично непроникний бетон можна отримати при помірному вмісті мікрокремнезему та порівняно низькому вмісті звичайного портландцементу. Оскільки мікрокремнезем робить більший вплив на проникність, ніж на міцність, бетон з додаванням мікрокремнезему завжди буде набагато менш проникним, ніж еквівалентний бетон 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.

В останні роки розроблено нові технології виробництва бетону, який був і залишається найважливішим матеріалом у 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, що складається з мікроскопічних частинок SiO_2 аморфної структури. Мікрокремнезем впливає на цементний камінь таким чином:

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

					ТЦ 2500. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

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

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

Можливості, що відкрилися, для використання мікрокремнезему пов'язані з розвитком в галузі виробництва ефективних суперпластифікаторів. Сполученням макроремозема і суперпластифікаторів стало поштовхом для створення бетонів нового покоління, які мають високу міцність (60-150 Мпа), високу зручність укладення і довгий термін служби. Основне завдання суперпластифікаторів - знизити кількість води замішування в процесі приготування бетонної суміші, внаслідок чого відбувається поліпшення характеристик бетону.

Високоміцний бетон отримують на основі цементу високих марок, якісних пісків та щебеню.

Для виготовлення бетону з високою міцністю використовують цемент з високою активністю, для чого здійснюють домол та активацію цементу, використовують при виготовленні бетону високу витрату цементу. При цьому в'язуче повинне бути 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 вивержені породи. Наприклад, гранітний щебінь, що має марку по дроблення в циліндрі M1200 - M1400.

					ТЦ 2500. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2 Характеристики вихідних матеріалів. Методи дослідження та випробувань

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

За способом отримання числового значення шуканої величини виміру ділять на прямі, непрямі, сукупні та сумісні. Це варто враховувати під час обробки експериментальних даних та розрахунку похибок.

При вимірі значення виникають похибки. Похибки можуть бути систематичними та випадковими. Випадкові похибки не можна виключити з результатів вимірів. Неможливо вивести випадкову похибку, якщо здійснено один вимір. У цьому роботі можна назвати ряд систематичних помилок:

- вплив мінливої вологості та температури в лабораторії;
- систематичні (інструментальні) похибки використовуваних приладів (ваги, гідравлічний прес, вимірювальні прилади тощо);
- вплив вологості, що залишається, в обсязі предмета дослідження при серії зразків для багаторазових випробувань;

Для отримання максимально близького істинного значення необхідно використовувати низку практичних рекомендацій, які з положень теорії ймовірності.

Достовірність отриманих експериментальних значень підтверджується даними обробками багаторазових спостережень з побудовою відповідних довірчих інтервалів кожної серії багаторазових спостережень. Загальна відносна похибка розраховувалася методами обліку довірчих інтервалів та невиключених залишків систематичних похибок, у тому числі за рекомендаціями ГОСТ 8.207-76.

Дослідження експериментальної частини проводились у лабораторії кафедри «БДМБ» ЦНТУ. У роботі використано різні методи дослідження матеріалів та бетонів відповідно до вимог діючих державних стандартів.

					ТЦ 2500. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

Як дрібний заповнювач для виготовлення бетонів використовувалися пісок і дроблений пісок.

Якість дрібного заповнювача оцінювалося за методиками, викладеними у нормативних документах.

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.

З результатів ситового аналізу розраховують показник - модуль крупності піску ($M_{кр}$):

$$M_{кр} = (A_{2,5} + A_{1,25} + A_{0,63} + A_{0,315} + A_{0,16}) / 100, \quad (1)$$

де: $A_{2,5}, A_{1,25}, A_{0,63}, A_{0,315}, A_{0,16}$ - повні залишки на ситах з розмірами осередків відповідно 2,5, 1,25, 0,63, 0,315 та 0,16 мм.

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

Як великий заповнювач для бетону використовували гранітний щебінь крупністю 5 – 10 та 10 – 20 мм. Якість щебеню визначається відповідно до нормативних вимог.

Міцність великого заповнювача визначається роздавлюванням його проби в сухому або методом насиченому водою стані в металевому циліндрі з обчислення показника дробності D_r (%). Дробність заповнювача оцінюється за кількістю дрібниці, що утворюється при здавлюванні проби щебеню в

					ТЦ 2500. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ док.ум.	Підпис	Дата		

сталевій формі під певним зусиллям. Показник дроблення D_r (%) обчислюють з похибкою до 1% за формулою:

$$D_r = (m_1 - m_2/m_1) 100, \quad (2)$$

де m_1 - Випробовувана проба щебеню, кг,
 m_2 - залишок на контрольному ситі після просіювання роздробленої в циліндрі проби щебеню, кг.

Марку щебеню визначають за показником подрібнення залежно від виду гірської породи та способу випробування.

Вміст у щебені пластинчастих (лещадних) і голчастих зерен визначається візуально відбором у навішуванні зерен, товщина або ширина яких менша за довжину в три і більше разів. Зважують кількість пластинчастих (лещадних) та голчастих зерен і обчислюють їх вміст у % за масою. Виходячи з результатів, визначають групу щебеню за вмістом зерен пластинчастої (лещадної) та голчастої форми.

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

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

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

1. Проектування складу бетону на основі вихідних даних з допомогою формул, графіків та таблиць.

					ТЦ 2500. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2. Уточнення складу бетону на пробних замісах.
3. Визначення фактичної витрати складових матеріалів на 1 м³бетону, виходячи з витрати матеріалів на оптимальний пробний заміс та обсягу цього замісу, обчисленого за експериментально визначеною середньою густиною бетонної суміші.

Остаточний склад бетону виражається як витрати матеріалів на 1 м³ бетону або в частинах масою або за обсягом по відношенню до цементу (В/Ц при цьому завжди виражається по масі).

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

Готову бетонну суміш для визначення її рухливості завантажують у 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 має бути щільно притиснутий до піддону. Після ущільнення бетонної суміші її надлишок зрізають нарівні з верхнім краєм конуса.

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

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, т.к. вони впливають на результат випробування. Через добу зразки бетону

					ТЦ 2500. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

розпалублюють, після чого вони зберігаються протягом 7, 14 та 28 діб у нормальних умовах твердіння.

Межу міцності при стисканні бетонів визначали на зразках-кубах розмірами 70,7x70,7x70,7 мм і 100x100x100 мм на гідравлічному пресі з навантаженням 125 і 250 т. Перед випробуванням на міцність зразки бетону вимірювали і зважували.

При тепловологій обробці зразків бетону дотримувалися м'який режим твердіння (температура не вище 70 град. С) з граничною швидкістю підйому і зниження температури обробки не більше 25 ° С/год.

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

При випробуванні зразків-кубів бетону розміром 70,7 x 70,7 x 70,7 мм відповідно до вимог є коефіцієнт перерахунку міцності зразків даного розміру на міцність зразків стандартного розміру (150x150 x 150 мм) $K = 0,85$, для зразків-кубів розміром 100 x 100 x 100 мм – $K = 0,95$.

Контактну зону зерна заповнювача з цементним каменем бетонних зразків досліджували за допомогою електронного настільного растрового мікроскопа при збільшенні від 24 до 4000 разів.

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

Працюючи мікроскоп забезпечує безпечні умови праці оператора. При максимальних значеннях напруги, що прискорює, і струму зонда потужність еквівалентної дози рентгенівського випромінювання в будь-якій доступній точці на відстані 10 см від поверхні колони і камери об'єктів мікроскопа не перевищує 1 мкЗв/год.

					ТЦ 2500. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

При виконанні експериментальних досліджень як в'язучого використовувався цемент ЦЕМ ІІ/А-К (Ш-ІІ) 32,5Б.

Для виготовлення цього цементу використовується клінкер, природний гіпсовий камінь та комплексна мінеральна добавка – опока та доменний гранульований шлак. Опока сприяє зниженню водовідділення та висолоутворення на поверхні виробів, підвищенню щільності та водоутримуючої здатності бетону. Доменний гранульований шлак підвищує пластичність бетонних розчинів та 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 і підвищити його міцність. Наявність трикальцієвого алюмінату в клінкері в межах до 8% сприяє незначному тепловиділенню в процесі гідратації цементу. Низький вміст лугів у перерахунку на Na_2O 0,6-0,8% дозволяє застосовувати різні заповнювачі при виробництві бетону та виробів з нього.

Другим в'язким, який був використаний при виконанні експериментальних досліджень, є портландцемент іншого заводу-виробника. Цей портландцемент є нормальнотвердіючим і випускається з класом міцності 42,5 і містить до 5% вапняку як допоміжний компонент. Вапняк натурального походження, тобто. інертна мінеральна добавка – наповнювач до цементу, що покращує структуру цементного каменю та реологічні властивості цементу.

Відмінною рисою портландцементу низький вміст СІ-приблизно 0,01% по відношенню до норми 0,1%.

Це сприяє збільшенню терміну експлуатації за рахунок зменшення корозії арматури у бетоні;

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

Оптимальний вміст C_3A від 7% – 7,5%;

					ТЦ 2500. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата		

середня тонкість помелу за Блейном 3440 см²/р.

Для приготування бетонів як дрібний заповнювач використовувалися природний пісок і дроблений пісок з гранітного щебеню.

Дроблений пісок із гранітних порід за значенням модуля крупності відноситься до групи піску «підвищеної крупності». За вмістом зерен на ситі розміром осередків 0,63 мм подрібнений пісок відповідає вимогам відповідного ДСТУ.

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 та глинистих частинок у природному піску – 0,7 % за масою (норми ГОСТ 8736-2014 – до 6%), у дробленому піску із гранітних порід – 0,1 %. Глина в грудках відсутня.

Порівнюючи властивості природного піску та подрібненого піску гранітних порід, необхідно відзначити основні відмінності між цими матеріалами. Природний пісок в основному є кварцовим, має гладку поверхню та округлу форму зерна. Склад подрібненого піску аналогічний складу вихідних гранітних порід, форма зерна незграбна і шорстка. Зчеплення з цементним каменем поверхні зерен подрібненого піску складніше, відмінне від зчеплення поверхні зерен природного піску з цементним каменем. Шорстка поверхня зерен подрібненого піску активніша, що сприяє міцнішому злипанню частинок. Розвинена поверхня зерна сприяє збільшенню водопоглинання.

Як великий заповнювач бетону зі склобоєм використовувався щебінь гранітних порід. Цей щебінь фракції 5 – 20 мм.

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

					ТЦ 2500. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Встановлено, що склобій в тонкодисперсному стані є в'язучою речовиною автоклавного твердіння, а в природних умовах і при пропарюванні він в'язучих властивостей не виявляє. У процесі автоклавної обробки утворюється низькотемпературний кварц, кристобаліт, а також у незначній кількості низькоосновні гідросилікати натрію.

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 формі аморфної.

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

Тонкість мікрокремнезему можна порівняти з тонкістю інших порошкоподібних матеріалів:

- мікрокремнезем – 140000 – 300000 см²/р,
- зола-винесення – 4000 – 7000 см²/р,
- портландцемент – 3000 – 4000 см²/р.

Мікрокремнезем сприяє зменшенню витрати цементу до 200 – 450 кг/м³, 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.

Полікарбоксилатні гіперпластифікатори мають високий рівень водозниження до 30%, стабільність і довговічність, а також запобігають розшарування бетонної суміші. Механізм роботи гіперпластифікаторів наступний: спочатку 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.

У дослідженнях використовувався гіперпластифікатор STACHEMENT 2280 – високоефективний рідкий, готовий до застосування, виготовлений на

					ТЦ 2500. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

основі полікарбоксилатів. Належить до розряду «швидких» гіперпластифікаторів, т.к. 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 20оЗ - $1,065 \pm 0,030$ г/мл. РН - 7 - 10.

Позитивні якості:

- Економить цемент, знижує 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 якісного вигляду, не змінює колір;
- Перешкоджає залученню зайвого повітря до бетону;
- Підходить для армованих і запобіжно напружених конструкцій, т.к. не містить хлоридів;
- Економить час та теплову енергію при термічній обробці бетону.

Також в експериментах був використаний такий продукт, як Sika Viskocrete 25 RU – ефективна суперпластифікуюча та суперводоредулююча добавка, призначена для виробництва високоякісних бетонних сумішей та отримання бетонів з високими експлуатаційними характеристиками.

Технічні характеристики Sika Viskocrete 25 RU:

- Основа: водні композиції модифікованих полікарбоксилатних ефірів,
- Зовнішній вигляд: каламутна рідина світло-жовтого кольору,
- Щільність (при 20 град. С): $1,070 - 1,085$ кг/дмЗ,
- показник РН: 4,0 – 6,0,

					ТЦ 2500. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- відповідає: ТУ 2493-009-13613997-2011,
- рекомендоване дозування: 0,3 – 1,6 % рідкої добавки від маси цементу.

Оптимальне дозування встановлюється на основі лабораторних випробувань та 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 Viskocrete 25 використовується розчиненим у воді або додається одночасно з додаванням води в заміс безпосередньо в міксер. Введення пластифікатора в суху бетонну суміш те, як буде зроблено додавання води, є неприпустимим. З метою отримання бетонної суміші однорідної структури її перемішування здійснюється не менше 60 секунд.

					ТЦ 2500. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3 Дослідження властивостей бетону з використанням склобою як наповнювач

З метою вивчення можливості використання склобою як наповнювачів для виготовлення бетонних зразків І серії були використані гранітний щебінь фракції 5-10 мм, як дрібний наповнювач – природний пісок Волзького родовища та скlobій 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 1.

Таблиця 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	710	710	701	697	692
Пісок природний Волзький	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 густина, кг/м ³	2274	2274	2245	2235	2215

					ТЦ 2500. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата		

Виготовлені бетонні зразки розміром 7,07 x 7,07 x 7,07 см з бетонної суміші різних складів витримувалися протягом 7 та 28 діб у нормальних умовах твердіння. Межа міцності при стиску зразків бетону наведена у перерахунку на межу міцності зразків стандартного розміру 150x150x150 мм. Результати досліджень подано на рис. 1 та в табл. 2.

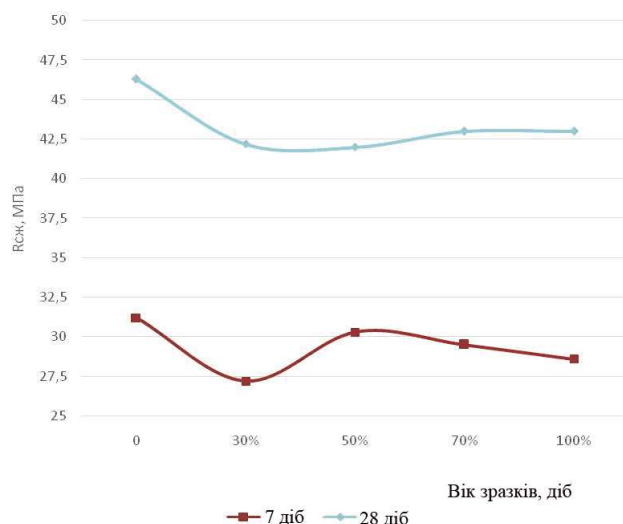


Рисунок 1 – Залежність міцності бетону від кількості скла

Таблиця 2 – Межа міцності при стиску (МПа) при кількості скла відносно маси дрібного заповнювача

Вік зразків	Кількість скла 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 склобом у кількості 30% відбувається зниження міцності бетону у віці 28 діб на 9%, а при подальшому збільшенні частки склобом в дрібному заповнювачі – відбувається незначне збільшення міцності бетону. При заміні дрібного піску склобом у кількості 70% відбувається зниження міцності бетону у віці 28 діб на 7%. Можна припустити, що зниження міцності бетонів при додаванні до дрібного заповнювача склобом відбувається внаслідок того, що зерна скла мають гладку поверхню, зчеплення з цементним каменем відсутнє.

II серія зразків бетону.

З метою підвищення міцності бетонних зразків як наповнювачі для зразків II серії були використані гранітний щебінь фракції 5-10 мм, як дрібний заповнювач – дроблений пісок з граніту 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 склобом. Як в'язучий використовувався портландцемент ЦЕМ I 42,5Н. Рухливість бетонної суміші II серії приймалася такою самою, як і в серії I. Склад бетонної суміші представлений у таблиці 3.

Таблиця 3 - Склад бетонної суміші.

№ партії	1	2	3	4	5	6
Зміст склобом від маси дрібного заповнювача, %	0	15	30	50	70	100
Одиниця виміру	кг/м 3					
Цемент ЦЕМ I 42,5Н	585	581	589	586	580	577
Пісок подрібнений із граніту.	836	706	589	418	249	0

					ТЦ 2500. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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

Зовнішній вигляд бетонних зразків до випробування та після випробування на межу міцності при стисканні представлений на рис. 2.

Результати випробувань бетонних зразків розміром 7,07 x 7,07 x 7,07 см у віці 7, 14 та 28 діб після витримування у нормальних умовах твердіння представлені на рис.2.



Рисунок 2 – Зовнішній вигляд бетонних зразків до випробування та після

Згідно з результатами випробувань, міцність бетонних зразків на подрібненому піску з граніту вища, ніж міцність зразків з аналогічним відсотковим вмістом склобою на Волзькому природному піску.

Дані показують на невеликий (не більше 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 стеклобоем знижує міцність бетону приблизно 11,2% проти міцністю бетонів, виготовлених лише з дробленому піску.

					ТЦ 2500. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

Для дослідження впливу на властивості бетону склобою різної крупності було виготовлено III партію бетонних зразків. У цій партії бетонних зразків як заповнювач був використаний гранітний щебінь фракції 5-10 мм, як дрібний заповнювач - дроблений пісок з граніту і скlobій 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. Склобой вводився до складу пластичної бетонної суміші в кількості 50% від маси дрібного заповнювача, замінюючи подрібнений пісок цією кількістю склобою. Склад бетонної суміші представлений у таблиці 4.

Таблиця 4 - Склад бетонної суміші

№ партії	7	8	9	10	11	12	13
Розмір фракції	5-10	2,5-5	1,25-	0,63-	0,315-	0,16-	< 0,16
склобою, мм			2,5	1,25	0,63	0,315	
Одиниця виміру	кг/м3						
Цемент	586	585	578	572	574	571	613
Пісок подрібнений	419	418	413	409	410	408	365
Бій скла	419	418	413	409	410	408	365
Щебінь	628	627	619	613	615	612	547
5 - 10мм							
Вода	293	292	289	286	287	286	306
Середня щільність,	2345	2339	2311	2290	2296	2286	2196
кг/м3							

					ТЦ 2500. ПЗ		Арк.
Змн.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата			

При використанні дрібного заповнювача склобою фракції 5-10 мм виходить досить рухлива суміш з невеликим водовідділенням. Це з збільшенням частки заповнювача з великим розміром фракції, у зв'язку з чим відбувається зменшення водопоглинання. Зі зменшенням розміру фракцій склобою спостерігається збільшення жорсткості 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 насіння дрібного заповнювача.

При використанні в якості заповнювача склобою крупністю менше 0,16мм (партія №13), суміш вийшла дуже жорсткою, що не зручно укладається. Для поліпшення зручності, до складу бетонної суміші була додана вода і цемент у кількості 20% від первісної маси.

Як в'яжучий для виготовлення бетонних зразків використовувався цемент класу ЦЕМ І 42,5 Н. Результати випробувань бетонних зразків, витриманих протягом 7 і 28 діб у нормальних умовах твердіння, на межу міцності при стисканні представлені на рис.3 і табл. 5.

Табл. 5 – 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

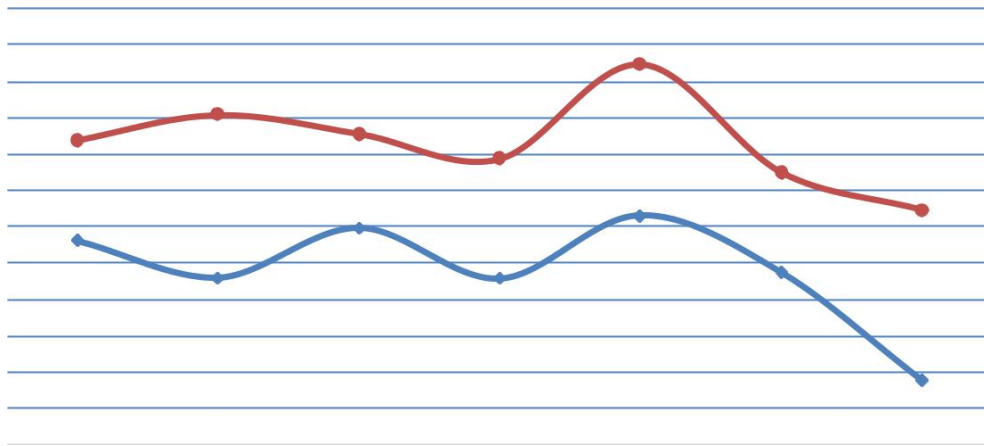


Рисунок 3 – Зміна міцності бетону в залежності від розміру крупності склобою

З результатів випробувань видно, що найбільший результат за межі міцності при стиску 7 і 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 і дробленому піску. Порівнюючи результати випробувань, можна сказати, що міцність звичайних бетонів на природному та 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 міцності бетону. Таке зниження міцності може бути пояснено високою питомою поверхнею зерен наповнювача, що призводить до різкого зниження зчеплення зерен скла з цементним каменем.

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

					ТЦ 2500. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

кальцію $\text{Ca}(\text{OH})_2$, 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, що набагато перевищує міцність звичайних бетонів, у поєднанні з ефективними суперпластифікаторами. В результаті спільного використання активних мінеральних добавок та полікарбоксилатних суперпластифікаторів можливе одержання високоміцних бетонів із підвищеною довговічністю.

У цій роботі проведено дослідження впливу активної мінеральної добавки мікрокремнезему та ефективного суперпластифікатора Sika Viskocrete 25 на характеристики міцності цементного каменю, виготовленого із застосуванням склобою.

При виготовленні IV партії бетонних зразків як великий заповнювач був використаний гранітний щебінь фракції 5-10 мм, як дрібний заповнювач - дроблений пісок з граніту і склобій крупністю 0-10 мм. Склобой вводився до складу пластичної бетонної суміші в кількості 0, 30 і 50% від маси дрібного заповнювача, замінюючи пісок цією кількістю бою скла. Мікрокремнезем вводився до складу суміші в кількості 10, 20 та 30% від маси цементу. До складу кожної із сумішей цієї партії також вводився суперпластифікатор Sika Viskocrete 25 в кількості 1% від маси цементу. Склад бетонної суміші представлений у таблиці 6.

					ТЦ 2500. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 6 - Склад бетонної суміші.

№ партії	14	15	16	17	18	19	20	21	22
Зміст склобою від маси дрібною 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
Бій скла	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
Середня щільність, кг/м ³	2297	2302	2277	2296	2279	2225	2242	2229	2201

					ТЦ 2500. ПЗ				Арк.
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата					

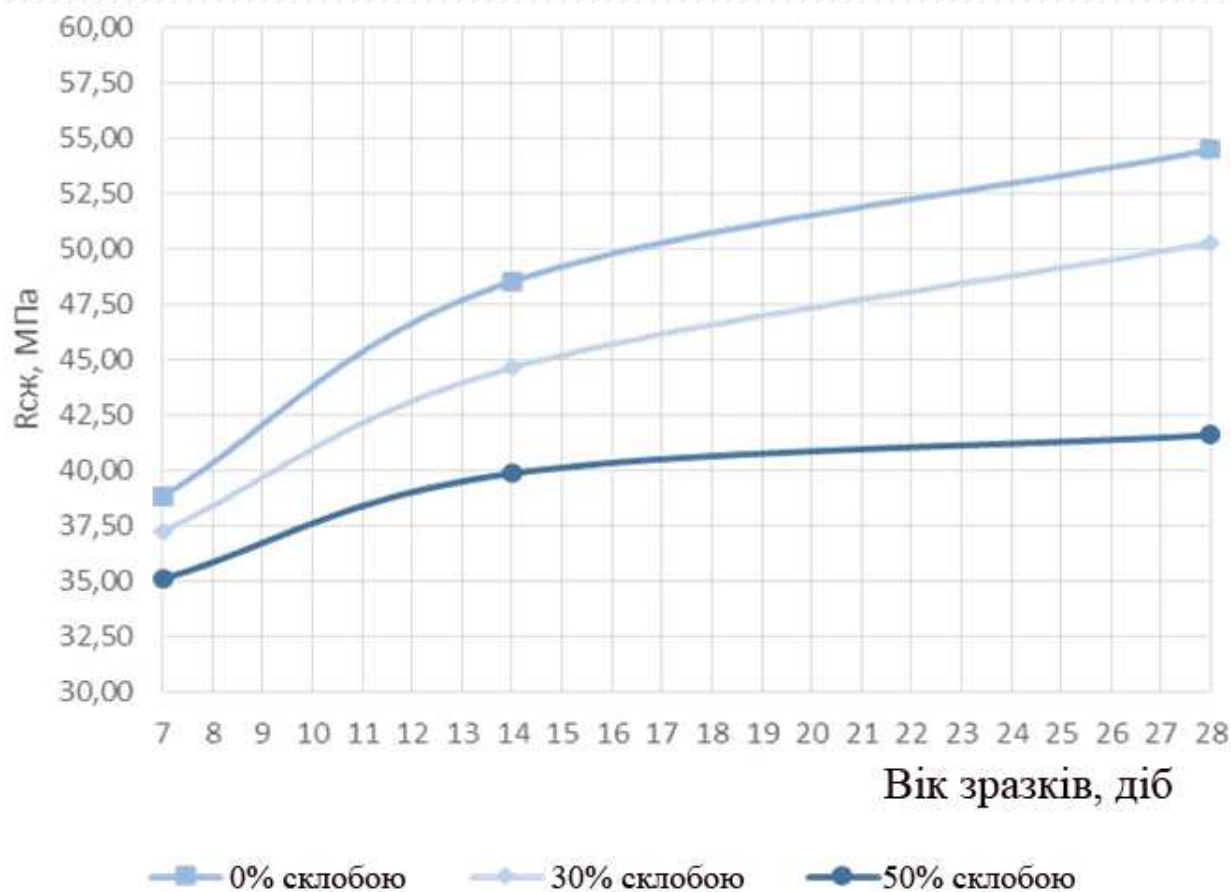


Рисунок 4 – Залежність міцності зразків з мікрокремнеземом кількості 10% від кількості склобою

Таблиця 7 - Міцність зразків з мікрокремнеземом у кількості 10%

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

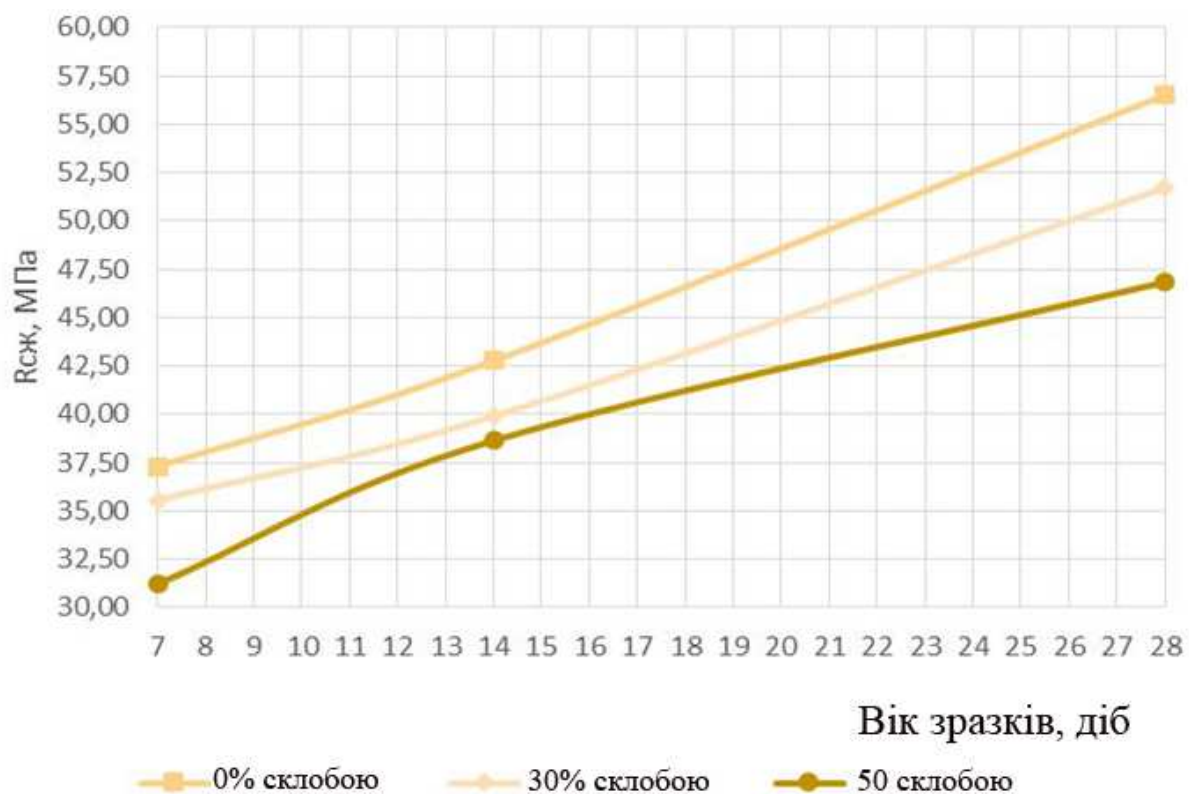


Рисунок 5 – Залежність міцності зразків з мікрокремнеземом кількості 20% від кількості склобою

Таблиця 8 - Міцність зразків з мікрокремнеземом у кількості 20%

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

Таблиця 9 - Міцність зразків з мікрокремнеземом у кількості 30%

Кількість склобою від маси дрібного заповнювача, %	Межа міцності при стисканні (МПа)		
	Вік зразків, добу		
	7	14	28
0	39,90	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 поліпшити зручність бетону, отримати суміш з більшою рухливістю (партія №14). Аналіз властивостей бетонних сумішей показує, що зі збільшенням кількості склобою спостерігається підвищення твердості бетонної суміші. При використанні у складі бетонної суміші суперпластифікатора, склобою в кількості 50% від дрібного маси заповнювача та мікрокремнезему в кількості 30% від маси цементу, суміш виходить досить жорсткою і потрібно на її ущільнення більше часу.

При приготуванні бетонних сумішей встановлено, що зі збільшенням кількості мікрокремнезему знижується рухливість бетонних сумішей. Це спостерігається при постійному водоцементному відношенні ($B/C = 0,5$) та постійному відношенні кількості суперпластифікатора Sika до цементу (1% кількості цементу). Дане явище пояснюється тим, що зі збільшенням кількості мікрокремнезему значно підвищується загальна водопотреба.

У зразках бетону із вмістом склобою у 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 у кількості 50% приріст

					ТЦ 2500. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

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.

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

Таблиця 10 - Склад бетонної суміші

№ партії	1	2	3(5)	4	6	7
Вміст склобою від маси дрібного заповнювача, %	0	0	30	30	30	30
Одиниця виміру	кг/м 3					
Цемент ЦЕМ ІІ/А-К (Ш-ІІ) 32,5Б	301	232	238	238	362	473
Пісок подрібнений із граніту.	650	711	510	506	384	422
Бій скла	0	0	218	216	163	181

Дані показують, що при використанні як гіперпластифікуюча добавка 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 і 3). При використанні пластифікуючої добавки Sika Viskocrete 25 отримані бетони, ідентичні за міцністю бетонів на

					ТЦ 2500. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

гіперпластифікаторі STACHEMENT 2280. Однак набір міцності бетонів на гіперпластифікаторі STACHEMENT 2280 відбувається набагато швидше, ніж на суперпластифікаторі Sika Viskocrete 25 (партії 3 та 4).

Аналізуючи результати досліджень, можна зробити висновок, що бетон, виготовлений з використанням як наповнювач високодиспергованого мікрокремнезему має більш високі показники міцності, ніж бетон без мікрокремнезему (партії 6 і 7). Після пропарювання бетон із мікрокремнеземом набирає 90% марочної міцності, без мікрокремнезему – лише 75%. Клас отриманого бетону партії 6 та 7 – B55.

Наявність високодиспергованого мікрокремнезему позитивно позначається на характеристики бетону міцності, так як мікрокремнезем в цементному камені вступає в реакцію з $\text{Ca}(\text{OH})_2$, що виділяється при гідратації клінкерних мінералів цементу 3S і $\text{C}2\text{S}$, з утворенням дуже міцних з'єднань. Висока дисперсність мікрокремнезему сприяє ефективній та швидкій реакції. Безліч сферичних мікрочастинок оточують кожне зерно цементу, ущільнюють цементний камінь, покращують зчеплення із заповнювачем та заповнюють порожнечі міцними продуктами гідратації. «Мікрокремнезем бере участь у освіті продуктів гідратації, що призводить до збільшення якості дрібних гелевих пір, що входять до складу кальцієвосилікатного гідрогелю, а також знижує капілярну пористість». Д. Дж. Паркер у своїй роботі довів, що «1 кг мікрокремнезему може забезпечувати таку ж міцність, як 3 – 5 кг звичайного портландцементу, в сумішах однакової зручності при помірному вмісті мікрокремнезему і цементу в обох сумішах». Також доведено, що бетони, виготовлені з додаванням мікрокремнезему в кількості до 30% у поєднанні з суперпластифікатором, досягають дуже високої міцності.

					ТЦ 2500. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

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

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

Нові технології виробництва бетонів ґрунтуються на глибокому вивченні процесів, що відбуваються на мікрорівні в цементному камені. При цьому контролюється наявність і швидкість протікання хімічних процесів, що відбуваються в бетоні, що твердіє. У цій роботі була вивчена контактна зона зерен скла з цементним каменем бетонів, що відрізняються складом та умовами твердіння.

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

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

Дослідники стверджують, що з використанням скла високої дисперсності розширення зразків бетону немає. На підставі чого робиться припущення, що процес лужно-силікатної реакції протікає

					ТЦ 2500. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

протягом доби, внаслідок чого зафіксувати розширення та руйнування зразків неможливо.

У цій роботі пропонується процес придушення лужно-силікатної взаємодії в бетонах із заповнювачем зі скла добавкою висодиспергованого мікрокремнезему.

Зразки бетону розміром 7,07 x 7,07 x 7,07 см з моменту виготовлення протягом 28 діб набирали міцність у нормальних умовах твердіння.

Мікроструктура цементного каменю зі збільшенням 24 разу представлена на рис. 6. Виразно видно зерна скла та подрібненого піску з граніту. Структура цементного каменю є щільною.

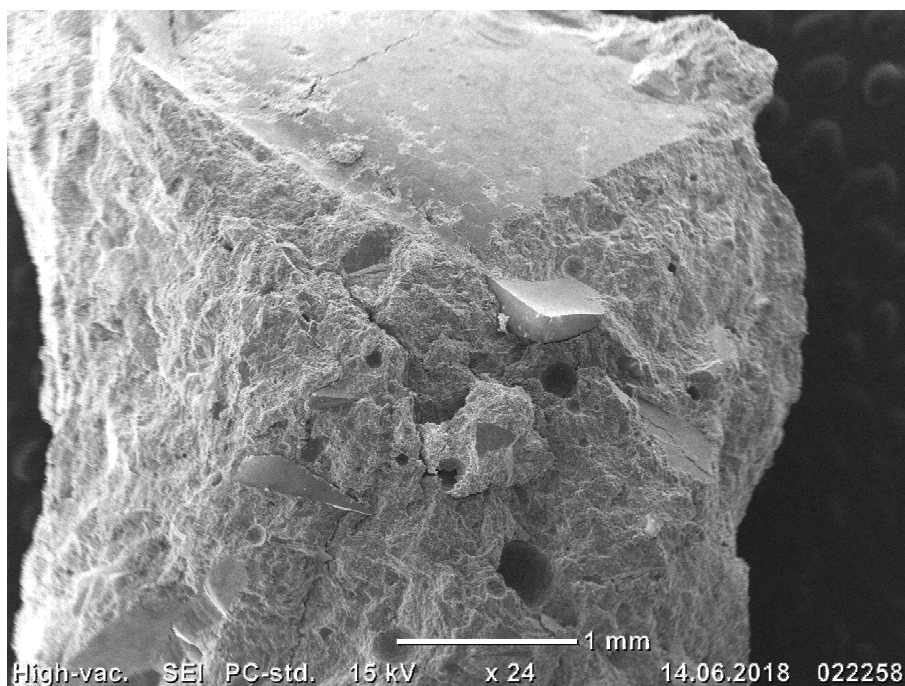


Рисунок 6 – Мікроструктура цементного каменю

На малюнках 7 і 8 зі збільшенням відповідно в 170 і 500 разів представлені зерна скла різної крупності як дрібного заповнювача в бетоні. Зерна скла блискучі, зчеплення із цементним каменем відсутнє.

					ТЦ 2500. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

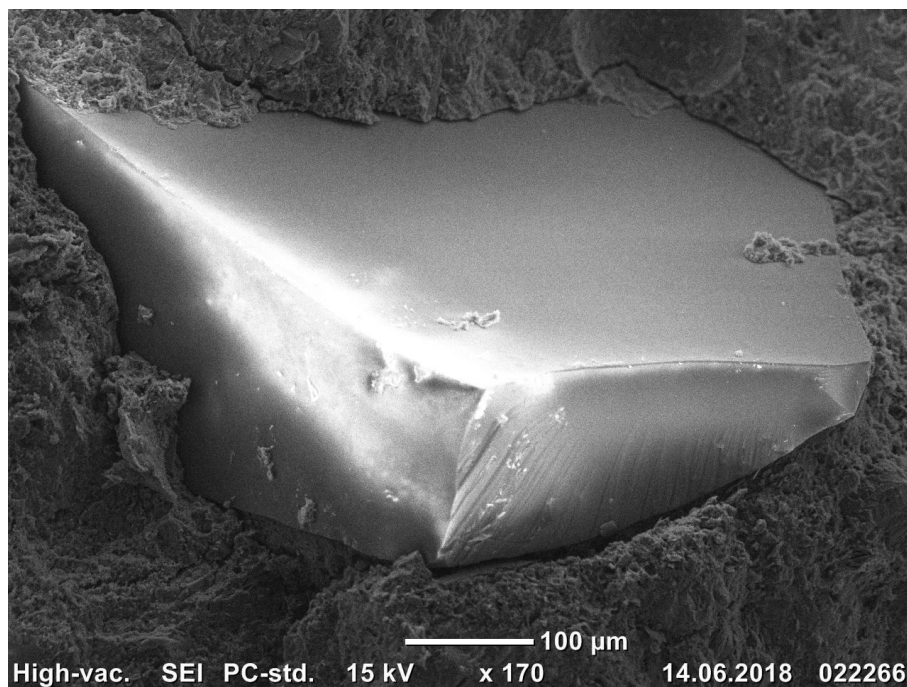


Рисунок 7 – Зерно скла в цементному камені зі збільшенням 170 раз



Рисунок 8 – Зерно скла в цементному камені зі збільшенням 500 раз

При збільшенні у 2200 разів чітко видно зазор між зерном скла та цементним каменем рис.9. Новоутворень в результаті реакції між аморфним різновидом окису кремнезему та NaOH не спостерігається.

					ТЦ 2500. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

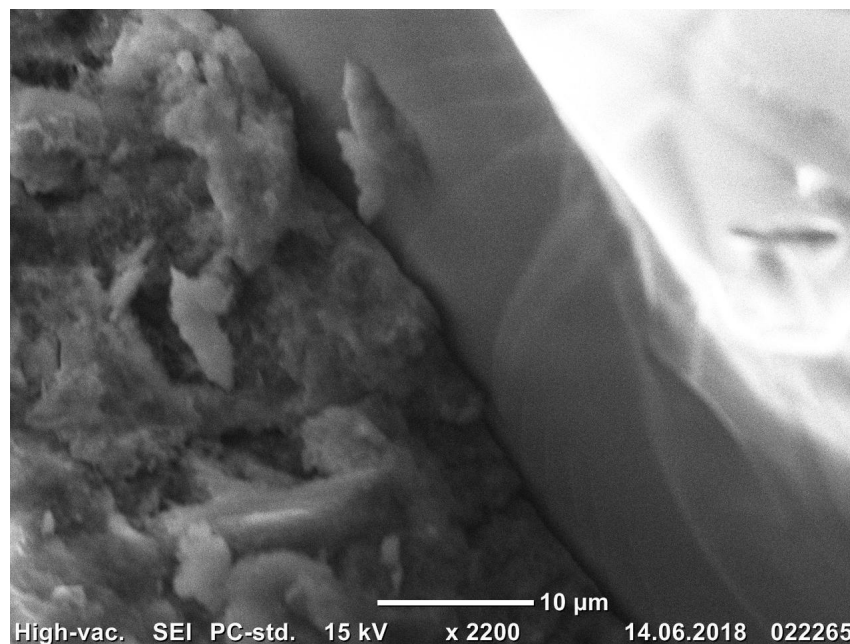


Рисунок 9 – Зерно скла в цементному камені зі збільшенням 2200 раз

Для порівняння на рис. 10 представлено контактну зону зерна граніту з цементним каменем. Зерно граніту має міцне зчеплення із складовими цементного каменю: гідросилікатами, гідроалюмінатами та гідроферитами кальцію, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ та ін. Зазор між зерном заповнювача-граніту та продуктами гідратації цементу відсутня.

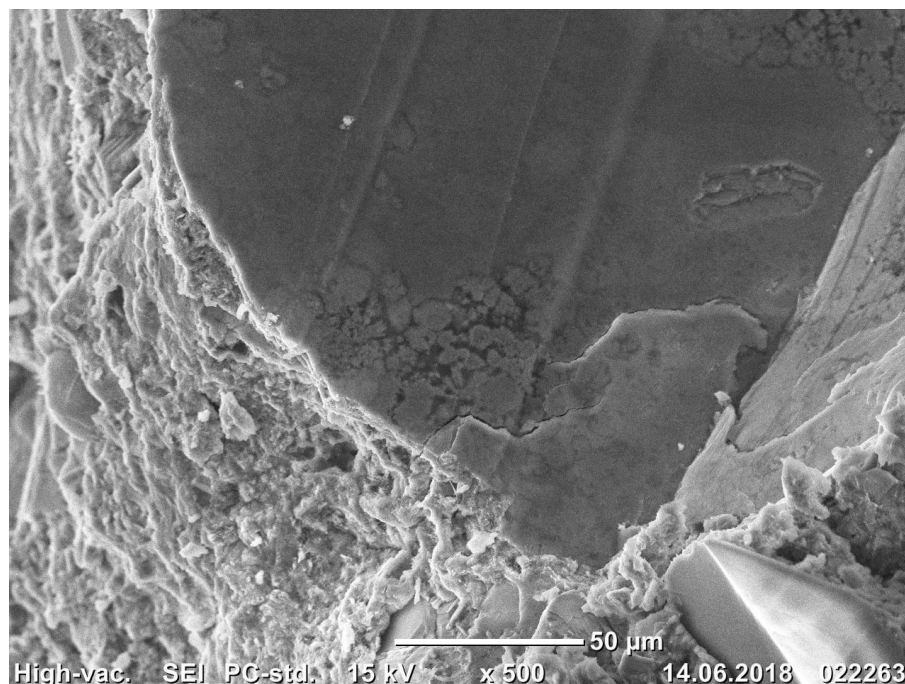


Рисунок 10 – Контактна зона зерна граніту із цементним каменем

					ТЦ 2500. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

Склад бетонної суміші партії 6 представлений у таблиці 10. Зразки бетону розміром 10 x 10 x 10 см на другу добу після виготовлення були схильні до пропарювання за режимом 3 + 8 + 3 години при температурі 70 град. С.

У складі даної партії бетону знаходиться мікрокремнезем у кількості 30% від маси цементу та гіперпластифікатор STACHEMENT 2280 у кількості 1% від маси цементу.

Досліджуючи під мікроскопом (збільшення 80 разів) структуру цементного каменю, бачимо, що зерно скла покрито полімерною складовою гіперпластифікатора STACHEMENT 2280 (рис. 11 та 12). Кордон між зерном скла та складовими цементного каменю не чіткий, розмитий.

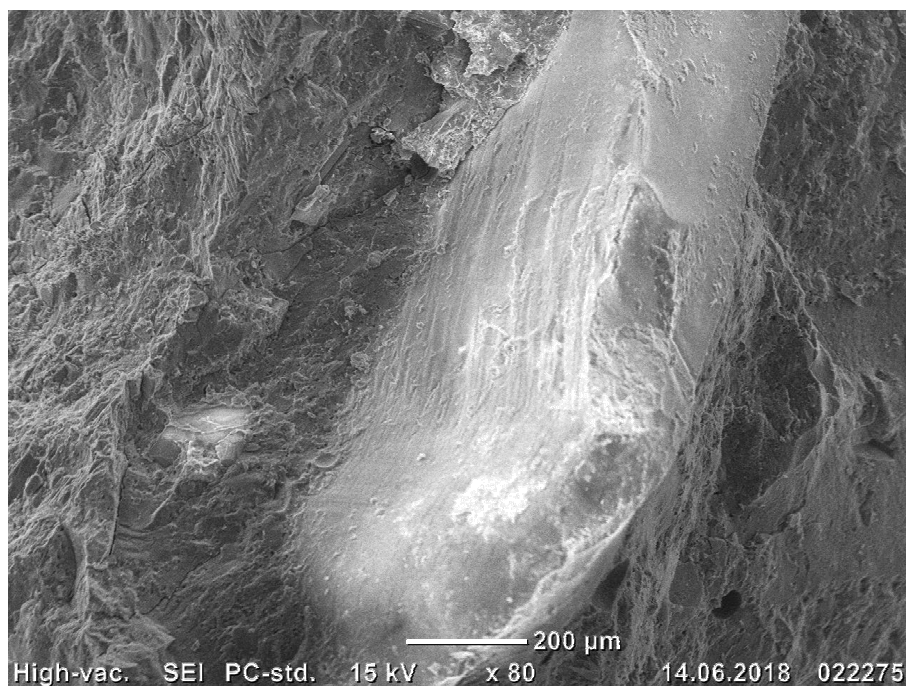


Рисунок 11 – Зерно скла в цементному камені зі збільшенням 80 раз

					ТЦ 2500. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

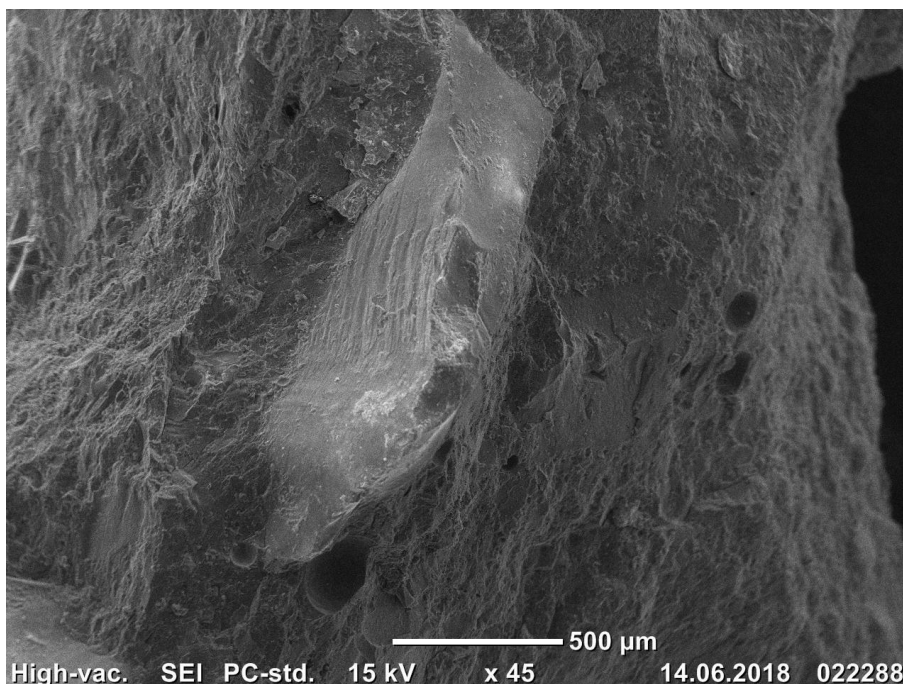


Рисунок 12 – Зерно скла в цементному камені зі збільшенням 45 раз

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

На рисунку 13 при збільшенні в 540 разів зерно шорстке, порожнини між зерном і цементним каменем не спостерігається. Кордон скла з цементним каменем знаходиться в оболонці полімеру, міцне зчеплення з цементним каменем, що призвело до високих результатів міцності зразків бетону.

					ТЦ 2500. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

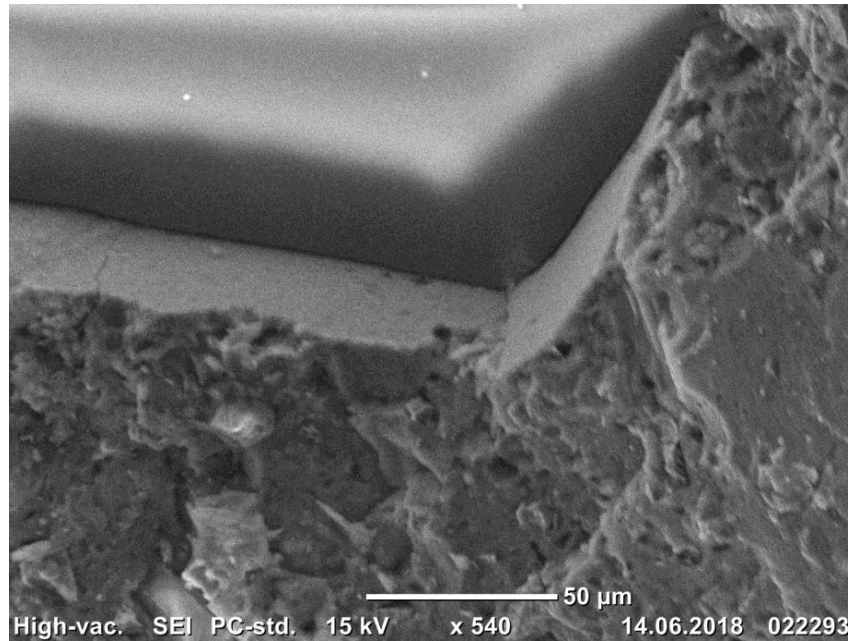


Рисунок 13 – Зерно скла в цементному камені зі збільшенням 540раз

4 Розрахунок несучої здатності згинальних елементів по деформативній моделі

У цьому розділі наводяться різні види діаграм бетону та арматури.

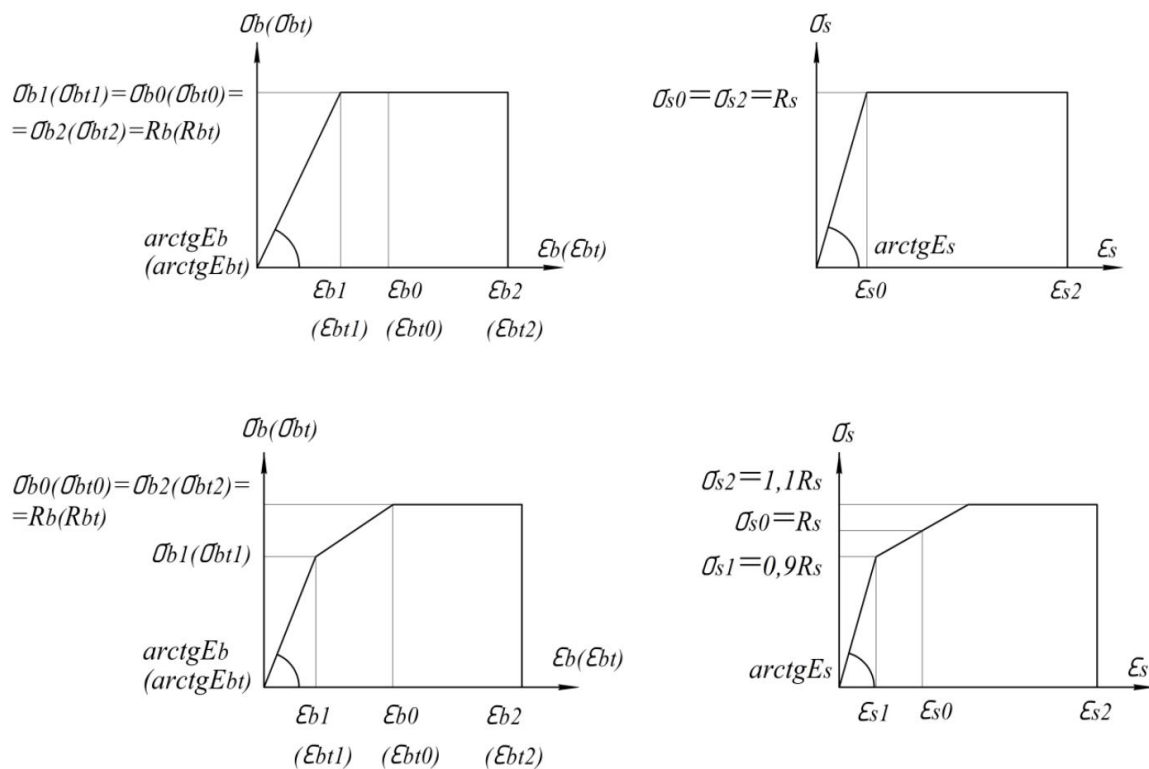


Рисунок 14 – Шматково-лінійні діаграми бетону та арматури

					ТЦ 2500. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

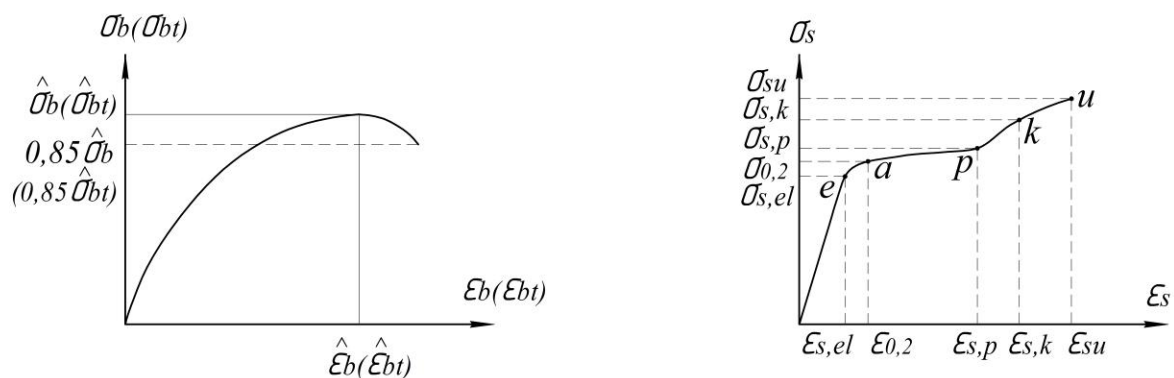


Рисунок 15 – Криволінійні діаграми деформування бетону та арматури

Для встановлення співвідношення між значеннями граничних моментів та деформацій у розрахунках міцності нормального перерізу залізобетонного елемента за нелінійною деформаційною моделлю використовуються нормовані діаграми стану (деформування) бетону при стисканні. b b : білінійна, трилінійна, криволінійна з спадаючою гілкою та аналогічні: спрощена білінійна, параболічно-лінійна. Закони зміни напруги від деформацій залежно від обрису діаграм представлені у нормативних документах. Як розрахункова діаграма деформування арматури при розтягуванні s (класу А-500 включно) приймається єдина рекомендована нормами білінійна діаграма, в якій межа пружної ділянки обмежується деформаціями $\epsilon_{so} = 0,2\epsilon_s$ ($0,2\sigma_s$ межа плинності арматурної сталі). Далі розглядається алгоритм розрахунку міцності з використанням нормованих діаграм, а потім він апробується в розрахунках з діаграмами.

Зразки мають прямокутну форму перерізу з висотою $h=18\text{см}$, шириною $b=12\text{см}$ та довжиною $l=210\text{ см}$. Армвання проводилося симетрично звареними каркасами із поздовжньою арматурою класу А-III (по два робочих стрижня у вірнішій та нижній зонах). Зразки розділені на 3 серії діаметром поздовжньої арматури (8 мм, 10 мм, 12 мм).

Поперечна арматура - хомути з дроту 5-1, встановлені з постійним кроком 90мм і з'єднувальні стрижні 5-1 з кроком 180 мм.

					ТЦ 2500. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата		

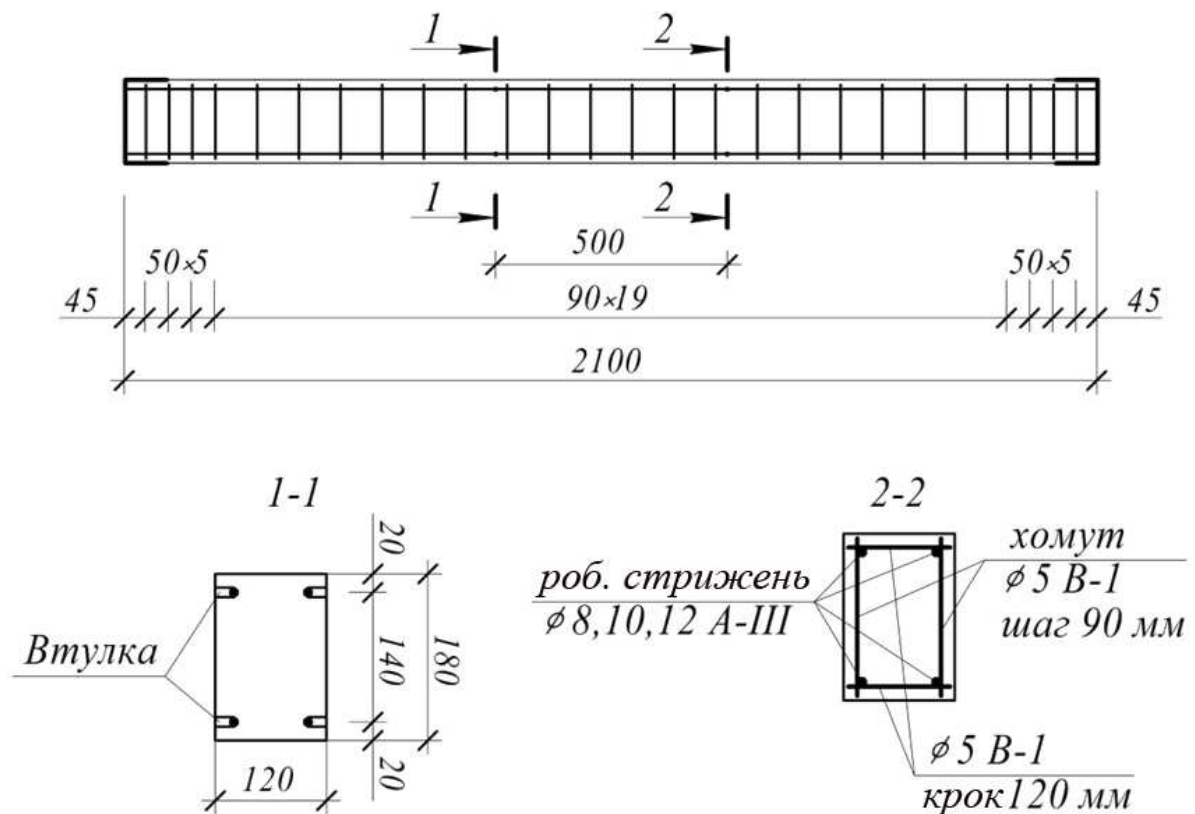


Рисунок 15 – Конструкція зразків

Завантаження зразків вироблялося за схемою «чистого вигину» (Рис.16).

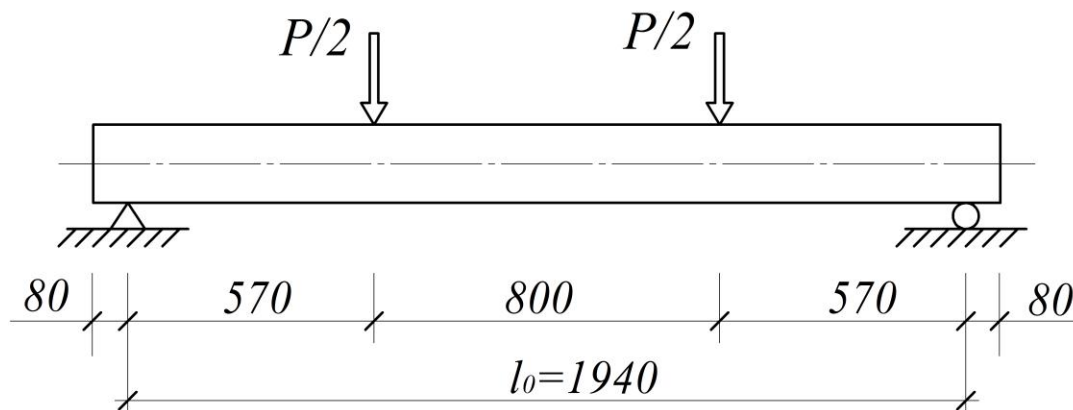


Рисунок 16 – Схема навантаження

Для переходу до призмової міцності бетонних зразків знайдемо міцність кубиків з масштабним коефіцієнтом при випробуванні, що дорівнює 0,95 для кубів з ребром 100 мм.

Визначено розрахункові характеристики міцності та деформаційні характеристики бетону для класу B55,7: початковий модуль пружності

					ТЦ 2500. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата		

$E_b=39,0 \cdot 10^3 \text{ МПа}$, опір бетону стиску $R_b= 50 \text{ МПа}$. З використанням цих характеристик проведений розрахунок на міцність залізобетонних елементів балочного типу, що згинаються з геометричними розмірами перерізу $h=18 \text{ см}$, $b=12 \text{ см}$, прольотом $l=210 \text{ см}$, з армуванням арматурою класу А500. Розрахунок проводився за розробленим програмним комплексом у Microsoft Excel.

Програмний комплекс включає три блоки:

- Блок 1 – блок вихідних даних;
- Блок 2 – блок ітерації (послідовного наближення);
- Блок 3 – блок визначення фактичних параметрів та значень граничних моментів.

Розрахунок проводився для елементів з відсотком армування 0,52, 0,82 та 1,18. Результати розрахунку подані у таблиці 11.

Таблиця 11 – Значення граничних моментів та прогинів у середині прольоту

μ, %	Криволінійна діаграма		Дволінійна діаграма		Трилінійна діаграма	
	Mult, КН·м	f, мм	Mult, КН·м	f, мм	M _{ult} , КН·м	f, мм
0,52	7,09	71,41	7,02	71,63	7,00	71,67
0,82	10,56	65,13	10,58	73,16	10,83	73,19
1,18	14,43	63,86	14,89	71,59	14,88	71,40

Ця методика апробована на дослідних зразках, де підтверджено відповідність розрахункових та дослідних даних.

ВИСНОВКИ

З результатів проведених експериментальних досліджень випливають такі 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 30% склобою зниження міцності бетону у віці 28 діб відбувається на 9%.

При використанні дрібного заповнювача дробленого піску з міцного граніту заміна 15% піску склобоєм не впливає на міцність бетонів.

2. Виявлено, що як заповнювач у бетонах можливо використовувати скlobій великих фракцій, переважно вище 1,25 см, причому міцність цих бетонів можна порівняти з міцністю звичайних бетонів на природному і подрібненому піску. Так само міцність звичайних бетонів на природному та 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 міцності бетону. Таке зниження міцності може бути пояснено високою питомою поверхнею зерен наповнювача, що призводить до різкого зниження зчеплення зерен скла з цементним каменем.

Для виключення можливості протікання лужно-силікатної взаємодії, збільшення стійкості цементного каменю до тріщиноутворення та зниження міцності бетону при виготовленні бетонів з використанням як заповнювач склобою рекомендується використовувати низьколужні цементы з вмістом лугів у перерахуванні на R2Про трохи більше 0,6%.

3. Показано технічну доцільність введення до складу бетонних сумішей з використанням склобою високодиспергованого мікрокремнезему, який забезпечує високу міцність на стиск, що набагато

					ТЦ 2500. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

перевищує міцність звичайних бетонів, у поєднанні з ефективними гіперпластифікаторами на основі полікарбонксилату.

4. Еспериментально доведено, що одночасне поєднання двох складових (високодиспергованого мікрокремнезему і гіперпластифікатора на основі полікарбонксилату STACHEMENT 2280) з використанням високоміцних заповнювачів з 30% вмістом в них склобою можливе отримання високоміцних бетонів з міцністю при стиску вище 60 МПа марочної міцності.

					ТЦ 2500. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ док.ум.	Підпис	Дата		

5. Охорона праці

5.1 Заходи безпеки при виконанні робіт за технологічною картою

Під час лицювання поверхонь розчином або полімерною мастикою працівники повинні використовувати захисні рукавиці, а при роботі з токсичними клеями та легкими розчинами — також респіратори. Робочим необхідно забезпечити захисні рукавиці, окуляри та спецодяг.

Роботи із застосуванням полімерних і токсичних мастик для приклеювання полістирольних плиток супроводжуються викидами органічних розчинників, що є вогнебезпечними та вибухонебезпечними. Тому слід забезпечити ефективну вентиляцію приміщення. Під час виконання робіт з плиткою та протягом 48 годин після завершення робіт забороняється паління, використання електронагрівальних приладів, проведення зварювальних робіт тощо.

Кожна робоча група повинна мати при собі не більше 5-6 кг мастики. Перед початком лицювальних робіт проводиться обов'язковий інструктаж з техніки безпеки щодо використання мастик.

5.2 Врахування вимог безпеки праці при проектуванні календарного плану

Проектування календарного плану виконання робіт на об'єкті передбачає забезпечення повної безпеки на всіх етапах будівництва.

Підготовчий період. У проектуванні робіт цього етапу передбачено зведення тимчасових споруд (гардеробні, душові, їдальня, туалет тощо), що дає можливість облаштувати тимчасові електромережі та водопостачання, організувати автомобільні проїзди і пішохідні доріжки, а також встановити огорожу території з охоронним освітленням.

					ТЦ 2500. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Основний період. При проектуванні основного періоду в календарному плані розроблені такі організаційні заходи:

- Дотримання технологічної послідовності виконання робіт для забезпечення стійкості конструкцій.
- Організація роботи кількох бригад з урахуванням одночасного виконання робіт на різних висотах або в одному приміщенні за потоковим методом, що сприяє безпечній роботі.
- Включення додаткових заходів безпеки, зокрема:
 - забезпечення стійкості укосів;
 - тимчасове кріплення конструкцій під час монтажу;
 - облаштування тимчасових настилів і огорож.

Проектом передбачено спільні заходи генпідрядника та замовника для безпечного виконання робіт на діючих підприємствах чи поблизу інших споруд. Визначені роботи, що виконуються за наряд-допуском:

- роботи в охоронних зонах повітряних ліній електромереж;
- роботи на ділянках, де можливі небезпечні умови через виконання інших робіт на суміжних територіях.

Календарний план враховує швидку підготовку і передачу фронту робіт субпідрядникам. Спеціальні роботи та благоустрій території узгоджуються з виконанням надземних і опоряджувальних робіт. Строки початку та завершення таких робіт показуються без зазначення чисельності бригад.

Підготовка до електромонтажних та сантехнічних робіт виконується у підземній частині після облаштування фундаментів і завершується до початку бетонної підготовки під підлоги на другій захватці. В надземній частині спеціальні роботи розпочинаються після влаштування стін на першій захватці і завершуються перед початком штукатурних робіт, а повна здача електромонтажних і сантехнічних робіт запланована на останній етап

					ТЦ 2500. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

малярних робіт. Благоустрій території починається після облаштування покрівлі і завершується з опоряджувальними роботами.

					ТЦ 2500. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Паркер Д. Дж. Бетон із вмістом мікрокремнезему // Concrete Society. Current Practice Sheet. 1985. №104. С. 4.
2. ENV 1992-II: Eurocod 2: Design of Concrete Structures. Part 1: General rules and Rules for Building. European Prestandart. Iune, 1992. - p.598-755.
3. Kishitani Koichi, Yoon Jai Hwan. Safe Limit of Alkali Content in Alkali-Silica Reaction. Допустимий вміст лугів при можливій їх взаємодії кремнеземом. //Rev. 39nd Gen. Meet. Cem. Assoc. Jap. Techn. Sess., Tokyo, 1985, Synops. -Tokyo. -1985. -pp.240-243.
4. Meyer C., Egosi N., Andela C. Конкретно з waste glass as aggregate // Recycling and Reuse of glass Cullet: Процедури міжнародного симпозіуму 19–20 March 2001, Dundee UK. P. 179-181.
5. Byars EA, Zhu H., Meyer C. Use of glass for construction products: legislative and technical issues // Sustainable Waste Management: Процедури міжнародного симпозіуму 9–11 September 2003, Dundee UK. 827-838.
6. Remarque W., Heinz D., Schleusser C. Glass powder as a reactive Addition for blast furnace cements // Recycling and Reuse of glass Cullet: Процедури міжнародного симпозіуму 19–20 March 2001, Dundee UK. P. 229-238.
7. Meland I., Dahl PA Recycling glass cullet as concrete aggregates, applicability and durability // Recycling and Reuse of glass Cullet: Proceedings of International Symposium 19–20 March 2001, Dundee UK. P. 167-177
8. Dyer TD, Dhir RK Use of glass cullet as a cement component in concrete // Recycling and Reuse of glass Cullet: Proceedings of International Symposium 19–20 March 2001, Dundee UK. P. 157-166.

					ТЦ 2500. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Зміст

Вступ

Актуальність роботи

1 Сучасний стан питання використання скляного бою у
виробництві будівельних матеріалів

2 Характеристики вихідних матеріалів. Методи дослідження та
випробувань

3 Дослідження властивостей бетону з використанням склобою як
наповнювач

4 Розрахунок несучої здатності згинальних елементів по
деформативної моделі

5 Охорона праці

5.1 Заходи безпеки при виконанні робіт за технологічною картою

ВИСНОВКИ

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

Додатки

					ТЦ 2500. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ док-м.	Підпис	Дата		

Додаток 2

Загальна характеристика району будівництва

Споруджуваний об'єкт: торговий центр площею 2500м^2 , розташований у місті Кропивницький, майданчик будівництва прямокутної форми. Будинок каркасний, з поздовжнім розташуванням ригелів, будівельний майданчик зі спокійним рельєфом (перепад висот не більш 0,5м).

Центр у плані має "прямокутно"- образну схему, осьові розміри в плані 51,6х36,6 метрів. Основою під фундаменти служать піски дрібні, середньої щільності, міцні й дуже міцні. Ґрунтові води на всій території будівельного майданчика перебувають нижче глибини закладення фундаменту.

При проектуванні будівлі враховані наступні вимоги: клас відповідальності будівлі - 2; ступінь довговічності - 2; вогнестійкості - 2.

Розрахунок і конструювання колони

У роботі необхідно розрахувати й сконструювати залізобетонну колону середнього ряду каркаса висотою на весь будинок $H_k=10,85$ м, перетином 300×300 мм. У зв'язку з тим, що будинок має в'язеву систему, колону середнього ряду розглядаємо як внецентрено стиснену, що працює з випадковим ексцентриситетом.

На колону діють навантаження від перекриття й покриття й від власної ваги розглянутої колони.

Навантаження від перекриття й покриття збирається з вантажної площі, яка визначається по формулі:

$$A_{zp} = l_1 \cdot l_2,$$

Де $l_1=l_2=6$ м – крок несучих конструкцій у поперечному й поздовжньому напрямках.

$$A_{zp} = 6 \cdot 6 = 36 \text{ м}^2.$$

Навантаження від перекриття ухвалюємо по таблиці 1:

постійне $-q_n = 4,78 \text{ кН} / \text{м}^2$, $q = 5,42 \text{ кН} / \text{м}^2$;

тимчасове $-q_n = 4 \text{ кН} / \text{м}^2$, $q = 4,8 \text{ кН} / \text{м}^2$.

Вага 1 погонного метра ригеля визначається розподілом маси ригеля на його довжину: $2600/5,66=459$ кг/м= $4,59$ кН/м.

Власна вага розглянутої колони – $17,44$ кН.

Визначаємо поздовжні сили від постійних і тимчасових навантажень із урахуванням коефіцієнта надійності по призначенню будинку $\gamma_n=0,95$.

Поздовжня сила від постійного навантаження покриття:

$$N=4,51 \cdot 36 \cdot 0,95+4,59 \cdot 6 \cdot 0,95=180,54 \text{ кН}.$$

Таблиця 1 – Навантаження на колону від покриття

Вид навантаження	Нормативне навантаження кН/м ²	Коеф. надійності по навантаженню	Розрахункове навантаження кН/м ²
Постійне:			
1.2 шару гідроізоляції ρ=1000кг/м ³	0,1	1,3	0,13
2.Цементно-піщана стяжка δ=30мм ρ=1800кг/м ³	0,54	1,3	0,7
3. Утеплювач- газосилікат δ=300	0,035	1,3	0,05
0,14x25x10/1000			
4.Пароізоляція	0,1	1,3	0,13
5. Залізобетонна плита покриття	1	1,1	1,1
Постійне	1,775	-	2,11
Тимчасове від снігу:	1	1.3	1,3
- тривале	0,3	1.3	0,39
- короткочасне	0,7	1.3	0,91
Повне:	2,775	-	3,410
- постійне й тривале	2,075	-	-

Технологічна карта на монтаж каркаса будинку зі збірних залізобетонних елементів

Область застосування технологічної карти

Дана технологічна карта розроблена на монтаж каркаса будинку зі збірних залізобетонних елементів промислового будинку.

Організація й технологія будівельного процесу

Каркасний будинок монтується за допомогою баштового крана. При монтажі колон, ригелів і плит перекриття, при монтажі стінових панелей кран рухається із зовнішньої сторони каркаса. Будинок ділять на дві монтажні зони.

Для монтажу каркасного будинку застосовуємо два баштові крани БКСМ-7-5. Збірні елементи подають на монтаж із приоб'єктного складу в зоні дії крану.

Монтаж колон включає приймання фундаментів з геодезичною перевіркою положення їх осей і висотних відміток. При цьому перевіряють їхні розміри, положення закладних деталей. По чотирьом граням зверху й на рівні верху фундаментів наносять осьові риски, а на колонах, призначених для укладання по них ригелів, роблять риски на колонах. Колони попередньо розкладають у місць монтажу. Монтаж колон здійснюють способом “у висячому положенні”. Підняті краном колони опускають у склянку фундаменту, сполучаючи осьові риски в нижній частині колон з осьовими рисками на фундаменті. Потім перевіряють вертикальність колон за допомогою двох теодолітів.

При монтажі колон у фундаменти стаканного типу для тимчасового кріплення використовують тверде закладення за допомогою клинів з дерева,

металу й залізобетону. Для колон перетином 300х300 мм установлюють по одному клину з кожної сторони, а перетином більш 400 –з кожної сторони по два клини. Після замонолічування клини витягають. Також для кріплення колон застосовують спеціальні інвентарні клинові вкладиші, гвинтові домкрати, одиночні кондуктор. При установці обов'язковою умовою є підтримування колон за допомогою крану.

Розкладку роблять уздовж прольоту. Після підйому й вивірки перший ригель розкріплюють розчалюваннями, а наступні кріплять спеціальними розпірками, потім роблять монтаж плит покриття.

Монтаж плит покриття ведуть після монтажу ригелів. Монтаж плит починають із центральної осі прольоту. Приварюють закладні деталі плит у трьох кутах.

Крайні плити повинні оснащуватися конструкцією огородження. Шви між плитами зашпаровують цементно-піщаним розчином.

Календарний план виробництва будівельно-монтажних і спеціальних робіт

Нормативна тривалість будівництва, торгового центру становить 6 місяців, з них - підготовчий період - один місяць, підземна частина - один місяць, надземна - три місяці, опоряджувальні роботи – один місяць, у відповідності зі нормами тривалості будівництва.

Проектування будгенплану

Розрахунок тимчасових будівель і споруд адміністративно-господарського й санітарно-побутового призначення

Потреба будівництва в мобільних і тимчасових будинках службового, суспільного й санітарно-побутового призначення проводяться на стадії ПОБ, виходячи з максимальної чисельності працюючих у найбільш численну зміну яка визначається по формулі :

$$N_{\max}^p = 1,05[(P \cdot 0,7 + (ITП + C + M) \cdot 0,8 \cdot 0,5)], \quad (1)$$

де Р, ІТП, С, М – відповідно питома вага робітників, ІТП, службовців і молодшого персоналу.

0,7 і 0,8 – коефіцієнти, що враховують число різних категорій працюючих в одну зміну;

1,05 - коефіцієнт, що враховує учнів і практикантів.

$$N_{\max}^p = 1,05[60 \cdot 0,7 + (3 + 1 + 1) \cdot 0,8 \cdot 0,5] = 46_{\text{чол}}$$

Розрахунок необхідних площ мобільних тимчасових будинків виконуємо по формулі :

$$S_{\text{тр}} = S_{\text{н}} \cdot N, \quad (2)$$

де N – кіл. працюючих;

$S_{\text{н}}$ – нормативний показник площі будинку на 1 людину.

Для визначення розрахункової чисельності працюючих користуються встановленою номенклатурою мобільних і тимчасових будинків санітарно-побутового, службового призначення.