

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ВОДНОГО ГОСПОДАРСТВА
ТА ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ

Скрипник Микола Михайлович

УДК 691.327

**ВИСОКОМІЦІЙ ДРІБНОЗЕРНИСТИЙ БЕТОН ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ
ВІДСІВІВ КАМЕНЕПОДРІБНЕННЯ**

05.23.05 – будівельні матеріали та вироби

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Рівне – 2019

Дисертацію є рукопис.

Робота виконана в Національному університеті водного господарства та природокористування (м. Рівне) Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор

Дворкін Леонід Йосипович,

Національний університет водного господарства та природокористування, завідувач кафедри технологій будівельних виробів і матеріалознавства

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор

Солодкий Сергій Йосипович,

Національний університет «Львівська політехніка»,
завідувач кафедри автомобільних доріг та мостів.

кандидат технічних наук, доцент

Кровяков Сергій Олексійович,

Одеська державна академія будівництва та архітектури,
доцент кафедри міського будівництва та господарства.

Захист відбудеться «16» жовтня 2019 р. о 14-00 год на засіданні спеціалізованої вченової ради К 47.104.06 в Національному університеті водного господарства та природокористування за адресою: 33028, Рівне, вул. Чорновола, 49, навч. корпус №6, ауд. 673.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Національного університету водного господарства та природокористування за адресою: 33028, Рівне, вул. О. Новака, 75 та на сайті університету www.nuwm.edu.ua.

Автореферат розісланий «____» вересня 2019 р.

Вчений секретар спеціалізованої
вченової ради К.47.104.06
к.т.н., доцент

О.М. Бордюженко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Використання відходів різних виробництв є досить важливим шляхом економії матеріальних і енергетичних ресурсів у виробництві цементних бетонів та розчинів. Серед цих відходів важливе місце займають відходи підприємств нерудних матеріалів, котрі виробляють заповнювачі для бетону та інші природні кам'яні матеріали.

В процесі переробки гірських порід утворюється величезна кількість відсівів подрібнення. За існуючими даними при виготовленні щебеню утворюється від 18 до 25 % відсівів від маси гірської породи, що переробляється. Останнім часом суттєво збільшився попит на так званий «кубовидний» щебінь при отриманні якого вихід відсівів може досягати 30 – 36 % і більше в залежності від структурно-текстурних особливостей порід. Збільшення кількості відходів призводить до утворення відвалів, які займають значні площі сільськогосподарських угідь, а також до забруднення повітряного і водного середовища.

Разом з тим будівельна галузь відчуває гостру необхідність в кондиційних заповнювачах. Зокрема в західному регіоні України піски для бетонів і розчинів переважно дрібні, що викликає значну перевитрату цементу. Використання відсівів у бетонах значно обмежене через високий вміст дисперсних частинок, що викликає значну перевитрату цементу.

Останнім часом, з розвитком ефективних суперпластифікаторів з високим водоредукуючим ефектом з'явилася можливість суттєвого зниження водовмісту бетонних сумішей. Це сприяє застосуванню заповнювачів з підвищеним вмістом високодисперсних включень, які можуть за певних умов відігравати позитивну роль у формуванні структури бетону як активні наповнювачі. В даній роботі вивчалась можливість отримання високоміцних дрібнозернистих бетонів із застосуванням як заповнювача гранітних відсівів за умови мінімізації водовмісту бетонних сумішей при застосуванні суперпластифікаторів.

Таким чином, питання розробка ефективного напрямку використання відсівів подрібнення гірських порід і технологічних напрямків отримання бетонів високої якості на їх основі.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дослідження, що викладені в даній роботі були виконані у відповідності до науково-дослідної тем №ДР0115У003047 «Ефективні цементні бетони і розчини з використанням відходів каменеподрібнення», №ДР0116У003759 «Високоміцні швидкотверднучі бетони і фібробетони та конструкції на їх основі для фортифікаційних споруд», а також теми № ДР 0114У001141 «Застосування техногенних відходів промисловості (цементного пилу, золи-виносу ТЕС, відходів каменеподрібнення) для виготовлення ефективних будівельних матеріалів: в'яжучих, сухих будівельних сумішей, бетонів і розчинів».

Мета і задачі дослідження. Мета даної роботи – розробити оптимальні технологічні параметри виготовлення високоміцних дрібнозернистих бетонів (ДБЗ) з використанням в якості основного заповнювача незбагачених відсівів подрібнення граніту, що містить значну кількість дисперсних зерен.

Щоб досягти поставленої мети, вирішували наступні задачі:

- Вивчення особливостей гранулометричного, хімічного та петрографічного складу найбільш розповсюджених видів відсівів вивержених порід.

- Дослідження впливу дисперсного гранітних частинок на реологічні властивості цементних паст, процеси гідратації та структуроутворення наповненого цементного каменю.

- Дослідження сумісного впливу добавок-суперпластифікаторів різних видів та дисперсних частинок гранітних відсівів на властивості дрібнозернистих бетонних сумішей високої рухомості та бетонів на їх основі.

- Розробка технологічних параметрів забезпечення високої міцності дрібнозернистих бетонів на гранітних відсівах.

- Вивчення властивостей, що визначають довговічність дрібнозернистих бетонів на гранітних відсівах

- Розробка методики проектування складів дрібнозернистих високоміцних бетонів на гранітних відсівах з комплексом заданих властивостей.

- Виробнича перевірка розроблених технологічних рекомендацій.

Об'єкт досліджень - цементне тісто та цементний камінь з дисперсним гранітним наповнювачем, бетонні суміші з застосуванням відсівів подрібнення граніту та дрібнозернисти бетони, виготовлені на їх основі.

Предмет досліджень - особливості гідратації та формування структури цементного каменю з дисперсним гранітним наповнювачем, властивості бетонних сумішей та дрібнозернистих бетонів на основі відсівів подрібнення граніту залежно від їх складу та виду добавок.

Методи досліджень. Характеристики відсівів подрібнення та їх дисперсної складової визначались з використанням петрографічного, рентгено-фазового, хімічного та седиментаційного аналізу. Процеси гідратації та формування структури цементного каменю досліджувались вивченням кінетики проходження електричного струму та ультразвукових хвиль, хімічним визначенням кількості зв'язаної води. Параметри порової структури визначались за допомогою методу водопоглинання та мікроскопічного аналізу. Основні дослідження здійснювалось із застосуванням методів математичного планування експерименту відповідних експериментально-статистичних моделей. Будівельно-технічні властивості дрібнозернистих бетонів вивчались за допомогою стандартних методик.

Наукова новизна отриманих результатів.

- Обґрунтовано та доведено гіпотезу про можливість отримання високоміцних дрібнозернистих бетонів із застосуванням як заповнювачів гранітних відсівів за умови оптимізації їх складів і низького водовмісту бетонних сумішей, що забезпечуються введенням добавок суперпластифікаторів.

- Встановлено позитивний вплив дисперсних частинок гранітних відсівів на кінетику структуроутворення, а також будівельно-технічні властивості дрібнозернистого бетону, цементного каменю при мінімізації водопотреби бетонних сумішей.

- Отримано комплекс експериментально-статистичних моделей що дозволяють прогнозувати ефективність застосування відсівів з різним вмістом пилуватих частинок та їх дисперсністю залежно від вимог до бетонів, виду пластифікуючих та активних мінеральних добавок.

- Встановлено умови раціонального поєднання суперпластифікаторів полікарбоксилатного типу з пластифікуючими добавками інших видів і створення

ефективних комплексних добавок, що характеризуються високими пластифікуючим та водоредулюючим ефектами.

Практичне значення наукових результатів:

- Розроблено технологічні параметри виготовлення високоміцьких дрібнозернистих бетонів із застосуванням кам'яних відсівів в якості основного заповнювача.

- Встановлено оптимальний зерновий склад відсівів подрібнення за рахунок співвідношення основних фракцій, а також додаткового введення кондиційних пісків, що дозволяє забезпечити максимальну міцність бетону.

- Розроблена методологія проектування складів високоміцного дрібнозернистого бетону із застосуванням незбагачених відсівів як заповнювача з використанням експериментально-статистичних моделей, що дозволяє забезпечувати комплекс нормованих властивостей.

- Рекомендована технологія виготовлення високоміцного дрібнозернистого бетону із застосуванням відсівів подрібнення граніту, що впроваджена на підприємстві «ТОРГБУДСЕРВІС» торгової марки «Інтербетон» та ПП «Славутський БРЗ» при виробництві товарного бетону.

Особистий внесок здобувача. Запропонована і обґрунтована робоча гіпотеза.

Виконані експериментальні дослідження, проведено теоретичний аналіз отриманих результатів і необхідні технологічні обґрунтування [1-3,5-8].

Розроблено технологію виготовлення високоміцного дрібнозернистого бетону із застосуванням гранітного відсіву і впроваджено її у виробництво [4, 9-11].

Апробація результатів дисертації.

Основні положення дисертаційної роботи доповідались та обговорювались на наукових і науково-практичних конференціях та семінарах: VI Міжнародна науково-практична конференція «Ефективні організаційно-технологічні рішення та енергозберігаючі технології в будівництві», Харківський національний університет будівництва та архітектури. Харків 2016; X Міжнародна науково-технічна Web-конференція «Композиційні матеріали», Національний технічний університет «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». Київ 2017; I Міжнародна науково-практична конференція «Інноваційні технології в архітектурі і дизайні», Харківський національний університет будівництва та архітектури. Харків 2017; науково-технічних конференціях професорсько-викладацького складу Національного університету водного господарства та природокористування (Рівне, 2015-2018 рр.).

У повному обсязі дисертаційна робота доповідалася на розширеному науковому семінарі кафедри технології будівельних виробів і матеріалознавства НУВГП (2018 р.), а також на міжкафедральному науковому семінарі з будівельних матеріалів та виробів НУВГП (2019 р.).

Публікації. За темою дисертації опубліковано 12 наукових праць, з них 2 колективні монографії, 5 статей у наукових фахових виданнях України та інших держав, 1 – в наукових періодичних виданнях інших держав, що включені до міжнародних наукових баз даних (Google Scholar, РИНЦ), 4 – які засвідчують апробацію дисертації, 3 публікації у матеріалах міжнародних конференцій, 1 патент України на корисну модель.

Структура і обсяг дисертації. Дисертація складається із вступу, 6 розділів, висновків, списку використаних джерел із (182 найменування) і 5 додатків. Загальний об'єм дисертації 176 сторінок, в тому числі 133 сторінки основного тексту, 37 таблиць, 60 рисунків і 10 сторінок додатків.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність даної роботи, сформульовано мету досліджень, наукову новизну, основні задачі та практичне значення роботи.

У першому розділі розглянутий стан наукової проблеми та визначені напрямки досліджень.

Основний внесок у дослідження і розвиток високоякісних бетонів (High Performance Concrete), а також отримання високоміцних дрібнозернистих бетонів здійснили Баженов Ю.М., Батраков В.Г., Будніков П.П., Волженський А.В., Вировий В.М., Дворкін Л.Й., Житковський В.В., Зайченко Н.М., Капрілов С.С., Кривенко П.В., Плугін А.М., Рунова Р.Ф., Солодкий С.Й., Соломатов В.І., Саніцький М.А., Ушеров-Маршак А.В., Якобсон М.Я., Billberg P., Ma j., Mou S. та інші.

Використання в якості заповнювача цементних бетонів відходів переробки гірських порід на щебінь (відсівів) мало практикується через наявність у їх гранулометричному складі значної кількості (до 20 %) пилуватих частинок, які підвищують водопотребу бетонної суміші.

На підприємствах організується переробка відсівів з отриманням із нього фракції 2,5...10 мм. Частина, що залишилася - фракція 0...2,5 мм практично не використовується. Об'єм відсівів подрібнення, що утворюються після другої і третьої стадії подрібнення, досягає 20...25 % від об'єму гірської маси, що переробляється.

Виконані дослідження з комбінації відсівів подрібнення з іншими видами відходів та застосування їх в бетонах, розроблені склади бетонів, де в якості в'яжучого застосовували відходи сірчаного виробництва, а заповнювача – відсіви подрібнення базальту та діабазу.

Використання пісків із відсівів подрібнення передбачено ДСТУ БВ.2.7-210:2010 «Пісок із відсівів подрібнення вивержених гірських порід для будівельних робіт». У бетонах різного призначення відсіви, велика частина яких відноситься до крупних і дуже крупних пісків (із модулем крупності M_{kp} = більше 2,5 до 3,2...3,6), застосовуються як укрупнююча добавка до природних дрібних і дуже дрібних пісків. Така укрупнююча добавка дає можливість замінити до 50 % піску відсівами подрібнення і знизити витрату в'яжучого на 15...20 %.

Підвищений вміст частинок менше 0,16 мм в ряді випадків може створювати позитивний вплив. Так отримання легкоукладальних сумішей і сумішей що не розшаровуються на відсівах подрібнення можливо лише при наявності підвищеної кількості дрібних фракцій, або введенням дрібних або дуже дрібних пісків.

Встановлено позитивний вплив пилуватої фракції гранітного відсіву на кінетику структуроутворення вібропресованого бетону і ступінь гідратації портландцементу в умовах недостатньої кількості води. Обґрунтовано закономірності розподілу води в бетонних сумішах для вібропресування, отримано і

експериментально підтверджено розрахункову залежність для визначення їх оптимального водовмісту.

Доцільність введення дисперсних наповнювачів в цементні композити значою мірою випливає з відомих уявлень, запропонованих В. М. Юнгом, про цементний камінь як «мікробетон», в якому роль матриці виконує гідратна фаза, отримана при хімічній взаємодії з водою зерен цементу менше 30 мкм, а роль наповнювача - більш крупні зерна цементу, які гідратуються лише з поверхні. При забезпечені досить високої тонкості помелу клінкерної складової, виходячи з цієї концепції, частину зерен цементу можна замінити дисперсними матеріалами, в т.ч., які не вступають в хімічну взаємодію з водою.

Мінеральні наповнювачі в цементних системах часто умовно поділяють на активні та інертні. До активних відносять дисперсні мінеральні речовини, які здатні взаємодіяти з гідроксидом кальцію, що виділяється при гідролізі клінкерних мінералів (т.зв. активні мінеральні добавки). До активних наповнювачів відносять також карбонатні порошки, які взаємодіють з цементом, з утворенням комплексних сполук типу гідрокарбоалюмінатов. У світі сучасних теоретичних уявлень про структуроутворення цементних систем другу групу мінеральних наповнювачів, які не вступають безпосередньо в хімічну взаємодію з продуктами гідратації цементу неточно називати інертними. Вони активно впливають на фізико-хімічні процеси структуроутворення та синтезу властивостей розчинів і бетонів.

Досліженню впливу різних видів дисперсних мінеральних наповнювачів на властивості цементних розчинів і бетонів, присвячено значна кількість робіт. Отримані при цьому результати залежать від виду наповнювачів, їх гіdraulічної, пуздоланової та поверхневої активності, дисперсності і зернового складу, способу введення і вмісту.

Поряд із впливом активних наповнювачів на міцність при стиску бетонів і розчинів відзначається їх позитивний вплив на відношення міцності на розтяг до міцності на стиск і, відповідно, на тріщиностійкість цементних композитів. Відомо, що більш високе співвідношення міцності бетону на розтяг до міцності на стиск має місце при введенні в цемент золи, шлаку, а також використанні карбонатних заповнювачів.

Дисперсні відходи виконують роль підложки при формуванні структури гідратних новоутворень, відмічено можливість епітаксіального зрошування кристалів та можливість хімічної взаємодії наповнювачів з продуктами гідратації цементу.

Таким чином, результати теоретичних та відомих досліджень, дають підставу вважати можливим ефективне застосування наповнювачів у цементних бетонах, в тому числі і з пилуватих фракцій відсівів подрібнення гірських порід, особливо у дрібнозернистих бетонах при створенні т. з. «стиснутих» умов структуроутворення (за М.М. Сичовим) за рахунок мінімізації водопотреби бетонних сумішей.

Експериментальному обґрунтування цієї наукової гіпотези присвячені експериментальні дослідження приведені в даній роботі.

У другому розділі наведена характеристика компонентів та методів досліджень, що були використані в роботі.

В дослідженнях були використані: відсіви кар'єрів, що виготовляють щебінь для будівельних робіт в Рівненській, Житомирській та Хмельницькій областях; портландцемент ПЦ-І та ПЦ-ІІ-А/ІІІ за ДСТУ Б В.2.7-46-2010 марки М500 ПАТ «Волинь-цемент» з типовим середньоалюмінатним клінкером, найбільш характерним для сучасної цементної промисловості України; пісок природній – Славутського родовища $M_{kp}=2,1$; були використані хімічні добавки: пластифікатор лігносуфонатний ЛСТМ, суперпластифікатори нафталін-формальдигідного типу СП-1 (С-3), та полікарбоксилатного типу Melflux 2651F (BASF, Німеччина); Як активну мінеральну добавку використовували метакаолін (ТОВ «Західна каолінова компанія»).

Всі досліджувані відсіви характеризувались значним вмістом частинок $<0,16$ мм (15...20 %), недостатнім вмістом частинок розміром 0,63....0,316 мм та підвищеним вмістом зерен 2,5...10 мм. Середній хімічний склад найбільш характерних відсівів Вирівського кар'єру, прийнятих для подальших досліджень наведений нижче: $SiO_2 = 72,9$; $TiO_2 = 0,3$; $Al_2O_3 = 13,6$; $Fe_2O_3 = 0,97$; $FeO = 0,58$; $MnO = -$; $MgO = 0,46$; $CaO = 1,29$; $Na_2O = 3,91$; $K_2O = 5,18$; $P_2O_5 = 0,08$; $SO_3 = -$; $H_2O = 0,15$; $ВПП = 0,6$. Модуль крупності відсівів – $M_{kp} = 3,02$

За мінералогічним складом гранітні відсіви представлені польовими шпатами, кварцем, слюдами (біотитами) та їх зростками. Рентгенівський аналіз проведений на «Дрон-4-07» показав, що в зернах $<0,16$ мм переважають польові шпати (ортоклаз, мікроклін та альбіт). Глинисті мінерали представлені монтморилонітом, каолінітом та гідрослюдами.

За даними досліджень середньоарифметичне значення питомої активності радіонуклідів A_{eff} для відсівів подрібнення граніту перебуває в межах 168 Бк/кг.

Дослідження високоміцного дрібнозернистого бетону на гранітному відсіві проводилось за такою схемою: на першому етапі розглядали вплив дисперсних гранітних наповнювачів (частинок менших 0,16 мм та аспіраційного пилу) на реологічні властивості цементних паст, а також на гідратацію та структуроутворення цементного каменю; на другому вивчали властивості бетонних сумішей з гранітними відсівами, що містять дисперсні частинки (вплив складу бетону, кількості та дисперсності гранітних частинок, хімічних добавок); на третьому етапі вивчали вплив властивостей відсівів та дисперсних зерен що входять до їх складу як гранітного наповнювача та пластифікуючих добавок на міцність дрібнозернистого бетону та характеристики його довговічності. На завершальній стадії на основі отриманих кількісних залежностей було розроблено метод проектування складів високоміцного дрібнозернистого бетону, на відсівах подрібнення граніту.

Кінетику формування коагуляційної структури і її перехід до кристалізаційної досліджували за зміною швидкості проходження ультразвуку, питомою електропровідністю та зміною реологічних параметрів.

Вивчення особливостей гідратації цементного каменю з гранітним наповнювачем було виконано шляхом вивчення кінетики зміни ступеня гідратації цементного каменю та його міцності. Ступінь гідратації визначали за кількістю води, що хімічно зв'язана з цементом та не піддається випаровуванню.

Зміну структури цементного каменю за рахунок введення гранітного наповнювача та суперпластифікатора визначали за параметрами його порової структури.

Особливості структури цементного каменю з гранітним наповнювачем вивчали за допомогою електронного мікроскопу.

Основні дослідження технологічних властивостей бетонних сумішей та бетону виконували згідно діючих ДСТУ. Віброп'язкість бетонної суміші (η) вимірювали на віскозиметрі Десова.

Кінетику водопоглинання бетону, а також коефіцієнти, що характеризують середній розмір і однорідність відкритих капілярних пір, визначали відповідно до ДСТУ Б В.2.7-170:2008.

Визначення міцності бетону на стиск виконували згідно ДСТУ БВ.2.7-214:2009, а на згин згідно ДСТУ Б.В.2.7-187:2009.

Водонепроникність бетону визначали відповідно ДСТУ Б В.2.7-170:2008 за методом "мокрої плями", морозостійкість на зразках кубах $10 \times 10 \times 10$ см за другим методом згідно ДСТУ Б.В.2.7-49-96.

Основні дослідження проводились за допомогою методу математичного планування експерименту із статистичною обробкою отриманих даних, побудовою експериментально-статистичних моделей та їх аналізом.

У третьому розділі розглянуто особливості структуроутворення цементного каменю, наповненого дисперсними кам'яними частинками.

Виконані дослідження кінетики зміни структурно-механічних і реологічних властивостей цементних паст із застосуванням частинок $<0,16$ гранітного відсіву з $S_{\text{піт}}=2300 \text{ см}^2/\text{г}$ та аспіраційного пилу.

Вихідними параметрами були: в'язкість гранично зруйнованої структури η , $\text{Па}\cdot\text{s}$; гранична напруга зсуву τ , Па ; динамічна віброп'язкість η_v , $\text{Па}\cdot\text{s}$.

Зі збільшенням концентрації аспіраційного пилу і гранітних частинок $<0,16$ мм має місце значний ріст граничного напруження зсуву τ і віброп'язкості η_v .

При збільшенні ступеня наповнення гранітними частинками спостерігається деяке падіння в'язкості гранично зруйнованої структури η . Така поведінка наповнених цементних паст показує, що вони мають більш виражені тиксотропні властивості.

Аналіз отриманих експериментально-статистичних моделей свідчить, що рухомість і ефективна в'язкість цементного тіста з гранітним наповнювачем перебувають у безпосередній залежності як від його кількісного вмісту, так і від дисперсності.

На збільшення рухомості цементного тіста з гранітним наповнювачем та підвищення значення його ефективної в'язкості суттєво впливає добавка ПАР.

Важливий вплив на зміну рухомості й ефективної в'язкості цементного тіста з гранітним наповнювачем (ГН) виконує відношення $B/(Ц+ГН)$, з ростом якого відбувається підвищення рухомості й зниження ефективної в'язкості.

Кінетику формування коагуляційної структури і її перехід до кристалізаційної досліджували за зміною часу проходження ультразвуку, питомою електропровідністю та зміною реологічних параметрів.

Залежності швидкості проходження ультразвукових хвиль та кінетика зміни електропровідності цементних паст, наповнених частинками $<0,16$ мм приведені на рис. 1 та рис.2.

Для складів, що не містять наповнювача, процеси формування коагуляційної сітки й кристалоутворення розпочинаються одночасно, тоді як у наповненому цементному тісті, кристалоутворення відбувається з певним уповільненням.

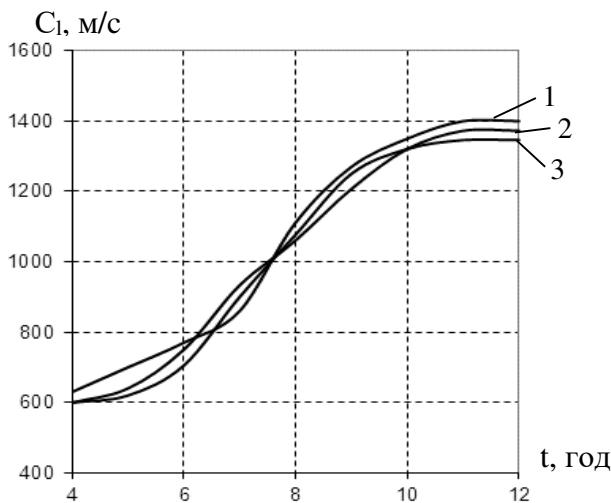


Рисунок 1. Залежність швидкості проходження поздовжніх ультразвукових хвиль (C_l) від часу твердіння цементних паст із частинками $<0,16$ мм гранітних відсівів:

- 1 – Цемент = 50%, Наповнювач = 50%, СП = 0%;
- 2 – Цемент = 100%, Наповнювач = 0%, СП = 1%;
- 3 – Цемент = 50%, Наповнювач = 50%, СП = 1%.

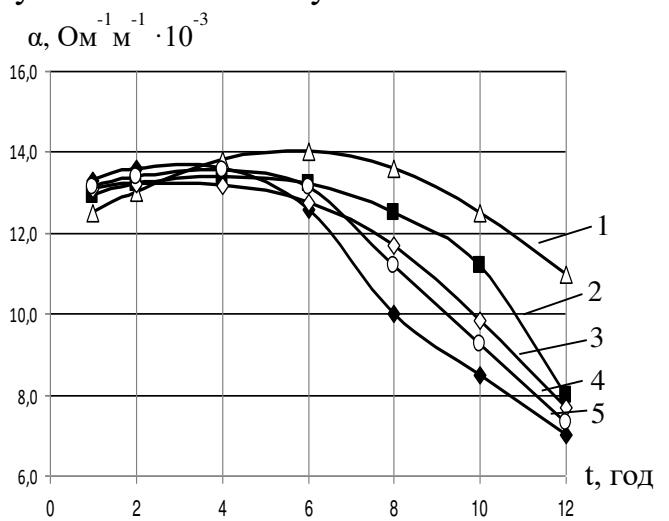


Рисунок 2. Кінетика зміни електропровідності цементних паст наповнених гранітними частинками:

- 1 – Цемент = 100%, Наповнювач = 0%, СП = 1%;
- 2 – Цемент = 50%, аспіраційний пил = 50%, СП = 1%;
- 3 – Цемент = 50%, частинки $<0,16$ мм = 50%, СП = 1%;
- 4 – Цемент = 50%, аспіраційний пил = 50%, СП = 0%;
- 5 – Цемент = 50%, частинки $<0,16$ мм = 50%, СП = 0%.

Як показали отримані результати ступінь гідратації цементу знаходилась у межах від 45 до 76% (рис. 3). Введення гранітного наповнювача сприяє підвищенню показника α . Це особливо помітно у початкові терміни твердіння цементного каменю.

Композиція, що містить полікарбоксилатний суперпластифікатор гідратує у деякій мірі повільніше, що найбільш ймовірно викликано нижчим водовмістом цементного тіста внаслідок високого водоредукуючого ефекту добавки. Адсорбційна плівка, утворена суперпластифікатором, є досить проникною для молекул води і не створює суттєвих перешкод для гідратації цементу та утворення міцної структури цементного каменю.

Зі ступенем гідратації цементного каменю однозначно пов'язана його міцність.

Як видно з отриманих даних введення гранітного наповнювача в цементне тісто зменшує об'єм умовно-замкнених пор.

Електронно-мікроскопічний аналіз показав, що цементний камінь, наповнений гранітними частинками $<0,16$ мм характеризується більш однорідною структурою.

Введення суперпластифікатора спричиняє утворення більш щільної, злитної структури цементного каменю, що є причиною зниженого водопоглинання і максимальної міцності при стиску. Така структура цементного каменю може бути основою для отримання високоміцного бетону при умові забезпечення

оптимального співвідношення між складовими, щільного каркасу заповнювача та максимального ущільнення.

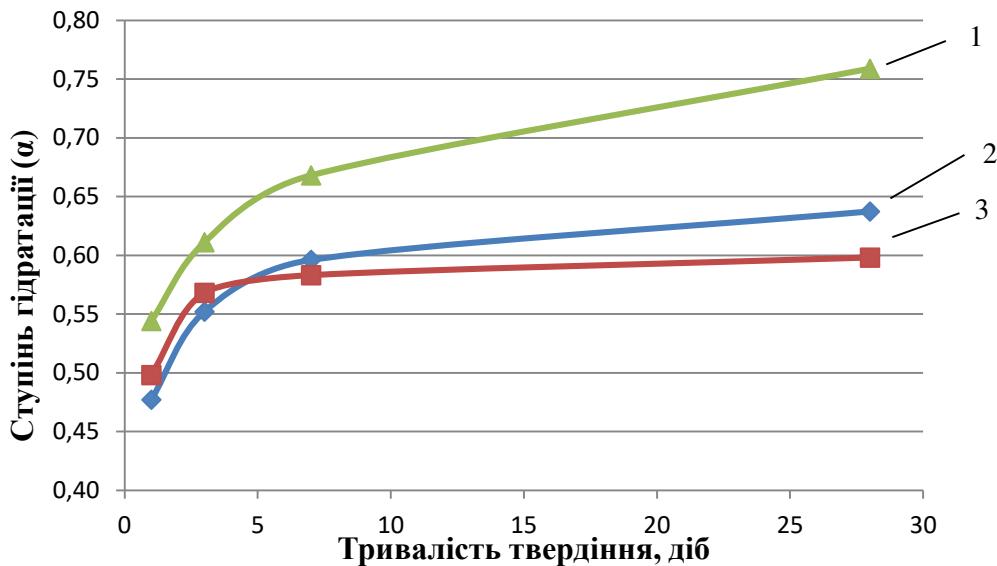


Рисунок 3. Вплив гранітного наповнювача на кінетику гідратації цементного каменю.

1 – цемент : наповнювач (1:1) + суперпластифікатор Melflux 2141f, 0,5% від цементу

2 – цемент

3 – цемент : наповнювач (1:1)

У четвертому розділі наведені результати впливу гранітних відсівів на властивості бетонних сумішей.

Для дослідження впливу гранітних відсівів, які містять значну кількість частинок розміром $<0,16$ мм та їх дисперсності на властивості бетонної суміші та встановлення відповідних кількісних залежностей були проведені експерименти за планом В4 згідно умов планування наведених у табл. 1.

Таблиця 1 – Умови планування експериментів

Фактори варіювання		Рівні варіювання		
Натуральні значення	Кодовані значення	-1	0	+1
Вміст фракції відсіву $\leq 0,16$ (m _n), %	X ₁	0	10	20
Витрата цементу (Π), кг/м ³	X ₂	400	450	500
Витрата добавки суперпластифікатора Melflux 2651f, %	X ₃	0	0,5	1
Питома поверхня частинок $<0,16$ мм, S _{0,16} , см ² /г	X ₄	2300	3500	4700

Осадка конуса у всіх точках плану підтримувалась постійною (20...25 см) за рахунок відповідної зміни дозування полікарбоксилатного суперпластифікатора Melflux 2651f.

Для оцінки життєздатності бетонної суміші замірювали зміну осадки конуса (ΔOK) для кожного з випробувальних складів бетонної суміші через 2 год. Для оцінювання розшаруваності бетонної суміші замірювали кут внутрішнього тертя $\text{tg}\varphi$:

$$tg\varphi = \frac{30-\text{OK}}{0,5 \cdot D_p}, \quad (1)$$

де ОК – осадка конуса, см, D_p – розплив стандартного конуса, см.

Відповідні експериментально-статистичні моделі з довірчою ймовірністю 95% наведені в табл. 2.

Таблиця 2 – Експериментально-статистичні моделі властивостей бетонних сумішей на гранітному відсіві

Параметр	Рівняння регресії
В/Ц	$0,51 - 0,002x_1 - 0,058x_2 - 0,102x_3 + 0,1x_4 + 0,003x_1^2 + 0,023x_2^2 + 0,073x_3^2 + 0,04x_4^2 + 0,003x_1x_2 - 0,003x_1x_3 - 0,02x_1x_4 + 0,01x_2x_3 - 0,06x_2x_4 - 0,01x_3x_4 \quad (2)$
$tg\varphi$	$0,35 - 0,054x_1 - 0,05x_2 - 0,14x_3 - 0,06x_4 - 0,004x_1^2 + 0,018x_2^2 + 0,093x_3^2 - 0,003x_4^2 - 0,002x_1x_2 + 0,001x_1x_3 + 0,001x_1x_4 + 0,01x_2x_3 + 0,01x_2x_4 + 0,003x_3x_4 \quad (3)$
ΔOK	$2,6 - 0,9x_1 + 0,4x_2 - 1,1x_3 - 0,4x_4 - 0,58x_1^2 + 0,91x_2^2 + 0,41x_3^2 - 0,26x_4^2 - 0,25x_1x_3 - 0,2x_1x_4 - 0,26x_3x_4 \quad (4)$

Як показує аналіз моделі (1) збільшення вмісту пилуватої фракції $\leq 0,16$ мм від 0 до 20% без введення пластифікуючої добавки призводить до суттєвого зростання необхідного В/Ц для забезпечення необхідної осадки конуса бетонної суміші. Введення 0,5% суперпластифікатора від маси цементу дозволило нівелювати негативний вплив пилуватої фракції $\leq 0,16$ і практично не вплинуло на зміну В/Ц. При збільшенні витрати добавки до 1% від маси цементу при максимальному вмісті пилуватої фракції спостерігається зниження В/Ц на 20% у порівняні із вдвічі меншою витратою суперпластифікатора і без введення пилуватої фракції.

Як видно з отриманого рівняння (2) усі досліджувані фактори спричиняють суттєвий вплив на зниження розшарування. При цьому максимальний позитивний ефект викликає одночасне збільшення вмісту пилуватої фракції $\leq 0,16$ мм (X_1) та цементу (X_2) за умови введення добавки суперпластифікатора (X_3) від 0,5 до 1% від маси цементу.

Завдяки спільному введенню суперпластифікатора та пилуватої фракції $\leq 0,16$ мм втрата рухомості протягом 2-х год є незначною, це обумовлено сповільненням процесів початкового структуроутворення.

Підвищення дисперсності гранітного пилу робить бетонну суміш більш в'язкою і тому суттєво знижує її розшарування. Поряд з цим така підвищена в'язкість викликає значно швидшу втрату «життєздатності» суміші, що викликає необхідність підвищення кількості добавки суперпластифікатора.

В даному розділі роботи наведено результати експериментальних досліджень щодо розробки складу комплексних добавок на основі ефірів полікарбоксилату та пластифікаторів інших типів, котрі повинні характеризуватися високим пластифікуючим та водоредукуючим ефектом і забезпечувати високу значення міцності при низькій вартості.

З цією метою були реалізовані алгоритмізовані експерименти за планом «склад-технологія-властивість». Згідно плану варіювалися фактори:

- V_1 - вміст пластифікатора ЛСТМ (0...0,5%);
- V_2 - вміст суперпластифікатора С-3 (0...0,5%);
- V_3 - вміст суперпластифікатора Melflux (0...0,5%);
- X_1 - вміст частинок менших 0,16 мм (0...20% від маси відсіву);
- X_2 - водоцементне відношення (0,35...0,55)

Після проведення статистичного аналізу експериментальних даних отримані математичні моделі осадки конуса бетонної суміші (ОК), пластифікуючого ефекту (ПЕ) та водоредукуючого (ВРЕ) ефекту впливу добавок у вигляді поліноміальних рівнянь регресії типу:

$$y = A_1V_1 + A_2V_2 + A_3V_3 + A_{12}V_1V_2 + A_{13}V_1V_3 + A_{23}V_2V_3 + (Ab)_{11}V_1V_1 + (Ab)_{12}V_1V_2 + (Ab)_{21}V_2V_1 + (Ab)_{22}V_2x_2 + (Ab)_{31}V_3x_1 + (Ab)_{32}V_3x_2 + b_{12}x_1x_2 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 \quad (5)$$

Коефіцієнти отриманих математичних моделей виду (4) наведені в табл.3.

Таблиця 3 – Коефіцієнти математичних моделей рухомості бетонної суміші (ОК), пластифікуючого (ПЕ) і водоредукуючого (ВРЕ) ефектів добавок.

Коефіцієнти	Вихідні параметри			Коефіцієнти	Вихідні параметри	
	ОК, см	ПЕ, %	ВРЕ, %		ОК, см	ПЕ, %
A_1	11,26	6	15,3	$(Ab)_{21}$	-4,64	-22
A_2	6,87	3	15,2	$(Ab)_{22}$	6,12	8
A_3	16,29	37	31,3	$(Ab)_{31}$	-0,53	-6
A_{12}	-11,99	-46	17,4	$(Ab)_{32}$	5,59	5
A_{13}	10,96	88	37,4	b_{12}	-1,38	-9
A_{23}	3,47	0	20	b_{11}	-0,48	3
A_{123}	-	-	41,8	b_{22}	3,23	23
$(Ab)_{11}$	-0,79	-5	-			
$(Ab)_{12}$	7,25	9	-			

Максимальний пластифікуючий ефект спостерігався при поєданні пластифікатора ЛСТМ з суперпластифікатором Melflux в одинакових співвідношеннях. В даному випадку ПЕ знаходився в межах 52...82%, що наближається до ефекту отриманому при індивідуальному введенні добавки Melflux. Комплексна добавка Melflux і С-3 призводить до зниження ПЕ до 35...68%. Найнижче значення пластифікуючого ефекту отримали при поєданні пластифікатора ЛСТМ і суперпластифікатора С-3.

Водоредукуючий ефект досліджених комплексних добавок змінювався в межах 13...28% (рис. 4). На величину водоредукуючого ефекту найбільший вплив становить тип пластифікуючої добавки. Найкращий водоредукуючий ефект показала добавка на основі полікарбоксилатного ефіру (25...30%) нижчий ВРЕ - добавки на основі лігносульфонату і нафталінформальдегіду (10...15%). При оцінці спільного впливу добавок різного типу найкращий ВРЕ спостерігається при поєданні суперпластифікатора Melflux і пластифікатора ЛСТМ в одинакових співвідношеннях.

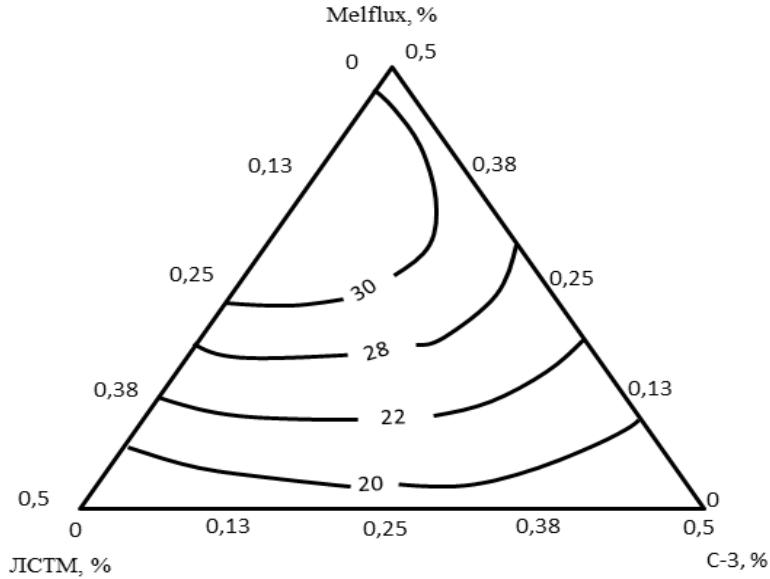


Рисунок 4. Комплексний вплив добавок на ВРЕ

У п'ятому розділі наведено результати експериментальних досліджень щодо оцінювання впливу складів бетонних сумішей на міцнісні характеристики дрібнозернистого бетону при застосуванні гранітних відсівів.

На першому етапі даних досліджень за допомогою відповідних експериментально-статистичних моделей (табл. 4) оцінювали вплив на міцність бетону при стиску у віці 28 діб f_{cm}^{28} та при згині $f_{c.t.f}^{28}$, витрати цементу ($x_1 = 200 \dots 500$ кг/м³), та суперпластифікатора ($x_2 = 0 \dots 1,2\%$ від маси цементу), вмісту дисперсних частинок ($x_3 = 0 \dots 24\%$), питомої поверхні частинок <0,16 мм ($x_4 = 2300 \dots 4700$ см²/г).

Таблиця 4 – Експериментально-статистичні моделі властивостей бетонних сумішей та бетонів на гранітному відсіві

Параметр	Рівняння регресії
В/Ц	$0,62 - 0,28x_1 - 0,07x_2 + 0,17x_3 + 0,09x_4 + 0,11x_1^2 + 0,02x_2^2 - 0,04x_3^2 + 0,04x_4^2 + 0,005x_1x_2 - 0,11x_1x_3 - 0,08x_1x_4 - 0,05x_2x_3 - 0,01x_2x_4 - 0,06x_3x_4$ (6)
ρ_0	$2,12 + 0,09x_1 + 0,01x_2 + 0,07x_3 + 0,01x_4 + 0,13x_1^2 - 0,04x_2^2 - 0,06x_3^2 - 0,02x_4^2 - 0,01x_1x_2 - 0,03x_1x_3 - 0,01x_1x_4 + 0,05x_2x_3 - 0,02x_2x_4 + 0,02x_3x_4$ (7)
f_{cm}^{28}	$33,9 + 9,94x_1 + 2,71x_2 + 2,78x_3 - 0,06x_4 - 4,4x_1^2 - 2,15x_2^2 - 5,06x_3^2 - 4,61x_4^2 + 1,59x_1x_2 - 1,4x_1x_3 - 0,82x_1x_4 + 1,99x_2x_3 + 0,27x_2x_4 - 0,5x_3x_4$ (8)
$f_{c.t.f}^{28}$	$8,9 + 2,62x_1 + 0,99x_2 + 0,3x_3 - 0,11x_4 - 1,65x_1^2 - 0,39x_2^2 - 0,544x_3^2 + 0,05x_4^2 + 0,52x_1x_2 + 0,19x_1x_3 - 0,18x_1x_4 + 0,8x_2x_3 + 0,05x_2x_4 - 0,14x_3x_4$ (9)

Водопотребу бетонної суміші оцінювали за В/Ц до досягнення сумішшю розпливу конуса 180 мм (ОК = 20...25).

Графічний аналіз впливу вмісту дисперсних частинок, що входять до складу відсіву та суперпластифікатора при стиску та згині у віці 28 діб наведені на рис. 5 та рис.6.

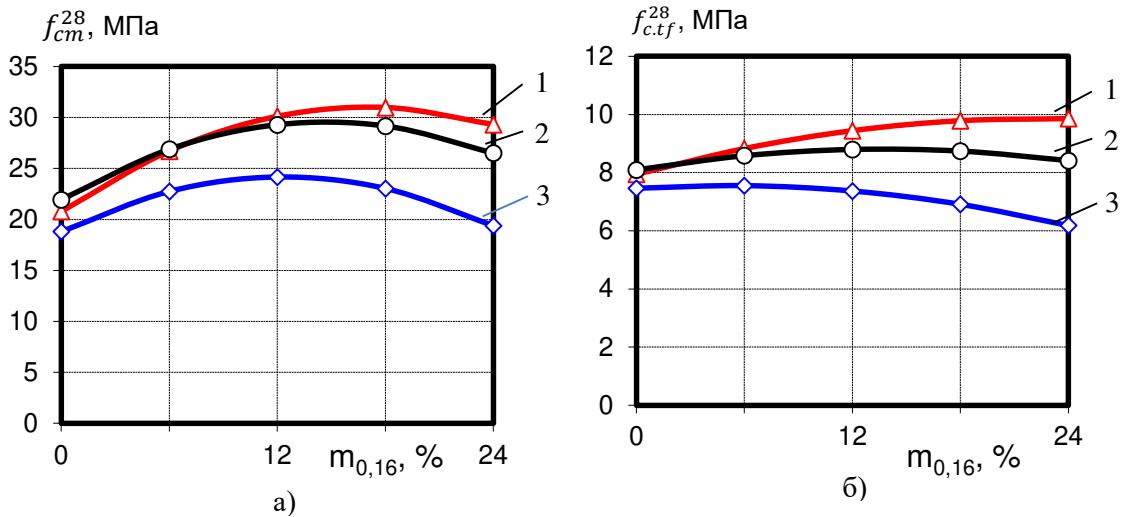


Рисунок 5. Вплив вмісту дисперсних частинок та суперпластифікатора на міцність ДЗБ у віці 28 діб.

а) при стиску; б) при згині.

1 – СП-1 = 1.2%; 2 – СП-1 = 0,6%; 3 – СП-1 = 0%

Аналіз моделей приведених в табл. 4 свідчать, що незбагачені гранітні відсіви, внаслідок підвищеного вмісту пиловидних частинок та підвищеної пустотності, не можуть забезпечити отримання дрібнозернистих бетонів підвищеної міцності навіть при нейтралізації пилуватих частинок за рахунок використання суперпластифікаторів.

У зв'язку із цим були проведені експериментальні дослідження впливу зернового складу відсівів в поєднанні з добавкою суперпластифікатором на міцність дрібнозернистого бетону.

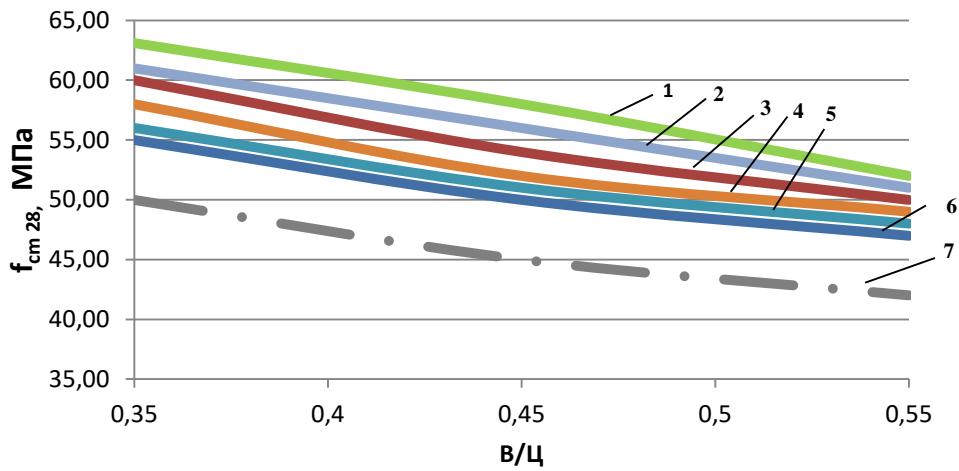


Рисунок 6 – Вплив добавок при їх загальному вмісті 0,5% від маси цементу на міцність при стиску (f_{cm}^{28}) у віці 28 діб. (з врахуванням водоредукуючого ефекту)

1- Melflux; 2 - C-3+Melflux; 3 - C-3; 4 - LSTM+Melflux; 5 - LSTM+C-3; 6 - LSTM; 7 - бетон без добавок, (в комплексних добавках компоненти прийняті в рівних масових співвідношеннях)

Відсів був розділений на 3 основні фракції, залежно від вмісту яких, а також вмісту суперпластифікатора і витрати цементу за планом «суміш-технологія»-

властивість» після реалізації логарифмічних експериментів були отримані моделі міцності на стиск та необхідного В/Ц для забезпечення постійної рухомості. Вплив зернового складу відсівів на міцність, в основному, узгоджується зі впливом його складових на водопотребу: область максимальної міцності 45...50 МПа практично співпадає з мінімумом В/Ц (2,5...10 мм – 45...55%; 0,63...2,5 мм – 25...40%; 0...0,63 мм – 20...35%). При підвищенні вмісту суперпластифікатора знижується негативний вплив дисперсних частинок і збільшується поріг їх корисної кількості. Це призводить до висновку, що для дослідження максимальної міцності бетонів з застосуванням відсівів необхідно коректувати їх зерновий склад.

Отримані бетони характеризувались досить високими значеннями міцності при згині (при деяких співвідношеннях факторів - до 12 МПа), що пов'язане з особливостями структури дрібнозернистих бетонів, для яких зазвичай співвідношення між міцністю при стиску та при згині вище ніж для звичайних бетонів внаслідок більшої однорідності. Також підвищена міцність при згині викликана особливістю гранітних відсівів, для яких характерна наявність зерен лещадної і голчатої форми, котрі можуть проявляти наявних армуючий ефект.

Оптимум гранулометричного складу гранітного заповнювача, котрий забезпечує максимальну міцність ДЗБ при згині зміщений стосовно оптимуму з позиції найбільшої міцності при стиску в сторону більшого вмісту зерен середніх та дрібних фракцій, котрі забезпечують більшу однорідність бетону.

Додатково поряд з впливом зернового складу гранітних відсівів оцінювали ефективність введення в дрібнозернисту бетонну суміш крім суперпластифікатора добавки метакаоліну. Аналіз відповідних кількісних залежностей дозволяє стверджувати, що метакаолін, внаслідок високої дисперсності і пуздоланової активності, забезпечує більшу ефективність ніж гранітний пил. Підвищення міцності дрібнозернистого бетону за рахунок метакаоліну становить (35...38)%, що узгоджується з відомими даними. Як і для пилуватої фракції відсівів, ефективність введення метакаоліну суттєво зростає при веденні суперпластифікатора, хоча підвищення міцності до (8...10%) спостерігається і для непластифікованих сумішей.

Для проявлення максимального ефекту метакаоліну при отриманні високоміцного дрібнозернистого бетону на гранітних відсівах необхідно, щоб вміст частинок <0,16 мм у відсівах не перевищував (4...5)%, що, узгоджується з вимогами чинного національного стандарту.

Позитивний вплив комплексних добавок на міцність бетону, як свідчить рис.6, визначається їх водоредукуючим ефектом.

Приріст міцності подвійних комплексних добавок С-3 і Melflux, а також потрійних в системі ЛСТМ, С-3, Melflux наближається до приросту міцності отриманого при окремому введенні добавки Melflux.

Визначення оптимальних складів комплексної добавки залежить від конкретних умов оптимізації. Такими умовами можуть бути: наприклад, забезпечення максимальної міцності бетону в 1 добу при постійній рухомості бетонної суміші або забезпечення максимальної рухомості бетонної суміші без зниження ранньої міцності, та інші.

У шостому розділі приведені дослідження властивостей, що поряд з міцністю визначають довговічність високоміцного дрібнозернистого бетону з застосуванням

гранітних відсівів. Пропонується також методика проектування складів бетонів з заданими властивостями.

Комплекс властивостей, що визначають довговічність бетону, значною мірою визначається особливостями структури його порового простору. Аналіз експериментально-статистичних моделей показує, що при оптимальному вмісті цементу та при збільшенні пилуватої фракції до 20% зменшується показник (λ) з 0,7 до 0,49, а при введенні додатково суперпластифікатора до 0,38. Дещо в меншій мірі фракція $<0,16$ мм впливає на однорідність капілярних пор, показник (a) змінюється в межах від 0,3 до 0,41.

При введенні добавки суперпластифікатора полікарбоксилатного типу в бетони на гранітних відсівах спостерігається суттєве підвищення морозостійкості, що обумовлене перерозподілом пористості та зменшення середнього розміру пор. При збільшенні вмісту фракції $\leq 0,16$ мм у складі гранітних відсівів та введення додатково суперпластифікатора дозволяє суттєво підвищити морозостійкість бетону і довести його значення до F400...500.

Зменшення об'єму відкритих капілярних пор також дозволяє нівелювати негативний вплив пиловидної фракції на водопотребу бетону.

Отриманий комплекс експериментально-статистичних моделей дозволив запропонувати методику розрахунку складів високоміцних дрібнозернистих бетонів з використанням в якості заповнювачів гранітних відсівів.

Для розрахунку Ц/В, що забезпечує задану границю міцності бетону при стиску рекомендовано використовувати формулу міцності бетону з врахуванням так званого «приведеного» Ц/В:

$$R_6 = AR_{\text{ц}} \left(\left(\frac{\Pi}{B} \right)_{\text{пп}} - b \right), \quad (10)$$

$$\left(\frac{\Pi}{B} \right)_{\text{пп}} = \frac{\Pi + K_{\text{ц.е}} H}{B}, \quad (11)$$

де $\left(\frac{\Pi}{B} \right)_{\text{пп}}$ - приведене Ц/В, Н – вміст дисперсного наповнювача (фракція $\leq 0,16$ мм, $K_{\text{ц.е}}$ – коефіцієнт цементуючої ефективності наповнювача.

Аналіз отриманих експериментальних результатів дозволив рекомендувати усереднені значення коефіцієнтів А ($A=0,52\dots 0,4$) і b ($b=0,65$), та $K_{\text{ц.е}}$ значення якого наведені в табл. 5.

Таблиця 5 – Значення $K_{\text{ц.е}}$ метакаоліну і фракція $<0,16$ мм при використанні полікарбоксилатного суперпластифікатора

Вміст суперпластифікатора Melflux 2651F, %	Коефіцієнт цементуючої ефективності мінеральних наповнювачів	
	фракція $<0,16$ мм	метакаолін
0	-0,08	0,12
0,35	0,11	3,22
0,7	0,58	5,89

Для визначення витрати води в бетонних сумішах з ОК = 15...21 см, залежно від впливу добавок суперпластифікаторів, активної мінеральної добавки та частинок $\leq 0,16$ мм побудована номограма.

Враховуючи крім показників міцності бетону також інші його властивості, такі як морозостійкість та водонепроникність, можливо оцінити за допомогою відповідних експериментально-статистичних моделей необхідний склад бетонних сумішей та морозостійкості. Для спрощення розрахунків за моделями побудована відповідна номограма.

ВИСНОВКИ

В дисертаційній роботі вирішено науково-прикладну задачу щодо отримання оптимальних технологічних параметрів виготовлення високоміцних дрібнозернистих бетонів з використанням в якості основного заповнювача відсівів подрібнення граніту та розроблено методику проектування складів високоміцних дрібнозернистих бетонів з комплексом заданих властивостей. Основними висновками, які відображають результати дисертаційної роботи, є наступні:

1. Дисперсні гранітні частинки гранітних відсівів суттєво впливають на реологічні показники цементних паст та їх зміну в часі на початкових стадіях твердіння. Встановлено, що загальний характер зміни віброс'язкості, напруження зсуву та в'язкості гранично зруйнованої структури цементного тіста різними наповнювачами близький до експоненційної залежності. Збільшення кількості та дисперсності гранітного наповнювача викликає погіршення його реологічних показників і вимагає значно більшого пластифікуючого ефекту суперпластифікатора.

Отримані математичні моделі реологічних параметрів наповненого цементного тіста, що дозволяють враховувати вплив кількості та дисперсності гранітного наповнювача, а також вміст суперпластифікатора.

2. Встановлено, що частинки відсівів менше 0,16 мм можуть проявляти структуроутворючу дію на цементний камінь, як дисперсний мінеральний наповнювач і сприяти покращенню експлуатаційних властивостей бетону, при умові нейтралізації негативного їх впливу на водопотребу за рахунок використання ефективних добавок-суперпластифікаторів.

Введення гранітних частинок в присутності суперпластифікатора полікарбоксилатного типу однозначно сприяє підвищенню ступеня гідратації цементного каменю та його міцності, особливо у ранні терміни твердіння. При цьому досягається мінімальний показник розміру пор λ та максимальна однорідність пор.

3. Збільшення вмісту пилуватих частинок відсівів та їх дисперсності у дрібнозернистих бетонних сумішах з гранітними відсівами в якості основного заповнювача викликає суттєве зниження їх рухомості. Підвищення водоредукуючої дії суперпластифікатора робить негативний вплив дисперсних частинок практично непомітним. Використання гранітного відсіву з підвищеним вмістом пилуватих частинок дозволяє отримати високорухомі бетонні суміші з $OK = 20...22$ см без ознак розшарування. Збільшення вмісту добавки-суперпластифікатора полікарбоксилатного типу при зростанні вмісту пилуватих частинок відсівів та їх

дисперсності дозволяє забезпечити «життєздатність» бетонної суміші в межах, встановлених нормативними документами.

4. Виконані дослідження показали можливість раціонального поєднання суперпластифікаторів полікарбоксилатного типу з пластифікуючими добавками інших видів і створення ефективних комплексних добавок, що характеризуються високими пластифікуючим та водоредукуючим ефектами. Аналіз поліноміальних моделей отриманих з допомогою планів «склад-технологія-властивості» дозволяє виконати необхідні розрахунки для оптимізації складів комплексних добавок і знаходження основних параметрів складів бетонних сумішей з їх застосуванням.

5. Фракціонування та оптимізація фракційного складу гранітного відсіву дозволяє забезпечити максимальну щільність заповнювача і забезпечити максимальну міцність бетону. Введення добавки суперпластифікатора дозволяє максимально використати найбільшу дисперсну складову відсіву, яка є найдешевшою і незатребуваною. Встановлено оптимальний зерновий склад відсіву для дрібнозернистого бетону різних класів при використанні суперпластифікаторів.

6. Доведено, що за рахунок використання полікарбоксилатного суперпластифікатора Melflux 2651f з найбільшим пластифікуючим ефектом та заповнювача з оптимізованим гранулометричним складом дозволяє досягти значення В/Ц близько 0,3...0,35, що забезпечує отримання міцності 60...65 МПа. Комплексний вплив полікарбоксилатного суперпластифікатора, пилуватої фракції гранітного відсіву та активної алюмосилікатної добавки метакаоліну дозволяє отримати дрібнозернистий бетон з міцністю при стиску у віці 28 діб 70...75 МПа.

7. Отримано математичні моделі комплексного впливу пластифікуючих добавок різних типів на міцність дрібнозернистого бетону на гранітних відсівах у різному віці (12 год., 1 доба, 7 та 28 діб), що дозволяють проектувати склад комплексної добавки, відповідно встановлених критеріїв оптимізації. Розроблено розрахункові формули для вибору Ц/В при проектуванні складів бетонної суміші з комплексними добавками та визначено коефіцієнти рівняння міцності для різних співвідношень добавок.

8. Встановлено, що підвищення вмісту фракції відсіву менше 0,16 мм при умові використання суперпластифікатора знижує водопоглинання на 40...50%, показник розміру пор - від 0,7 до 0,38, а показник однорідності пор - від 0,3 до 0,41. При цьому морозостійкість ДЗБ підвищується до 500...550 циклів, а водонепроникність - до W8...W10.

9. Розроблено спосіб проектування складу високоміцного дрібнозернистого бетону на гранітних відсівах, який дозволяє визначати співвідношення між компонентами та необхідний вміст добавок, враховуючи необхідну міцність при стиску, морозостійкість та водонепроникність та вміст фракції менше 0,16 мм у відсівах, можливість отримання високоміцних дрібнозернистих бетонів на гранітних відсівах запропонованого оптимізованого складу підверджено випуском промислово-дослідно партії.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Дворкін Л.Й. Високоміцні швидкотверднучі бетони та фібробетони: монографія / Є.М. Бабич, В.В. Житковський, О.М. Бордюженко, С.В. Філіпчук, Д.В. Кочкарьов, І.В. Ковалик, Т.В. Ковальчук, М.М. Скрипник // Рівне: НУВГП. – 2017. – 331 с. (*Викладені основні методики отримання високоміцних дрібнозернистих бетонів на гранітних відсівах*).

2. Дворкін Л.Й. Ефективні технології бетонів та розчинів із застосуванням техногенної сировини: монографія / Л.Й. Дворкін, В.В. Житковський, В.В. Марчук, Ю.О. Степасюк, М.М. Скрипник// Рівне: НУВГП. – 2017. – 424 с. (*Викладено та експериментально доведено отримання високоміцних дрібнозернистих бетонів на гранітних відсівах з заданими характеристиками*).

Статті у наукових фахових виданнях України:

3. Дворкін Л.Й. Оптимізація зернового складу заповнювача бетоні підвищеної міцності на гранітному відсіві/ Л.Й. Дворкін, В.В. Житковський, А.Р. Разумовський, М.М. Скрипник // Вісник. ОДАБА – Одеса: ОДАБА. – 2015. – С. 66-71. (*Встановлено оптимальний зерновий склад відсіву для високоміцного дрібнозернистого бетону*).

4. Дворкін Л.Й. Комплексні пластифікуючі добавки для бетону на основі ефірів полікарбоксилату/ Дворкін Л.Й., Житковський В.В., Скрипник М.М./ Будівельні матеріали та вироби. – 2016. - №1. – С. 38-42. (*Досліджено можливість раціонального поєднання суперпластифікаторів полікарбоксилатного типу з пластифікуючими добавками інших типів і створення ефективних комплексних добавок*).

5. Дворкін Л.Й. Проектування складів комплексних пластифікуючих добавок та бетонів з їх застосуванням/ Дворкін Л.Й., Житковський В.В., Скрипник М.М./ Ресурсоекономічні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Зб. наук. пр. – Рівне: НУВГП. – 2016. – Вип. 34. – С. 36-45. (*Розроблена методика проектування складів високоміцного дрібнозернистого бетону з використанням комплексних добавок*).

6. Дворкін Л.Й. Ефективність бетонів на вітчизняному суперпластифікаторі/ Дворкін Л.Й., Житковський В.В., Скрипник М.М., Ковальчук Т.В./ Будівництво України. – 2017. - №4. – С. 10-13. (*Досліджено життєздатність бетонної суміші на полікарбоксилатних суперпластифікаторах*).

Статті у наукових періодичних виданнях іноземних держав:

7. Дворкин Л.И. Метод оптимизации составов фибробетонов/ Дворкин Л.И., Бордюженко О.М., Скрыпнык Н.М./ Технологии бетонов. – Москва, 2019. – № 3-4. – С. 40-44. (*Оптимізовано склад дрібнозернистого бетону на відсівах каменеподрібнення із використанням фібри*)

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертацій:

8. Дворкін Л.Й. Високоміцний дрібнозернистий бетон на відсівах подрібнення граніту/ Дворкін Л.Й., Житковський В.В., Скрипник М.М./ Наука та будівництво. – 2018. - №1. – С.34-42. (*Встановлено можливість отримання високорухомих бетонів при використанні гранітних відсів, що містять значну кількість пилуватих зерен*).

9. Дворкин Л.И. Оптимизация составов комплексных добавок/ Дворкин Л.И., Житковский В.В., Скрыпнык Н.М./ Бетон и железобетон в Украине. – 2017. - №1. – С. 2-8. (*Визначено оптимальний склад ефективних комплексних добавок для отримання високоміцних дрібнозернистих бетонів*).

10. Скрипник М.М. Важкий бетон із використанням кам'яних відсівів/ Дворкін Л.Й., Житковський В.В., Скрипник М.М./ Матеріали X Міжнародної науково-технічної Web-конференції «Композиційні матеріали». – Київ 2017. – С 18-23. (*Досліджено вплив гранітних відсівів на водопотребу та міцність високоміцного дрібнозернистого бетону*).

11. Скрипник М.М. Комплексні пластифікуючі добавки на основі ефірів полікарбоксилату/ Дворкін Л.Й., Житковський В.В., Скрипник М.М./ Матеріали VI Міжнародної науково-практичної конференції «Ефективні організаційно-технічні рішення та енергозберігаючі технології в будівництві». – Харків 2016. – С. 33-35. (*Оптимізовано склад комплексної добавки на основі ефірів полікарбоксилату*)

Патент:

12. Патент №109413, С04В 103/30 (2006.01) від 25.08.2016 р. Комплексна добавка для бетону/ Дворкін Л.Й., Житковський В.В., Скрипник М.М.; Заявник і патентовласник Національний університет водного господарства та природокористування.

АНОТАЦІЯ

Скрипник М.М. Високоміцний дрібнозернистий бетон із застосуванням відсівів каменеподрібнення. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.23.05 - будівельні матеріали та вироби. - Національний університет водного господарства та природокористування, Рівне - 2019.

Дисертаційна робота направлена на розробку технологій отримання високоміцних дрібнозернистих бетонів з використанням в якості основного заповнювача відсівів подрібнення граніту, що містять значну кількість фракції $\leq 0,16$ мм.

Отримано комплекс експериментально-статистичних моделей, що визначають вплив технологічних факторів на основні властивості бетонних сумішей. Встановлено технологічні параметри, що дозволяють отримати при застосуванні гранітних відсівів з оптимізованим гранулометричним складом та при введенні добавки суперпластифікатора бетони з міцністю 60...65 МПа. Експериментально доведено можливість забезпечити високі значення морозостійкості та водонепроникності бетонів на гранітних відсівах при оптимізованих умовах їх отримання.

Розроблено методику проектування складів високоміцного дрібнозернистого бетону з високою рухомістю при забезпечені комплексу нормованих властивостей.

Ключові слова: високоміцний дрібнозернистий бетон, відсів подрібнення граніту, морозостійкість, водонепроникність, суперпластифікатор.

АННОТАЦИЯ

Скрыпник Н.М. Высокопрочный мелкозернистый бетон с применением отсевов камнедробления. - На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.23.05 - строительные материалы и изделия. - Национальный университет водного хозяйства и природопользования, Ровно - 2019.

Диссертационная работа направлена на разработку технологии получения высокопрочных мелкозернистых бетонов с использованием в качестве основного заполнителя отсевов дробления гранита, содержащих значительное количество фракции $\leq 0,16$ мм.

Получен комплекс экспериментально-статистических моделей, определяющих влияние технологических факторов на основные свойства бетонных смесей, пластифицирующий и водоредуцирующий эффект добавок суперпластификаторов, а также комплексных пластифицирующих добавок. Установлены технологические параметры, позволяющие получить при применении гранитных отсевов с оптимизированным гранулометрическим составом и при введении добавки суперпластификатора бетоны с прочностью 60...65 МПа. Экспериментально доказана возможность обеспечить высокие значения морозостойкости и водонепроницаемости бетонов на гранитных отсевах при оптимизированных условиях их получения.

Разработана методика проектирования составов высокопрочного мелкозернистого бетона с высокой подвижностью при обеспечении комплекса нормируемых параметров.

Ключевые слова: высокопрочный мелкозернистый бетон, отсев дробления гранита, морозостойкость, водонепроницаемость, суперпластификатор.

ANNOTATION

Skrypnyk M.M. High-strength fine-grained concrete with the use of granite siftings. - As a manuscript.

Thesis for the degree of candidate of technical sciences in specialty 05.23.05 - building materials and products. - National University of Water Management and Natural Resources Use, Rivne - 2019.

Thesis is aimed at developing a technology for producing high-strength fine-grained concretes using granite siftings containing a significant amount of ≤ 0.16 mm particles as the main aggregate.

The results of the sedimentation analysis indicate that particles of the granite siftings less than 0.16 mm consist mainly of large particles, which can act as an inert filler of cement concrete. The content of dispersed particles, which may have a significant number of active centers, and contribute to the acceleration of nucleation of crystals (more than 40 ... 45%).

As the results showed, the degree of hydration of cement was in the range of 45 to 76%. The introduction of granite filler increases the homogeneous homogeneity of pores (α). This is especially noticeable in the initial terms of hardening of a cement stone. The composition containing the polycarboxylate superplasticizer hydrates more slowly, due to

the lower water content of the cement paste due to the high water-reducing effect of the additive. The adsorption membrane, formed by a superplasticizer, is very permeable to water molecules and does not create significant obstacles for the hydration of cement and the formation of a solid structure of cement stone.

The performed experimental studies have shown that if the polycarboxylate superplasticizer is introduced into the concrete mixture, the negative effect of the dusty fraction of withdrawal is compensated, which positively affects the basic properties of the concrete mixture and the strength of the concrete during compression, while acting microfiller. The established technological parameters allow to obtain with application of granite releases with an optimized granulometric composition and when introducing an additive of superplasticizer concrete with a strength of 60...65 MPa.

An additional introduction of the aluminosilicate additive - metakacolin can increase the compressive strength at the age of 28 days to 70...75 MPa. The analysis of the corresponding quantitative dependences suggests that metakacolin, due to high dispersion and pozzolan activity, provides greater efficiency than granite dust. The increase of the strength of fine-grained concrete at the expense of metakaolin is (35-38)%, which is consistent with known data. As for the dusty fraction of withdrawal, the effectiveness of metakolin injection significantly increases with superplasticizer administration, although an increase in strength to (8...10%) is observed for unplasticized mixtures.

It is proved that reduction of pore sizes and increase of their homogeneity due to an increase in the number of dust particles in the presence of superplasticizer content of 0,5...1% contributes to increasing the frost resistance to 500...550 cycles. The investigated concrete can be classified as elevated (F100 ... F200) and high (F400 ... F500) frost resistance classes. The increase of the fraction less than 0.16 mm in the offsets without the superplasticizer due to increased water consumption of the concrete mixture and, accordingly, the open porosity and pore size causes a decrease in water proof from W6 to W2. In the presence of an amount of 0.5-1% additive, water proof increases to W8-W10.

The method of designing the composition of high-strength fine-grained concrete on granite siftings is developed, which allows determining the relationship between the components and the required content of additives, taking into account the required compressive strength, the fraction content is less than 0.16 mm in the compartments.

The nomograms of frost resistance and waterproofness of high-strength fine-grained concrete on granite siftings have been constructed, allowing additionally to take into account these parameters when designing the composition of concrete.

The proposed technological parameters for obtaining high-strength fine-grained concrete with the use of granite siftings with an increased content of particles ≤ 0.16 mm are confirmed by the release of a experimental-industrial party.

Keywords: high-strength fine-grained concrete, granite siftings, frost resistance, waterproofing, superplasticizer.

Підписано до друку 10.09.2019 р. Формат 60×90 1/16
Папір офсетний. Друк на різографі. Гарнітура Times.
Ум. друк. арк. 0,9. Тираж 100 прим. Зам. №2019-27

*Комп'ютерний інформаційно-видавничий центр
Національного університету водного господарства та природокористування
33028, м. Рівне, вул. Соборна, 11*