

Міністерство освіти і науки України
Київський національний університет будівництва і архітектури

Каверин Костянтин Олександрович

УДК 666.973; 691.327.32

ВИСОКОМІЦНІ ЛЕГКІ БЕТОНИ НА ОСНОВІ ПОРТЛАНДЦЕМЕНТУ,
МОДИФІКОВАНОГО КОМПЛЕКСНИМИ ОРГАНО-КРЕМНЕЗЕМИСТИМИ
ДОБАВКАМИ

05.23.05 – будівельні матеріали та вироби

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Київ – 2018

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі будівельних матеріалів Київського національного університету будівництва і архітектури Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник : — доктор технічних наук, професор
Пушкарьова Катерина Костянтинівна,
Київський національний університет будівництва і
архітектури,
завідувач кафедри будівельних матеріалів

Офіційні опоненти : — доктор технічних наук, професор
Мішутін Андрій Володимирович,
Одеська державна академія будівництва та архітектури,
завідувач кафедри проектування, будівництво та
експлуатація автомобільних доріг;

— кандидат технічних наук,
Чудновський Сергій Михайлович
Науково-виробниче підприємство «МІСТІМ», м. Рівне,
директор.

Захист відбудеться 29 березня 2018 року о 15⁰⁰ год. на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.056.05 Київського національного університету будівництва і архітектури, 03680, м. Київ, Повітрофлотський проспект, 31, ауд. 466.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Київського національного університету будівництва і архітектури за адресою: 03680, м. Київ, Повітрофлотський проспект, 31 та на сайті університету knuba.edu.ua.

Автореферат розісланий «27» лютого 2018 р.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради

М.В. Суханевич

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність роботи. Як відомо, основний об'єм бетону, що використовується у монолітному будівництві, виготовляється на основі важких заповнювачів, виробництво яких потребує залучення великої кількості природних сировинних ресурсів та високих енергетичних затрат. Крім того важкі бетони мають низьке значення термічного опору і потребують обов'язкового використання мінераловатних утеплювачів. Зниження енергоємності виробництва та зменшення витрат залишається актуальною проблемою сьогодення, що стримує розвиток будівельної галузі. Одним із варіантів вирішення цієї проблеми є використання легких заповнювачів і бетонів на їх основі. Широке залучення традиційних легких бетонів до монолітного бетонування стримується їх невисокими фізико-механічними характеристиками і тому зростає інтерес до розробки високоміцних легких бетонів.

Перспективи застосування високоміцних легких бетонів полягають у виготовленні виробів із залізобетону в промисловому і цивільному будівництві при зведенні багатоповерхових житлових та громадських будівель, будівництві дорожніх мостів, естакад та розв'язок, а також при зведенні споруд спеціального призначення, що обумовлено позитивними їх якостями і перевагами по відношенню до важкого бетону. Крім того, зниження маси конструктивних елементів будівель дозволяє вирішувати складні архітектурні завдання і розширює галузі застосування легких бетонів як конструкційних, так і конструкційно-теплоізоляційних матеріалів.

Основними передумовами синтезу міцності і довговічності високоміцних легких бетонів залишається модифікація цементної матриці. В останні роки це зазвичай досягається застосуванням різних комплексних добавок, модифікуючих як в'язучу речовину, так і бетонну суміш.

У зв'язку з цим розробка ефективних високоміцних легких керамзитобетонів, модифікованих комплексними органо-мінеральними добавками, є актуальною задачею. Врахування основних вимог до таких добавок, а саме: сумісність складових між собою, доступність на ринку України та відповідне технічне і економічне обґрунтування їх застосування, дозволить підвищити ефективність використання портландцементу. В той же час впровадження модифікованих високоміцних легких керамзитобетонів у каркасно-монолітне будівництво потребує дослідження особливостей структуроутворення такого бетону з урахуванням впливу сумісності дії кремнеземистих добавок різної природи з органічними добавками. Вирішенню цих питань присвячується ця дисертаційна робота, тема якої є актуальною, виходячи з наведеного обґрунтування.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконувалась на кафедрі будівельних матеріалів Київського національного університету будівництва і архітектури у рамках науково-пошукової роботи Міністерства освіти і науки України №ЗПБ-2015 (2015-2017 рр.) «Фізико-хімічні основи регулювання складу, структури та властивостей легких високоміцних бетонів на основі модифікованого портландцементу» (№ державної реєстрації 0115 U005065). У зазначеній роботі автор виконував обов'язки виконавця.

Мета роботи і задачі дослідження. Метою дисертаційної роботи є розробка складів легких бетонних сумішей на основі портландцементу, модифікованого комплексними органо-кремнеземистими добавками, та отримання на їх основі високоміцних легких бетонів, що відрізняються високими фізико-механічними та експлуатаційними властивостями.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- провести аналіз відомих інформаційних джерел щодо впливу органічних та мінеральних добавок на властивості легких бетонних сумішей і процеси структуроутворення при твердінні бетону;
- обґрунтувати вибір та визначити властивості сировинних матеріалів, які потрібні для виконання поставленої задачі та викласти методи проведення досліджень;
- розробити склади комплексної органо-кремнеземистої добавки і дослідити сумісність дії її компонентів при введенні до складу бетонних сумішей;
- дослідити процеси структуроутворення цементних композицій, модифікованих комплексною добавкою, яка включає в себе полікарбоксилатний суперпластифікатор та кремнеземистий компонент у вигляді відходів виробництва, техногенних продуктів різних торгових марок або тонкомеленої кремнеземистої породи;
- оптимізувати склади бетонних сумішей та дослідити властивості бетонних сумішей і бетонів;
- здійснити виготовлення в промислових умовах високоміцних легких керамзитобетонів на основі портландцементу, модифікованого комплексною органо-кремнеземистою добавкою, та надати техніко-економічне обґрунтування їх ефективності.

Об'єктом досліджень є процеси структуроутворення керамзитобетонних сумішей та легких високоміцних бетонів на їх основі, отриманих з використанням портландцементу, модифікованого органо-кремнеземистими добавками.

Предметом досліджень є високоміцні легкі керамзитобетони LC 20/22... LC 50/55 (ДСТУ Б В.2.7-176:2008) на основі портландцементу, модифікованого комплексною органо-кремнеземистою добавкою.

Методи досліджень. Фізико-механічні характеристики і спеціальні властивості одержаних матеріалів вивчені із залученням традиційних методик за діючими нормативними документами та з проведенням відповідних експериментальних досліджень; процеси структуроутворення твердіючих композицій досліджені шляхом визначення реологічних властивостей за допомогою методу пластометрії та ідентифікації складу новоутворень і зміни його у часі із застосуванням сучасних методів фізико-хімічного аналізу: рентгенофазового, диференційно-термічного, електронної растрової мікроскопії.

Розрахунки і оптимізацію складів легких бетонів на основі портландцементу, модифікованого комплексною органо-кремнеземистою добавкою, проводили за допомогою двофакторного та трифакторного трирівневого математичних методів планування експерименту.

Наукова новизна одержаних результатів:

- теоретично обґрунтовано і експериментально підтверджено доцільність введення комплексної органо-кремнеземистої добавки на основі полікарбосилатного суперпластифікатора та мікрокремнезему, в тому числі тонкомеленого трепелу, до складу легких керамзитобетонних сумішей та доведено, що введення даної комплексної добавки дозволяє оптимізувати структуру високоміцного легкого керамзитобетону на нано- та мікрорівні і забезпечує підвищення міцності при стиску керамзитобетону до 60...68%, морозостійкості на 200%, водонепроникності на 37 %, корозійної стійкості на 7,5...24%, а також зменшення відносної деформації усадки на 16...19% порівняно з бездобавочним складом;
- проведеними дослідженнями показано, що за критеріями зміни міцності у часі високомолекулярна полікарбосилатна добавка «PowerFlow 3100» краще співпрацює з кремнеземистою добавкою на основі меленого трепелу, а низькомолекулярна добавка SikaPlast 555W – з технічними мікрокремнеземами (Elkem Microsilica «Grade 940-U»). Показано можливість заміни технічного мікрокремнезему на природну високодисперсну кремнеземисту добавку на основі трепелу, яка містить у своєму складі не менше 80% аморфного кремнезему;
- встановлено, що при введенні комплексної органо-кремнеземистої добавки до портландцементу має місце збільшення кількості низькоосновних гідросилікатів кальцію, а також з часом фіксуються зародки гідрогранатів та плазоліту, які є кристалохімічно подібними вищенаведеним сполукам, що в свою чергу, забезпечує отримання щільної і високоміцної структури цементного каменю;
- проведеними дослідженнями встановлено, що при введенні комплексної органо-кремнеземистої добавки спостерігається збільшення міцності контактної зони, що забезпечується щільним зчепленням та зрощуванням заповнювача з в'язучою речовиною, за рахунок проникнення її в поровий простір зерна заповнювача, внаслідок чого збільшується загальна ширина контактної зони, а мікротвердість досягає значень, які на 32% перевищують аналогічні показники для контрольного складу.

Практичне значення одержаних результатів:

- розроблені склади комплексної органо-кремнеземистої добавки, які крім полікарбосилатних суперпластифікаторів передбачають використання різних видів кремнеземистих добавок, в тому числі природних, що розширює сировинну базу та дозволяє уникнути дефіциту добавок на будівельному ринку;
- розроблені склади високоміцних легких керамзитобетонів класів LC 16/18 ... LC 50/55 (B15...B40) на основі портландцементу, модифікованого комплексною органо-кремнеземистою добавкою з покращеними експлуатаційними характеристиками, а саме з підвищеною корозійною стійкістю, водонепроникністю W8 та морозостійкістю F400;
- виконано дослідне впровадження високоміцного керамзитобетону в кількості

120 м³ при будівництві житлового комплексу "Атлант 2" та показана техніко-економічна доцільність використання розроблених матеріалів;

- теоретичні положення дисертаційної роботи та результати експериментальних досліджень і промислового впровадження використовуються у навчальному процесі Київського національного університету будівництва і архітектури при підготовці бакалаврів та магістрів при викладанні дисциплін «Будівельне матеріалознавство», «Заповнювачі для бетону», «Технологія будівельних композиційних матеріалів».

Особистий внесок здобувача полягає у виконанні експериментальних досліджень, обробці отриманих результатів та впровадженні розроблених бетонів у виробництво, що відображено у наукових працях:

- проведено дослідження та встановлено ефективність модифікації цементних матриць комплексними органо-мінеральними добавками, які можуть бути використані для отримання високоміцних легких керамзитобетонів [1];
- представлені результати дослідження кінетики зміни пластичної міцності в'язучої композиції та показників міцності цементного каменю, модифікованого комплексними органо-мінеральними добавками [2];
- досліджено вплив органо-мінеральних добавок на реологічні та фізико-механічні властивості цементного штучного каменю. Показано можливість заміни відомих силікатних добавок на більш дешеві та доступні природні або техногенні речовини [3, 13];
- досліджено вплив комплексних органо-кремнеземистих добавок на основі полікарбосилатного суперпластифікатора та кремнеземистих добавок техногенного і природного походження на кінетику нарощування міцності цементних композицій, які можуть бути використані для отримання легких, важких бетонів та бетону спеціального призначення [4];
- досліджено вплив комплексної органо-мінеральної добавки на фазовий склад цементних композицій та формування структури цементного каменю для отримання високоміцних легких керамзитобетонів [5];
- досліджено сумісність дії компонентів органо-кремнеземистої добавки та показано, що в разі отримання оптимального складу міцність цементного каменю зростає у 2...3 рази порівняно з міцністю зразків без добавок [6];
- досліджено сумісність роботи кремнеземистої добавки та полікарбосилатних суперпластифікаторів, підібрані оптимальні склади комплексної органо-мінеральної добавки [7];
- наведені результати дослідження щодо підвищення міцності керамзитобетону за рахунок ефективного використання полікарбосилатних суперпластифікаторів [15];
- встановлено ефективність модифікації цементних матриць комплексною органо-мінеральною добавкою на основі полікарбосилатного суперпластифікатора та меленого механоактивованого силікатного компонента, які можуть бути використані для легких бетонів [9];
- наведено результати дослідного впровадження для каркасно-монолітного будівництва високоміцного керамзитобетону на основі портландцементу,

- модифікованого комплексною органо-кремнеземистою добавкою [10];
- наведено результати дослідження контактної зони легкого керамзитобетону на основі портландцементу, модифікованого комплексною органо-кремнеземистою добавкою, та встановлено, що використання такої добавки сприяє збільшенню мікротвердості контактної зони «в'язуча речовина – заповнювач», що позитивно відображається на швидкості нарощування міцності легких бетонів у часі [11];
 - наведені результати дослідження експлуатаційних властивостей легкого керамзитобетону на основі портландцементу, модифікованого комплексними органо-кремнеземистими добавками, та встановлено, що використання таких добавок сприяє не тільки підвищенню міцності, але й зменшенню відносних деформацій усадки, підвищенню корозійної стійкості, морозостійкості та водонепроникності легкого бетону за рахунок зменшення відкритої пористості та направлено формування фазового складу продуктів гідратації порівняно зі зразками без добавок [12, 14].

Апробація результатів дисертації. Основні результати досліджень доповідались на міжнародній конференції «Структурообразование, прочность и разрушение композиционных строительных материалов и конструкций», присвяченій 85-річчю Одеської державної академії будівництва та архітектури (м. Одеса, 16-17 квітня 2015р.); 5-й міжнародній науково-технічній конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», (м.Харків, 23-24 квітня 2015р.); VI-й міжнародній науково-практичній конференції «Енергетичні, економічні та екологічні переваги будівництва з автоклавного газобетону» (м. Київ, 17-18 червня 2015р.); Першій Всеукраїнській науково-практичній конференції молодих вчених, аспірантів і студентів «БудМайстерКлас» (м. Київ, 26-27 листопада 2015); міжнародній науково-практичній конференції «Бетони, цементи та добавки для бетону в сучасному будівництві: актуальні питання виробництва і застосування» (м. Київ, 2-3 грудня 2015р.); науково-практичній конференції «Эффективное строительство. Объекты, технологии, конструкции и материалы» (м. Одеса, 25 лютого 2016р.); міжнародній конференції «Структурообразование, прочность и разрушение композиционных строительных материалов и конструкций», що присвячена 50-річчю будівельно-технологічного інституту та кафедри виробництва будівельних виробів і конструкцій Одеської державної академії будівництва та архітектури (м. Одеса, 14-15 квітня 2016р.); міжнародній науково-технічній конференції «Науково-технічні проблеми сучасного залізобетону» (м. Полтава, 18-20 жовтня 2017р.)

Публікації. За темою роботи опубліковано 15 друкованих робіт, в тому числі 8 – у наукових фахових виданнях України; 4 – статті у виданнях, що включені до міжнародних наукометричних баз; 3 – у матеріалах доповідей вітчизняних і міжнародних конференцій та семінарів.

Структура і обсяг дисертації. Дисертаційна робота викладена на 135 сторінках друкованого тексту основної частини, яка складається зі вступу, п'яти розділів та висновків. Повний обсяг дисертації становить 187 сторінок і включає:

39 рисунків, з них 14 рисунків на окремих 14 сторінках, 31 таблицю, з них 7 таблиць на 10 окремих сторінках, список використаних джерел із 175 найменувань на 17 сторінках та 4 додатків на 11 сторінках.

ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність дисертаційної роботи, сформульовано мету і задачі досліджень, зазначено основні положення, що отримані автором і мають наукову новизну та практичну цінність.

У першому розділі наведено огляд стану наукової проблеми з теми та визначено теоретичні передумови досліджень.

Розробка конструкційних легких бетонів здійснюється у рамках багатьох міжнародних програм (CEB/FIB, RILEM). Проблемі вдосконалення несучих конструкцій із легких бетонів присвячені міжнародні симпозиуми у Норвегії у 1995 і 2000 рр., міжнародні конгреси по бетону у Іспанії (м. Севілья, 2007р.) та у Туреччині (м. Стамбул, 2015р.).

Високоміцний легкий керамзитобетон знаходить застосування у збірному житловому, транспортному і гідротехнічному будівництві, при будівництві портових споруд, у суднобудуванні, де поряд зі зниженням маси конструкцій можуть бути використані й інші позитивні властивості керамзитобетону: підвищена морозостійкість, водонепроникність, стійкість до впливу агресивних середовищ.

У свій час дослідження у сфері легких керамзитобетонів проводили Г.А. Бужевич, А. І. Ваганов, В.М. Вировий, В. Г. Довжик, В.А. Дорф, О.Ш. Кікава, Ю.Є. Корнілович, Ю.Д. Націєвський, Л.П. Орендліхер, Т.М. Штоль, А. А. Тулаганов.

За кордоном у цьому напрямку відомі роботи Rossignolo J. A., Morais J.A., Wee Tiong-Huan, Ergul Yasar, Cengiz Duran Atis, Alaettin Kilic, Hasan Gulsen, Jamal Alduaij, Niyazi Ugur Kockal, Ozturan T., Hugo Costa, Eduardo Julio, Lourenjo J.

Як відомо, дисперсні мінеральні добавки (мікронаповнювачі) є невід'ємним компонентом сучасних бетонів, оскільки їх використання дозволяє знизити витрату цементу, підвищити густину, міцність, стійкість бетону у агресивних середовищах, а отже гарантувати їх довговічність. До позитивних результатів, які досягаються при введенні активних мінеральних добавок, також відносять зв'язування портландиту, формування низькоосновних гідросилікатів, наприклад, CSH-фази, зменшення співвідношення капілярних і гелевих мікропор у структурі бетону, інтенсифікацію процесів гідратації, регулювання температурних і об'ємних деформацій цементних композицій.

Приклади практичної реалізації добавок у технології будівельних матеріалів з використанням наномасштабних структурних елементів наведено у роботах Ю.М. Баженова, П.Г. Комохова, Ю.В. Пухаренко і ін., в яких показано значні ефекти, що досягаються введенням різних наночастинок. Основою цього напрямку є роботи В.Г. Батракова, С.С. Капрієлова, А.В. Шейнфельда, пов'язані з модифікуванням структури цементного каменю шляхом введення до складу сировинних сумішей мікрокремнезему, окремі фракції якого можуть бути класифіковані як наночастишки. Використання нано- та мікрокремнезему дозволяє

в умовах застосування добавок разом з суперпластифікатором істотно прискорювати процеси гідратації і твердіння цементу, забезпечувати високу швидкість нарощування міцності, яка на 28 добу досягає 115...150 МПа, підвищуючи міцність штучного каменю практично у 2,5 рази.

Але у той же час питання, пов'язані з вивченням заміни мікрокремнезему на його природні аналоги та дослідження сумісної дії з останнім класом суперпластифікаторів на основі полікарбонатів, поліакрилатів та їх ефірів, потребують додаткового вивчення. Також залишається відкритим питання щодо впливу комплексних органо-кремнеземистих добавок на процеси структуроутворення високоміцних легких керамзитобетонів та на їх експлуатаційні властивості.

Аналіз відомих інформаційних джерел щодо створення легких бетонів з наперед заданими властивостями дозволяє висунути **наукову гіпотезу** про можливість отримання високоміцних керамзитобетонів з покращеними експлуатаційними властивостями за рахунок регулювання структури бетону на всіх ієрархічних рівнях, в тому числі на макро- та мезорівнях — шляхом підбору гранулометричного складу заповнювача у напрямку зниження його пористості і на мікро- та нанорівнях за рахунок використання комплексної добавки на основі полікарбонатних суперпластифікаторів та мікрокремнезему (як техногенного, так і природного походження), сумісна дія яких забезпечить направлений синтез низькоосновних гідросилікатів та гідрогранатів, що будуть позитивно впливати не тільки зміцнення цементної матриці, але й контактної зони з заповнювачем.

У другому розділі наведено характеристики вихідних матеріалів та описано основні методики досліджень, які були використанні в роботі.

Як сировину використовували наступні матеріали:

- портландцемент ПЦ І-500Р-Н, що відповідає вимогам ДСТУ Б В. 2.7-46:2010 виробництва ПАТ “Подільський цемент” (с. Гуменці, Україна);
- дніпровський кварцовий пісок, згідно ДСТУ Б В.2.7-32-95, з $M_{кр} = 1,28$ (м. Київ, Україна);
- керамзитовий гравій марок 400, 500, 600 згідно з ДСТУ Б В.2.7-17-95;
- кремнеземисті добавки: побічні продукти Стаханівського феросплавного заводу ($S_{пит} = 36398 \text{ см}^2/\text{г}$), ВАТ «АрселорМіттал Кривий ріг» ($S_{пит} = 9478 \text{ см}^2/\text{г}$); продукти торгових марок Elkem Microsilica Grade 940-U ($S_{пит} = 24795 \text{ см}^2/\text{г}$) та SikaFume ($S_{пит} = 8556 \text{ см}^2/\text{г}$); тонкомелене ніздрювате скло «МНС» ($S_{пит} = 10485 \text{ см}^2/\text{г}$) та трепел Коноплянського родовища, помелений до питомої поверхні ($S_{пит} = 21997 \text{ см}^2/\text{г}$);
- полікарбонатні суперпластифікатори – “ViscoCrete-5-600UA”, “Plast 555W” (виробництва ТМ «Sika», м. Київ, Україна) та “PowerFlow 3100”, “PowerFlow 2695” (виробництва ТМ «МС-Vauchemie», м. Березань, Україна), що відповідають вимогам ДСТУ Б В.2.7-69-98, ДСТУ Б В.2.7-171:2008 (EN 934-2:2001, NEQ);
- вода питна, згідно ДСТУ Б В.2.7-273:2011.

Підбір складу легкого бетону виконували згідно з ДСТУ Б В.2.7-69-98, ДСТУ Б В.2.7-114-2002, ДСТУ Б В.2.7-176:2008, ДСТУ Б В.2.7-215:2009, а методики

дослідження властивостей бетонів з відповідними добавками наведені у відповідних розділах роботи.

Дослідження фазового складу вихідних компонентів та продуктів гідратації виконано за допомогою рентгенофазового, диференційно-термічного аналізів та інфрачервоної спектроскопії.

Рентгенофазовий аналіз проводили за порошковим методом на дифрактометрі ДРОН – 2М з мідною трубкою при напрузі 30 кВ, струмі 10...20 мА та діапазоні кутів $2\theta = 9...60^\circ$ при швидкості обертання лічильника 2° на хвилину.

ІЧ спектри були отримані на ІЧ – спектрометрі TENSOR – 37 з Фур'є перетвореннями фірми BRUKER.

Комплексний диференційно-термічний та термогравіметричний аналіз досліджуваних систем виконували на дериватографі системи Р. Паулік, І. Паулік, Л. Ердей фірми MOM (Будапешт). Нагрівання зразків до 900°C проводили зі швидкістю 10° на хвилину. Як еталон використовували прожарений технічний глинозем.

Електронно-мікроскопічні дослідження мікроструктури отриманого штучного каменю були проведені на мікроскопі РЕММА-102.

Ступінь дисперсності кремнеземистої добавки оцінено за допомогою методу лазерної дифракції на лазерному гранулометрі Mastersizer 2000 Ver. 5.60 та на приладі Блейна за ДСТУ EN 196-6:2007.

Пластичну міцність цементного тіста визначали за допомогою кінчного пластометра Ребіндера. Зразки цементного тіста зберігали за нормальних умов під час проведення експерименту при $T = 20 (\pm 2)^\circ\text{C}$ і $W = 60 (\pm 5)\%$.

Відкриту пористість цементного каменю визначали як відношення сумарного об'єму всіх пор, насичених водою, до загального об'єму матеріалу.

Тріщиностійкість цементного каменю визначали за методикою Лерміта.

Мікротвердість контактної зони “в'язуча речовина – заповнювач” високоміцних бетонів визначали із застосуванням мікротвердоміра ПМТ-3.

Підбір складу бетонних сумішей, модифікованих комплексною органо-мінеральною добавкою, виконано з використанням математичних методів планування експерименту.

Реологічні властивості бетонних сумішей визначали згідно ДСТУ Б В.2.7-114-2002, ДСТУ Б В.2.7-176:2008. Фізико-механічні властивості цементно-піщаного розчину (40 x 40 x 160 мм) та бетону (100 x 100 x 100 мм) визначали згідно ДСТУ Б В.2.7-187:2009 та ДСТУ Б В.2.7-214:2009 відповідно. Відкриту пористість, середню густину, водопоглинання та водонепроникність бетонних зразків визначали за методиками, наведеними у ДСТУ Б В.2.7-170:2009.

Оцінку довговічності легких бетонів виконано шляхом дослідження кінетики набору міцності, корозійної стійкості (ДСТУ ГОСТ 27677-2011) та морозостійкості (ДСТУ Б В.2.7-49-96).

Деформації усадки бетону визначали згідно ДСТУ Б В.2.7-216:2009. Виготовляли зразки-балочки розміром 40x40x160 мм, які витримували 24 години за нормальних умов. Вимірювання деформацій усадки проводили через 3, 7, 14, 28, 60 та 90 діб на пристрої для визначення деформацій усадки зразків з розмірами

поперечного перерізу 40×40 мм.

Теплопровідність легких бетонів визначали на спеціальній установці ИТ-7С за методикою ДСТУ Б В.2.7-105-2000.

Постановку експериментів і обробку отриманих результатів виконано з застосуванням математично-статистичних методів. Обробку результатів здійснено за допомогою програм для ПЕОМ, розроблених на кафедрі технології виробництва будівельних конструкцій і виробів Київського національного університету будівництва і архітектури.

У третьому розділі досліджено процеси структуроутворення портландцементних композицій, модифікованих як полікарбоксилатними суперпластифікаторами різних типів і марок, так і комплексними органіко-кремнеземистими добавками на їх основі. Згідно результатам ІЧ-спектроскопії використані полікарбоксилатні добавки в своїй основі мають низькомолекулярний поліетиленгліколь (ПЕГ) з молекулярною масою 400...600 од. (МС «PowerFlow 2695»); ПЕГ з молекулярною масою 1000 од. («SikaPlast555W») та високомолекулярний ПЕГ з масою 3000 од. (Sika «ViscoCrete-5-600UA», МС «PowerFlow 3100»).

Попередніми дослідженнями встановлено, що добавка полікарбоксилатних суперпластифікаторів сприяє отриманню портландцементного каменя з покращеними реологічними властивостями та підвищеними фізико-механічними властивостями, що досягаються за рахунок зміни морфології новоутворень та збільшення щільності їх упаковки, при цьому кількість портландцементу в системі залишається незмінною і з часом може впливати на розвиток різних видів корозії цементного каменя.

Для створення довговічної високоміцної матриці легкого бетону необхідним є використання не тільки вищевказаних суперпластифікаторів, але й високодисперсних кремнеземистих добавок, які будуть сприяти зв'язуванню портландиту та направленому утворенню низькоосновних гідросилікатів кальцію.

Незважаючи на відомий досвід використання пластифікуючих добавок разом з мікрокремнеземом, питання сумісності дії органічних та кремнеземистих добавок залишається відкритим і потребує систематичних досліджень, оскільки не тільки залучаються нові види суперпластифікуючих речовин, але й постійно розширюється гама кремнеземистих добавок на будівельному ринку. Однак враховуючи при виборі мікрокремнезему не тільки технічний ефект, але й економічну доцільність, постає питання щодо пошуку альтернативних видів кремнеземистих добавок, отриманих також на основі природної сировини.

Враховуючи результати попередніх досліджень, найбільш ефективними для модифікації портландцементу можна вважати суперпластифікатори «SikaPlast 555W» та МС «PowerFlow 3100». Виходячи з цього, дані суперпластифікатори були використанні надалі для перевірки їх сумісної дії з вище перерахованими кремнеземистими добавками та створення на їх основі найбільш ефективної комплексної добавки, введення якої до цементної композиції буде сприяти не тільки підвищенню міцності, але й покращенню експлуатаційних властивостей отриманого штучного каменя.

Сумісність дії складових даної комплексної добавки може проявлятися як у зміні реологічних властивостей портландцементних композицій, так і фізико-механічних властивостей штучного каменю. Результати дослідження пластичної міцності цементного тіста, модифікованого вищезазначеною комплексною добавкою, наведено у таблиці 1.

Було з'ясовано, що найнижчими показниками пластичної міцності характеризуються в'язучі речовини, що модифіковані комплексною органо-кремнеземистою добавкою на основі суперпластифікатора МС «PowerFlow 3100» в кількості 1% і «SikaPlast 555W» в кількості 1,5% (від маси в'язучої речовини) та кремнеземистих добавок в кількості 5% від маси в'язучої речовини (табл. 1, склади № 3, 7, 10, 13), при чому спостерігається плавне зменшення пластичної міцності майже до 1 кПа при загальній тривалості індукційного періоду 4...6 годин відповідно.

Тим самим підтверджується теза, що чим повільніше система набирає пластичну міцність, тим краще відбувається зростання міцності у часі отриманого штучного каменю. Вірогідно, що перехід в'язучої системи у в'язко-пластичний стан при відносно подовженому індукційному періоді створює умови для синтезу більш досконалої структури цементного каменю.

Задля оцінки ефективності дії комплексної добавки було досліджено фізико-механічні властивості штучного каменю на основі портландцементу, модифікованого комплексними органо-кремнеземистими добавками, результати випробування наведено у таблиці 2.

Загалом при дослідженні кінетики набору міцності при стиску для всіх зразків портландцементного каменю було встановлено позитивний вплив модифікації органо-кремнеземистими добавками та відмічено приріст міцності до 35% на всіх етапах твердіння, порівняно з міцністю зразків на основі лише суперпластифікаторів. Якщо ж порівнювати з міцністю контрольних зразків, то приріст міцності від використання комплексної добавки складає на ранніх етапах твердіння — 300% та 60% — на пізніх етапах твердіння.

Аналіз наведених результатів зміни міцності дозволяє зазначити, що високомолекулярна добавка МС «PowerFlow 3100» краще співпрацює з природною кремнеземистою добавкою, в тому числі з трепелом, а низькомолекулярна добавка «SikaPlast 555W» — з технічним кремнеземом, а саме Elkem Microsilica Grade 940-U.

Враховуючи реологічні властивості та кінетику нарощування міцності у часі постає питання оцінки впливу комплексної органо-кремнеземистої добавки на тріщиностійкість. Для експерименту було обрано як портландцементні композиції, модифіковані суперпластифікаторами «МС PowerFlow 3100» в кількості 1% від маси в'язучої речовини та «SikaPlast 555W» в кількості 1,5% від маси в'язучої речовини, так і комплексними органо-кремнеземистими добавками на основі вищеперерахованих суперпластифікаторів та різних типів кремнеземів.

Аналізуючи отримані дані можна зробити висновок, що присутність у складі цементних композицій як полікарбоксилатних суперпластифікаторів, так і комплексних органо-кремнеземистих добавок, позитивно впливає на їх тріщиностійкість. Найвищою тріщиностійкістю характеризуються зразки,

Таблиця 1 - Оцінка впливу комплексних органо-кремнеземистих добавок на зміну у часі пластичної міцності цементного тіста

№ складу	Цемент ПЦ І - 500Р Н, мас.%	Вид та кількість кремнеземистої добавки		Суперпластифікатор		В/Ц	Графічна інтерпретація зміни пластичної міцності у часі
		назва	мас.%	назва	мас.%		
1	2	3	4	5	6	7	8
1	100	-	-	-	-	0,3	
2	100	-	-	1	0,24		
3	95	«Elkem Microsilica Grade 940-U»	5	«МС PF 3100»	1	0,24	
4	90		10		1	0,24	
5	85	15	1		0,24		
6	100	-	-		1,5	0,24	
7	95	5	1,5	0,24			
8	90	«Elkem Microsilica Grade 940-U»	10	«SikaPlast 555w»	1,5	0,24	
9	85		15		1,5	0,24	
10	95	-	5		1	0,24	
11	90	10	1		0,24		
12	85	«Трепел»	15	«МС PF 3100»	1	0,24	
13	95		5		1,5	0,24	
14	90	10	1,5		0,24		
15	85	15	1,5		0,24		

Таблиця 2 – Визначення впливу комплексних органо-кремнеземистих добавок на кінетику зміни міцності при стиску цементного каменю у часі

№ складу	Цемент ПЦ І -500Р Н, мас. %	Вид та кількість добавки				В/Ц	Графічна інтерпретація зміни міцності при стиску у часі																																										
		мікрокремнезем		суперпластифікатор																																													
		назва	мас. %	назва	мас. %																																												
1	2	3	4	5	6	7	8																																										
1	100	-	-	-	-	0,3	<table border="1"> <caption>Дані для графіка 1: «MC PF 3100»</caption> <thead> <tr> <th>Час твердіння, дб</th> <th>15%</th> <th>10%</th> <th>5%</th> <th>0%</th> <th>Контр.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>3</td> <td>64,00</td> <td>77,70</td> <td>95,80</td> <td>68,75</td> <td>34,20</td> </tr> <tr> <td>7</td> <td>71,00</td> <td>96,50</td> <td>110,20</td> <td>71,68</td> <td>42,50</td> </tr> <tr> <td>28</td> <td>89,00</td> <td>116,80</td> <td>116,40</td> <td>87,5</td> <td>56,1</td> </tr> <tr> <td>180</td> <td>95,70</td> <td>119,50</td> <td>119,40</td> <td>87,8</td> <td>78,2</td> </tr> <tr> <td>365</td> <td>96,8</td> <td>120,4</td> <td>119,8</td> <td>91</td> <td>79,5</td> </tr> <tr> <td>730</td> <td>100,8</td> <td>127,1</td> <td>122,7</td> <td>103,2</td> <td>85,2</td> </tr> </tbody> </table>	Час твердіння, дб	15%	10%	5%	0%	Контр.	3	64,00	77,70	95,80	68,75	34,20	7	71,00	96,50	110,20	71,68	42,50	28	89,00	116,80	116,40	87,5	56,1	180	95,70	119,50	119,40	87,8	78,2	365	96,8	120,4	119,8	91	79,5	730	100,8	127,1	122,7	103,2	85,2
Час твердіння, дб	15%	10%	5%	0%	Контр.																																												
3	64,00	77,70	95,80	68,75	34,20																																												
7	71,00	96,50	110,20	71,68	42,50																																												
28	89,00	116,80	116,40	87,5	56,1																																												
180	95,70	119,50	119,40	87,8	78,2																																												
365	96,8	120,4	119,8	91	79,5																																												
730	100,8	127,1	122,7	103,2	85,2																																												
2	100	-	-	-	1	0,24																																											
3	95	«Трепел»	5	«MC PF 3100»	1	0,24																																											
4	90		10		1	0,24																																											
5	85	15	1		0,24																																												
6	100	-	-		1,5	0,24	<table border="1"> <caption>Дані для графіка 2: «SikaPlast 555w»</caption> <thead> <tr> <th>Час твердіння, дб</th> <th>15%</th> <th>10%</th> <th>5%</th> <th>0%</th> <th>Контр.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>3</td> <td>89,10</td> <td>87,00</td> <td>91,10</td> <td>58,75</td> <td>34,20</td> </tr> <tr> <td>7</td> <td>90,50</td> <td>88,70</td> <td>91,30</td> <td>64,33</td> <td>42,50</td> </tr> <tr> <td>28</td> <td>99,70</td> <td>99,60</td> <td>110,40</td> <td>100,9</td> <td>56,1</td> </tr> <tr> <td>180</td> <td>103,10</td> <td>101,80</td> <td>112,00</td> <td>101,5</td> <td>78,2</td> </tr> <tr> <td>365</td> <td>116,5</td> <td>107,7</td> <td>120,8</td> <td>100,8</td> <td>79,5</td> </tr> <tr> <td>730</td> <td>114,2</td> <td>123,5</td> <td>136,8</td> <td>112,1</td> <td>85,2</td> </tr> </tbody> </table>	Час твердіння, дб	15%	10%	5%	0%	Контр.	3	89,10	87,00	91,10	58,75	34,20	7	90,50	88,70	91,30	64,33	42,50	28	99,70	99,60	110,40	100,9	56,1	180	103,10	101,80	112,00	101,5	78,2	365	116,5	107,7	120,8	100,8	79,5	730	114,2	123,5	136,8	112,1	85,2
Час твердіння, дб	15%	10%	5%	0%	Контр.																																												
3	89,10	87,00	91,10	58,75	34,20																																												
7	90,50	88,70	91,30	64,33	42,50																																												
28	99,70	99,60	110,40	100,9	56,1																																												
180	103,10	101,80	112,00	101,5	78,2																																												
365	116,5	107,7	120,8	100,8	79,5																																												
730	114,2	123,5	136,8	112,1	85,2																																												
7	95	5	1,5	0,24																																													
8	90	10	1,5	0,24																																													
9	85	«Трепел»	15	«SikaPlast 555w»	1,5	0,24																																											

виготовлені з додаванням комплексної добавки на основі полікарбоксилатного суперпластифікатора «MC PowerFlow 3100» та трепелу в кількості 10% від маси в'язучої речовини, тріщина в яких виникає в середньому на 2 години пізніше, ніж у зразках контрольного складу.

З метою встановлення впливу комплексної добавки на фазовий склад новоутворень, було досліджено процеси гідратації таких композицій. Порівняння отриманих рентгенограм та термограм дозволяє відмітити подібність новоутворень незалежно від виду використаних кремнеземистих добавок.

Згідно отриманим даним (рис. 1) на фотографіях сколу зразків фіксується утворення великої кількості модифікованих голкоподібних гідросилікатів кальцію довжиною 5...20 мкм, що відносяться до типу CSH (I) та тобермориту 11,3Å, також видно, що крім голкоподібних гідросилікатів кальцію фіксуються кристали кубічної

форми з довжиною ребра 2...3 мкм, що відповідають, вірогідно, гідрогранатам.

Таким чином при твердінні портландцементу, модифікованого комплексною добавкою, за рахунок зниження В/Ц, в стиснутих умовах має місце направлений синтез кристалохімічно подібних сполук та пошарове армування цементної матриці пластинчастими та голчастими новоутвореннями, що здатні до зрощування та сприяють формуванню більш досконалої мікроструктури цементного каменю.

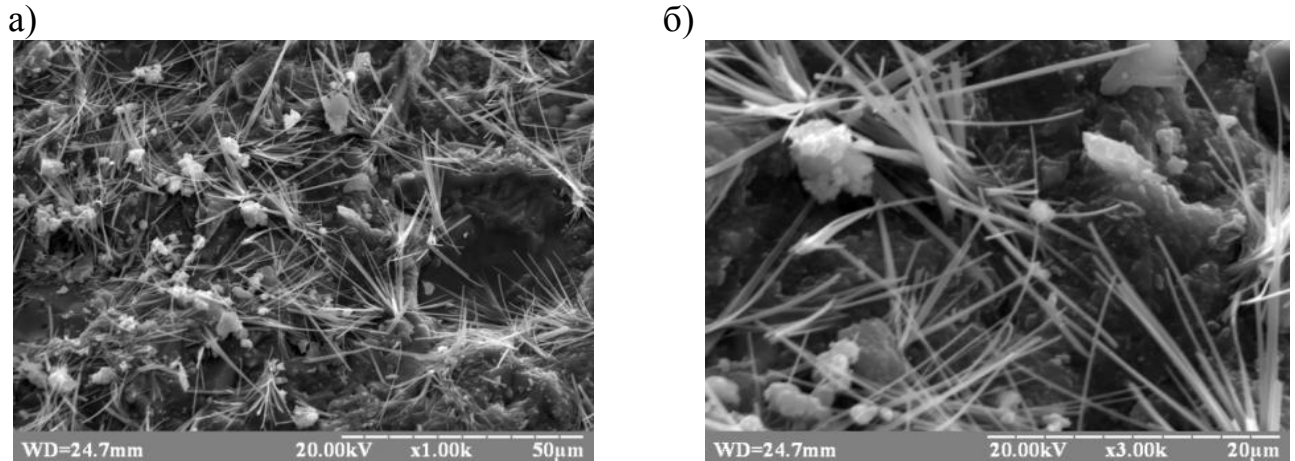


Рисунок 1 – Фотографії мікроструктури цементного каменю, модифікованого комплексною добавкою, що містить полікарбоксилатний суперпластифікатор «SikaPlast 555W» і тонкомелений трепел після 28 діб твердіння: (а) $\times 1000$ разів; (б) $\times 3000$ разів

Четвертий розділ присвячено оптимізації складу високоміцного легкого бетону з використанням математичних методів планування експерименту, а також дослідженню його основних фізичних, фізико-механічних та експлуатаційних властивостей.

Розглядаючи результати зміни міцності при стиску контрольних зразків керамзитобетону можна зазначити, що на ранніх етапах твердіння міцність залежить від величини водоцементного відношення, а на пізніх етапах — на міцність більше впливає витрата цементу. Максимальна міцність при стиску керамзитобетонів на 28 добу при використанні керамзитового гравію М400 становила 21,2 МПа, М500 — 25,2 МПа та М600 — 28,4 МПа.

Аналіз отриманих даних щодо зміни міцності при стиску зразків на основі керамзитобетонів, модифікованих полікарбоксилатним суперпластифікатором, показує, що на 28 добу міцність при стиску керамзитобетону досягає 46 МПа, що на 52% більше порівняно з контрольними зразками.

Як показують попередні дослідження, використання комплексної органо-кремнеземистої добавки дозволяє покращити кінетику нарощування міцності, причому домінантним є регулювання кількості тонкомеленого трепелу у складі комплексної добавки.

Оптимізація складу легкого керамзитобетону, модифікованого комплексною добавкою, що включає в себе тонкодисперсну добавку на основі меленого трепелу та суперпластифікатора, була проведена із застосуванням трифакторного тривірневого методу планування експерименту, в якому як змінні фактори вибрані

витрата портландцементу (200...400 кг) (X_1), вміст тонкомеленого трепелу (5%...15%) (X_2) та насипна густина керамзитового гравію (М400...М600) (X_3).

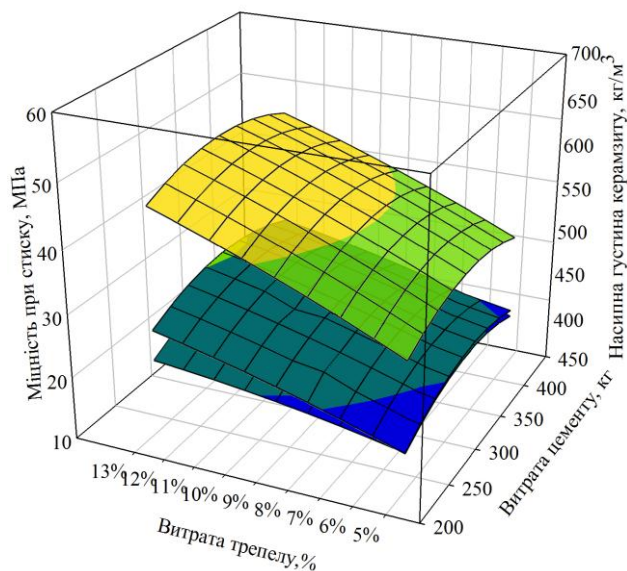
Аналізуючи ізопараметричні діаграми (рис. 2) зміни міцності при стиску керамзитобетону, модифікованого комплексною добавкою, можна відмітити, що оптимальні значення витрати трепелу складають 10% від маси в'язучої речовини. Встановлена чітка залежність міцності модифікованого керамзитобетону від насипної густини заповнювача, при використанні керамзиту М400 міцність на 28 добу досягає 26,5 МПа, М500 — 30,2 МПа, М600 — 53 МПа.

При введенні комплексної органо-кремнеземистої добавки до складу керамзитобетону значення мікротвердості на умовній границі зерна заповнювача досягає 2770 МПа, що на 32% більше мікротвердості цементного каменю на умовній границі зерна порівняно з контрольним складом.

Дослідження експлуатаційних властивостей бетонів, що містили у своєму складі комплексну органо-кремнеземисту добавку, передбачало визначення водопоглинання, водонепроникності, морозостійкості, корозійної стійкості та деформації усадки.

Згідно результатам випробування високоміцних легких бетонів можна відмітити, що введення комплексної органо-кремнеземистої добавки, зменшує водопоглинання на 32,6% та об'ємну пористість на 33,5% порівняно з бездобавочним складом, і як наслідок приводить до утворення оптимальної структури бетону.

а)



б)

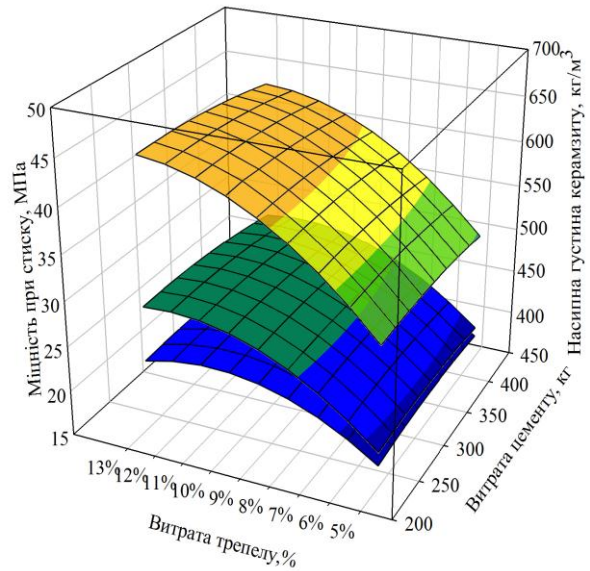


Рисунок 2 – Ізопараметричні діаграми зміни міцності при стиску зразків на основі портландцементу, модифікованого комплексною добавкою на основі суперпластифікатора: а) «SikaPlast 555W» в кількості 1,5% та тонкомеленого трепелу (5...15%); б) МС «PowerFlow 3100» в кількості 1% та тонкомеленого трепелу (5...15%), після твердіння за нормальних умов протягом 28 діб

При дослідженні водонепроникності було встановлено, що в разі модифікації керамзитобетону тільки суперпластифікатором забезпечується підвищення водонепроникності на 13%, в той же час введення комплексної добавки сприяє збільшенню водонепроникності на 37%, порівняно з контрольним складом, що відповідає марці за водонепроникністю W8.

При модифікації керамзитобетону комплексною добавкою на основі суперпластифікатора "SikaPlast 555W" та тонкомеленого трепелу, має місце підвищення морозостійкості до F400, в той час як використання тільки суперпластифікатора забезпечує отримання бетону морозостійкістю F200.

Аналіз отриманих результатів дозволяє зазначити, що керамзитобетони на основі портландцементних в'язучих композицій, що модифіковані добавкою на основі полікарбосилатного суперпластифікатора «SikaPlast 555W» та тонкомеленого трепелу, мають досить високі показники коефіцієнтів корозійної стійкості порівняно з бездобавочними композиціями. Так, значення K_c портландцементного керамзитобетону, модифікованого комплексною добавкою, в розчинах сульфату магнію зростає на 10...14%, в розчинах сульфату натрію цей показник підвищується на 7,5...12,5%, а в розчинах сульфату амонію — на 15...24%, порівняно з контрольним складом.

При дослідженні зміни відносної усадки керамзитобетонів наведених складів було встановлено, що введення добавки полікарбосилатного суперпластифікатора «SikaPlast 555W» сприяє зменшенню усадки на 10...12%, в той же час як введення комплексної органо-кремнеземистої добавки сприяє зменшенню цього показника на 16...19%, порівняно з контрольним складом. Так, деформації усадки бездобавочних композицій у віці 90 діб становлять 0,776 мм/м, тоді як модифікація комплексною добавкою знижує цей показник на 16% і складає 0,649 мм/м.

У п'ятому розділі наведено результати випуску дослідної партії товарного керамзитобетону на основі портландцементу, модифікованого комплексною органо-кремнеземистою добавкою, загальним об'ємом 120 м³, який було використано при будівництві житлового комплексу "Атлант 2".

Підтверджена повна відповідність властивостей товарних керамзитобетонних сумішей і керамзитобетонів на основі портландцементу, модифікованого комплексною органо-кремнеземистою добавкою, реальним умовам виробництва і експлуатації, що свідчить про їх високу ефективність і функціональність у монолітному будівництві. Рухливість бетонної суміші протягом 3 годин відповідала марці S4(P4). Економічний ефект від впровадження розробленого складу бетону склав 90,25 грн. на 1м³ готової продукції.

ВИСНОВКИ

1. Теоретично обґрунтовано та експериментально доведено можливість отримання високоміцних легких керамзитобетонів на основі портландцементу, модифікованого комплексною органо-кремнеземистою добавкою, яка складається з полікарбосилатного суперпластифікатора та кремнеземистих добавок природного та техногенного походження.

2. Досліджено модельні системи щодо модифікації портландцементу різними видами полікарбонатних суперпластифікаторів та встановлено, що використання високомолекулярної добавки MC PowerFlow 3100 (3000 од.) з включеннями поліетиленполіаміну (ПЕПА) забезпечує інтенсивний приріст міцності на ранніх етапах твердіння, а використання низькомолекулярної добавки SikaPlast 555W (1000 од.) з включеннями поліакриламідом (ПАА) — інтенсивний набір міцності цементного каменю на пізніх етапах твердіння.

3. Досліджено сумісність роботи полікарбонатних суперпластифікаторів з різними видами кремнеземистих добавок в складі цементних композицій за допомогою пластометрії та встановлено, що найбільший вплив на зниження пластичної міцності цементного тіста та підвищення міцності цементного каменю у часі мають комплексні органо-кремнеземисті добавки на основі полікарбонатних суперпластифікаторів в кількості 1...1,5% від маси в'язучої речовини та різних кремнеземистих добавок в кількості 5...10% від маси в'язучої речовини, при чому загальна тривалість індукційного періоду становить 4...6 годин.

4. Дослідженнями доведено, що за критеріями зміни міцності у часі високомолекулярна добавка «PowerFlow 3100» краще співпрацює з кремнеземистою добавкою на основі тонкомеленого трепелу, міцність при стиску на 28 добу дорівнювала 116,4 МПа, а низькомолекулярна добавка SikaPlast 555W – з технічними кремнеземами, а саме Elkem Microsilica Grade 940-U, при цьому, міцність при стиску на 28 добу склала 110,4 МПа, що на 200% перевищує міцність контрольних складів.

5. З використанням фізико-хімічних методів досліджено фазовий склад новоутворень та показано, що при введенні комплексної органо-кремнеземистої добавки до портландцементу, має місце тенденція зменшення кількості портландиту $\text{Ca}(\text{OH})_2$ та збільшення фаз низькоосновних гідросилікатів кальцію, тобермориту $11,3\text{\AA}$, а також фіксуються зародки гідрогранатів $(3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 2\cdot\text{SiO}_2\cdot 2\text{H}_2\text{O})$ та плазоліту $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 2(\text{SiO}_2\cdot\text{CO}_2)\cdot 2\text{H}_2\text{O}$, що є кристалохімічно подібними вищенаведеним сполукам, та забезпечують отримання щільної і високоміцної структури цементного каменю.

6. Досліджено особливості формування контактної зони “заповнювач – в'язуча речовина” та встановлено, що при введенні комплексної добавки змінюється склад, габітус новоутворень та інтенсивність процесу кристалоутворення у розглянутих системах. Встановлено вплив комплексної добавки на особливості формування мікро-, мезо- та макроструктури та підтверджено позитивну роль у синтезі міцності кристалохімічноподібних низькоосновних гідросилікатів кальцію, що разом з гідроалюмосилікатами, які утворюються з часом, забезпечує щільне зчеплення та зрощування заповнювача з в'язучою речовиною, яка проникає у поровий простір зерна заповнювача.

7. Досліджено вплив комплексної органо-кремнеземистої добавки на реологічні та технологічні властивості керамзитобетонних сумішей, а також на фізико-механічні та спеціальні властивості отриманих легких бетонів. При використанні комплексної добавки підвищується показник збереження легкоукладальності у часі, тим самим забезпечуючи рухомість (S4) бетонної суміші протягом 3 годин,

зменшується водопотреба, водовідділення і розшарування, а також підвищується ступінь однорідності суміші. Показано, що найбільшими значеннями приросту міцності при стиску характеризуються склади бетону на основі керамзитового гравію (М600), які модифіковані комплексною органо-кремнеземистою добавкою на основі полікарбоксилатного суперпластифікатора “SikaPlast 555W” в кількості 1,5% та тонкомеленого трепелу в кількості 10% від маси в’язучої речовини, при цьому інтенсифікація нарощування міцності при стиску на 28 добу досягає 66%, а після 1 року до 60%, порівняно з контрольними складами. Введення комплексної органо-кремнеземистої добавки до складу бетону сприяє підвищенню водонепроникності з W6 до W8, збільшенню морозостійкості до F400, підвищенню коефіцієнта корозійної стійкості K_c на 7,5...24%, порівняно з бездобавочним складом. Також показано, що введення комплексної органо-кремнеземистої добавки зменшує відносну усадку на 16...19%, порівняно з контрольним складом, що дозволить застосовувати легкі високоміцні керамзитобетони у монолітному будівництві.

8. Досліджено вплив різних марок керамзитового гравію на міцнісні та теплоізоляційні властивості та показано, що найбільш доцільно для монолітного будівництва використовувати бетони на основі керамзитового гравію М600.

9. В умовах приватного підприємства “Будіндустрія-1” на основі портландцементу, модифікованого комплексною органо-кремнеземистою добавкою, було проведено випуск дослідної партії товарного керамзитобетону загальним об’ємом 120 м³, який було використано при будівництві житлового комплексу "Атлант 2" за адресою м. Київ, вул. Пономарьова, 26. Економічний ефект від впровадження розробленого складу бетону склав 90,25 грн. за 1 м³ готової продукції, що свідчить про високу ефективність і функціональність у монолітному будівництві.

ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ ДИСЕРТАЦІЇ ВИКЛАДЕНО У ПРАЦЯХ:

1. Пушкарьова К.К. Особливості модифікації цементної матриці для отримання високоміцних легких керамзитобетонів бетонів / Пушкарьова К.К., Гончар О.А., Каверин К.О. // Зб. наук. праць «Будівельні матеріали, вироби та санітарна техніка» – Київ. – 2014. – № 52. – С. 43-48.

2. Пушкарьова К.К. Дослідження процесів структуроутворення цементних композицій, модифікованих органо-кремнеземистими добавками / Пушкарьова К.К., Каверин К.О., Дмитров М.С. // Вісник ОДАБА. – Одеса, Зовнішрекламсервіс. – 2014. – №56. – С. 201-208.

3. Пушкарьова К.К. Вплив органо-мінеральних добавок на реологічні властивості цементних композицій та їхні фізико-механічні характеристики / Пушкарьова К.К., Гончар О. А., Каверин К.О. // Збірник наукових праць УкрДУЗТ. – Харків. – 2015. – №155 (ISSN 1994-7852) – С.124-128. (Index Copernicus)

4. Пушкарьова К.К. Дослідження впливу органо-кремнеземистих добавок на міцність цементних композицій / Пушкарьова К.К., Каверин К.О. // Вісник ОДАБА. – Одеса, Зовнішрекламсервіс. – 2015. – №57. – С. 371-379.

5. Пушкарьова К.К. Вплив комплексної органо-мінеральної добавки на фазовий

склад цементних композицій та формування структури цементного каменю / Пушкарьова К.К., Каверин К.О., Яким В.П. // Вісник ОДАБА. – Одеса, Зовнішнєрекламсервіс. – 2015. – №60. – С. 229-236.

6. Пушкарьова К.К. Дослідження сумісності дії складових органо-кремнеземистої добавки та їх вплив на процеси структуроутворення цементного каменю / Пушкарьова К.К., Каверин К.О. // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Зб. наук. пр. – Рівне: НУВГП. – 2015. – №31 (ISBN 966-7447-21-9) – С.322-329.

7. Пушкарьова К.К. Дослідження високоміцних цементних композицій, модифікованих комплексними органо-кремнеземистими добавками / Пушкарьова К.К., Каверин К.О., Калантаєвський Д.О. // Восточно-европейский журнал передовых технологий № 5 (77) – 2015. Харків – С. 42-51. doi: 10.15587/1729-4061.2015.51836 (Index Scopus)

8. Каверин К.О. Високоміцні легкі керамзитобетони, модифіковані полікарбосилатними суперпластифікаторами / Каверин К.О. // Зб. наук. праць «Будівельні матеріали, виробы та санітарна техніка» – Київ. – 2015. – №56 (ISSN 2413-7693). – С. 47-54.

9. Пушкарьова К.К. Дослідження цементних композицій, модифікованих полікарбосилатними та механо-активованими кварцовими добавками / Пушкарьова К.К., Каверин К.О., Калантаєвський Д. О. // Вісник ОДАБА. – Одеса, Зовнішнєрекламсервіс. – 2016. – №62 (77) (ISBN 978-617-7195-23-7). – С. 149-153.

10. Пушкарьова К.К. Використання високоміцних керамзитобетонів в каркасно-монолітному будівництві / Пушкарьова К.К., Каверин К.О. // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Зб. наук. пр. – Рівне: НУВГП. – 2016. – №33 (ISBN 966-7447-21-9) – С.75-83.

11. Пушкарьова К.К. Дослідження особливостей формування контактної зони «в'язуча речовина – керамзитовий гравій» та оцінка її впливу на кінетику нарощування міцності легких бетонів / Пушкарьова К.К., Каверин К.О. // Международный научно-производственный журнал «Керамика: наука и жизнь» – Київ. – 2017. – №1(34). – С.32-41. (Scientific Indexing Services (SIS))

12. Пушкарьова К.К. Дослідження експлуатаційних властивостей високоміцних легких керамзитобетонів, модифікованих комплексною органо-кремнеземистою добавкою / Пушкарьова К.К., Каверин К.О. // Збірник наукових праць УкрДУЗТ. – Харків. – 2017. – №169 (ISSN 1994-7852) – С.88-95. (Index Copernicus)

13. Пушкарьова К.К. Вплив органо-мінеральних добавок на реологічні властивості цементних композицій та їхні фізико-механічні характеристики / Пушкарьова К.К., Гончар О. А., Каверин К.О. // 5-а Міжнародна науково-технічна конференція з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23-24 квітня 2015р.: Тези доповідей. – Харків: УкрДУЗТ, 2015.– с. 29.

14. Пушкарьова К.К. Дослідження експлуатаційних властивостей високоміцних легких керамзитобетонів, модифікованих комплексною органо-кремнеземистою добавкою / Пушкарьова К.К., Каверин К.О. // 6-а Міжнародна науково-технічна конференція з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності

та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 19-21 квітня 2017р.: Тези доповідей. – Харків: УкрДУЗТ, 2017.– с. 31-32.

15. Пушкарьова К.К. Високоміцні керамзитобетони, отримані з використанням полікарбосилатних суперпластифікаторів / Пушкарьова К.К., Каверин К.О.// Міжнародний семінар «Моделювання та оптимізація будівельних композитів», Одеса, 27-28 жовтня 2016 р.: Матеріали семінару. – Одеса: ОДАБА, 2016.– с. 118-120.

АНОТАЦІЯ

Каверин К.О. Високоміцні легкі бетони на основі портландцементу, модифікованого комплексними органо-кремнеземистими добавками. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.23.05 – будівельні матеріали та вироби. – Київський національний університет будівництва і архітектури Міністерства освіти і науки України. – Київ, 2018.

Дисертаційна робота присвячена розробці високоміцних легких бетонів на основі портландцементу, модифікованого комплексною органо-кремнеземистою добавкою, що містить полікарбосилатний суперпластифікатор та активну тонкодисперсну кремнеземисту складову.

За критерієм оцінки ефективності використання в'язучої речовини була обрана комплексна добавка на основі полікарбосилатного суперпластифікатора та тонкомеленого трепелу. Досліджено вплив цієї добавки на фізико-хімічні особливості процесів гідратації і структуроутворення та показано, що висока кінетика набору міцності пов'язана з направленим формуванням низькоосновних гідросилікатів кальцію, зародків гідрогранатів та плазоліту, що є кристалохімічно подібними між собою, та забезпечують отримання щільної і високоміцної структури цементного каменю.

Модифікування комплексною добавкою дозволяє отримати бетонні суміші рухомістю S4(P4) при витраті портландцементу не більше 330 кг/м³, при цьому міцність бетонів при стиску досягає 55 МПа, водонепроникність збільшується до W8, морозостійкість до F400, підвищуються коефіцієнти корозійної стійкості K_c в досліджених розчинах сульфатів магнію, натрію та амонію на 10...24%. Введення комплексної добавки також сприяє зменшенню відносної усадки на 16...19%, порівняно з контрольним складом, що позитивно впливає на довговічність отриманих бетонів.

Проведено дослідно-промислове впровадження розробленого високоміцного легкого бетону на основі портландцементу, модифікованого комплексною органо-кремнеземистою добавкою та виготовлено 120 м³ бетонних сумішей, який було використано при будівництві житлового комплексу "Атлант 2". Економічний ефект від впровадження розробленого бетону в промислових умовах склав 90,25 грн. на 1 м³ бетону.

Ключові слова: високоміцний легкий бетон, комплексна органо-

кремнеземиста добавка, полікарбосилатний суперпластифікатор, трепел, міцність при стиску, водонепроникність, морозостійкість, корозійна стійкість, відносна усадка.

АННОТАЦІЯ

Каверин К.А. Высокопрочные легкие бетоны на основе портландцемента, модифицированного комплексными органо-кремнеземистыми добавками. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.23.05 – строительные материалы и изделия. – Киевский национальный университет строительства и архитектуры Министерства образования и науки Украины. – Киев, 2018.

Диссертационная работа посвящена разработке высокопрочных легких бетонов на основе портландцемента, модифицированного комплексной органо-кремнеземистой добавкой, содержащей поликарбосилатный суперпластификатор и активную тонкодисперсную кремнеземистую составляющую.

По критерию оценки эффективности использования вяжущего вещества была выбрана комплексная добавка на основе поликарбосилатного суперпластификатора и тонкомолотого трепела. Исследовано влияние этой комплексной добавки на физико-химические особенности процессов гидратации и структурообразования и показано, что высокая кинетика набора прочности обеспечивается направленным формированием низкоосновных гидросиликатов кальция, гидрогранатов и плазолита, которые являются кристаллохимически подобными между собой, и обеспечивают получение плотной и прочной структуры цементного камня.

Модифицирование комплексной добавкой позволяет получить бетонные смеси подвижностью S4 (P4) при расходе портландцемента не более 330 кг/м³, при этом прочность при сжатии достигает 55 МПа, водонепроницаемость увеличивается до W8, морозостойкость до F400, повышаются коэффициенты коррозионной стойкости K_c в исследованных растворах сульфатов магния, натрия и аммония на 10...24%. Введение комплексной добавки также способствует уменьшению относительной усадки на 16...19% по сравнению с контрольным составом, что положительно влияет на долговечность полученных бетонов.

Проведено опытно-промышленное внедрение разработанного высокопрочного легкого бетона на основе портландцемента, модифицированного комплексной органо-кремнеземистой добавкой и изготовлено 120 м³ бетонных смесей, которые были использованы при строительстве жилого комплекса "Атлант 2". Экономический эффект от внедрения разработанного бетона в промышленных условиях составил 90,25 грн. на 1 м³ бетона.

Ключевые слова: высокопрочный легкий бетон, комплексная органо-кремнеземистая добавка, поликарбосилатный суперпластификатор, трепел, прочность при сжатии, морозостойкость, коррозионная стойкость, относительная усадка.

ABSTRACT

Kaveryn K.O. High-strength lightweight concrete based on Portland cement, modified with complex organo-silica additives – On the rights of the manuscript.

Thesis for a Candidate of Technical Sciences (Doctor of Philosophy) degree by specialty 05.23.05 - Building materials and elements - Kyiv National University of Construction and Architecture of the Ministry of Education and Science of Ukraine - Kyiv, 2018.

The dissertation is devoted to the development of high-strength lightweight concrete based on Portland cement, modified with a complex organo-silica additive containing a polycarboxylate superplasticizer and an active fine-silica component.

The criterion for assessing the effectiveness of the use of a binder was a complex additive based on polycarboxylate superplasticizer and fine-grounded tripoli. The influence of this complex additive on the physical and chemical peculiarities of hydration and structure formation processes is investigated and it is shown that high speed of strength gain is provided by the directed formation of low-basic calcium hydrosilicates, germs of hydrogrants and plazolites, which are crystallochemically similar with each other, and provide the obtaining of a dense and high-strength structure of cement stone.

Modification with the complex additive allows you to get concrete mixes with the S4 slums class with the consumption Portland cement not more than 330 kg/m³, while compressive strength reaches 55 MPa, watertightness increases to W8, frost resistance up to F400, coefficients of corrosion resistance K_s are increased in investigated solutions of magnesium, sodium and ammonium sulfates by 10...24%. The introduction of a complex additive also helps to reduce the relative shrinkage by 16...19% compared to the control composition, which positively affects the durability of the concrete.

The pilot production implementation of the developed high-strength lightweight concrete based on the Portland cement, modified with a complex organo-silica additive was made with 120 m³ of concrete mixtures, which was used in the construction of the residential complex "Atlant 2". The economic effect of the implementation of the developed concrete in industrial conditions amounted to UAH 90.25 per 1 m³ of concrete.

Keywords: high-strength lightweight concrete, complex organo-siliceous additive, polycarboxylate superplasticizer, tripoli, compressive strength, frost resistance, corrosion resistance, relative shrinkage.