

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

ЧЕПУРНА СВІТЛАНА МИКОЛАЇВНА



УДК 691.3:620.197.6

**БЕТОН ПІДВИЩЕНОЇ ВОДОНЕПРОНИКНОСТІ
ТА КОРОЗІЙНОЇ СТІЙКОСТІ З ДОБАВКОЮ
ВИСОКОДИСПЕРСНОЇ КРЕЙДИ**

05.23.05 – будівельні матеріали та вироби

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2018

Дисертацією є рукопис.

Роботу виконано в Харківському національному університеті міського господарства ім. О.М. Бекетова Міністерства освіти і науки України.

Наукові керівники:

кандидат технічних наук, професор

Золотов Михайло Сергійович

кандидат технічних наук, доцент

Борзяк Ольга Сергіївна,

Український державний університет

залізничного транспорту,

доцент кафедри будівельних матеріалів,

конструкцій та споруд.

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, доцент

Костюк Тетяна Олександрівна,

Харківський національний університет

будівництва та архітектури,

завідувач кафедри будівельних

матеріалів і виробів;

кандидат технічних наук,

Беліченко Олена Анатоліївна

Харківський національний

автомобільно-дорожній університет,

старший науковий співробітник кафедри

технології дорожньо-будівельних

матеріалів і хімії

Захист дисертації відбудеться 4 липня 2018 р. о 14⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д64.820.02 Українського державного університету залізничного транспорту за адресою: 61050, м. Харків, майдан Фейербаха, 7.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Українського державного університету залізничного транспорту за адресою: 61050, м. Харків, майдан Фейербаха, 7 і на сайті <http://kart.edu.ua>.

Автореферат розісланий 2 червня 2018 р.

Вчений секретар

Спеціалізованої вченої ради

кандидат технічних наук, доцент



О.В. Лобяк

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність роботи. Одним із пріоритетних напрямів розвитку сучасного матеріалознавства є розроблення нових типів цементів і на їх основі бетонів, що забезпечуватимуть високі експлуатаційні та технологічні властивості конструкцій протягом тривалого періоду. Тому останнім часом велика увага приділяється виробництву нових композиційних в'язучих, які мають поліпшені фізико-механічні характеристики (міцність на стиск і вигин, водонепроникність, хімічна стійкість, морозостійкість та інші показники, що збільшують довговічність конструкцій будинків і споруд), мають низьку енергоємність і при виробництві яких вирішуються питання охорони навколишнього середовища.

Поліпшення фізико-механічних характеристик бетонів досягається за рахунок введення до складу добавок різного характеру впливу. Мінеральні добавки є невід'ємним компонентом сучасних бетонів. Їх використання дозволяє знизити кількість клінкерного цементу, підвищити щільність структури і, як наслідок, міцність, довговічність і стійкість бетонів в агресивному середовищі. Більшість існуючих технологій виробництва бетонів потребує використання дорогих сировинних матеріалів, що негативно впливає на вартість самого матеріалу та його конкурентоспроможність.

Одним із шляхів вирішення цієї проблеми є розроблення високоякісних бетонів на основі місцевих мінеральних ресурсів. Використання в якості добавок місцевої мінеральної сировини забезпечує зниження собівартості матеріалу, а використання відходів виробництва допомагає вирішити питання охорони навколишнього середовища. Зменшення кількості цементу в бетонній суміші та часткова заміна його на добавки, на виробництво яких витрачається мінімум енергії, зменшує загальну енергоємність виробництва цього композиційного матеріалу.

У якості природних добавок досить часто використовують карбонатні породи, проте в Україні при виробництві цементів загальнобудівельного призначення практично використовується в якості основного компонента тільки вапняк-черепашник, а така карбонатна порода, як крейда, взагалі не використовується. Використання крейди ускладнене її основними властивостями: підвищеною липкістю, гідрофільністю, високою питомою поверхнею. Однак досить великі запаси крейди з високим вмістом карбонату кальцію, який здатний брати участь у структуроутворенні цементного композиту і бетону, а також слабка цементация частинок з високою питомою поверхнею, створюють передумови для використання меленої крейди в якості мінеральної добавки для бетонних сумішей і бетонів.

Виходячи з вищевикладеного, робота присвячена розробленню бетонів з високими експлуатаційними властивостями з добавкою високодисперсної крейди, що дозволить розв'язати екологічні, енерго- та ресурсозберігаючі проблеми, є актуальною.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Робота виконана на кафедрі теоретичної та будівельної механіки Харківського національного університету міського господарства імені О.М. Бекетова. Робота виконана відповідно до координаційного плану Міністерства освіти і науки України «Створення нових ефективних будівельних матеріалів, виробів та конструкцій на основі речовини органічного та неорганічного походження, технологій та обладнання для її виробництва», номер державної реєстрації 0199U004285.

Мета дослідження – розроблення бетону підвищеної водонепроникності та корозійної стійкості на основі портландцементу з добавкою високодисперсного органогенного кальциту (крейди).

Задачі дослідження:

– аналіз існуючих теоретичних уявлень щодо технологічних аспектів використання мінеральних добавок різної природи та їх вплив на структуру цементного каменю і бетону;

– розвиток теоретичних уявлень щодо механізму впливу високодисперсної крейди на процеси структуроутворення цементного каменю і бетону;

– експериментальні дослідження, у тому числі фізико-хімічні, з метою перевірки теоретичних уявлень щодо впливу високодисперсної крейди на структуру бетону;

– експериментальні дослідження впливу добавки високодисперсної крейди на фізико-механічні, зокрема водонепроникність і корозійну стійкість, технологічні та експлуатаційні властивості цементних композитів і бетонів;

– розроблення і впровадження складів бетону з добавкою високодисперсної крейди.

Об'єкт дослідження – бетони підвищеної водонепроникності та корозійної стійкості на основі портландцементу з добавкою високодисперсного органогенного кальциту (крейди).

Предмет дослідження – закономірності та процеси формування структури в цементних композитах і бетонах з добавкою високодисперсної крейди, вплив добавки за фізико-механічні властивості, у тому числі на водонепроникність і корозійну стійкість бетонів.

Методи дослідження. Фізико-механічні властивості досліджуваних складів – міцність на стиск, щільність, водонепроникність, морозостійкість – визначали стандартними методами на зразках-кубах $100 \times 100 \times 100$ мм, зразках-призмах $70 \times 70 \times 280$ мм, зразках-циліндрах 150×150 мм. Деформативність зразків визначались методом електротензометрування.

Дослідження корозійної стійкості розроблених складів проводилось за експресною і прискореною методикою, розробленою М.І. Стрелковим. Для вивчення мікро- й субмікроструктури бетонів, модифікованих високодисперсною крейдою, застосовано електронно-мікроскопічні дослідження. Склад продуктів гідратації цементу з добавкою досліджували методами рентгенофазового аналізу та інфрачервоної спектроскопії.

Достовірність і обґрунтованість одержаних результатів забезпечена використанням у теоретичних дослідженнях фундаментальних положень і закономірностей колоїдної хімії, фізико-хімічної механіки дисперсних систем, використанням в експериментах комплексу стандартних фізико-механічних, фізико-хімічних методів досліджень, методів статистичної обробки результатів досліджень, а також збіжністю результатів теоретичних і експериментальних досліджень, експлуатаційними дослідженнями та впровадженням.

Наукова новизна одержаних результатів

Встановлено вперше:

– механізм взаємодії високодисперсної крейди з портландцементом складається з таких етапів: гідратація клінкерних мінералів і утворення гідроксиду кальцію; взаємодія гідроксиду кальцію з аморфною формою кремнезему та утворення низькоосновних гідросилікатів кальцію, що супроводжується вивільненням карбонатної частини крейди; взаємодія карбонату кальцію крейди з алюмінатом кальцію та утворення гідрокарбоалюмінату кальцію;

– додавання високодисперсної крейди забезпечує підвищення корозійної стійкості цементного каменю бетону в умовах впливу агресивних розчинів, що містять сульфат-іони та іони магнію за рахунок зниження вмісту вільного гідроксиду кальцію та зв'язування алюмінатної фази в стійкі продукти гідратації.

Набуло подальшого розвитку:

– теоретичні уявлення щодо процесів структуроутворення цементного каменю і бетону в присутності добавки високодисперсної крейди, згідно з якими утворені кристалогідрати гідрокарбоалюмінатів кальцію (з позитивним електроповерхневим зарядом), частинки гелю низькоосновних гідросилікатів кальцію (з негативним зарядом) і частинки кальциту крейди, що не прореагували, (з позитивним зарядом) забезпечують збільшення кількості електрогетерогенних контактів у мікроструктурі цементного каменю та більш щільну упаковку її елементів;

– методами фізико-хімічними аналізу встановлено, що введення високодисперсної крейди призводить до підвищення ступеня гідратації клінкерних мінералів, збільшення кількості низькоосновних гідросилікатів та утворення гідрокарбоалюмінату кальцію.

Практичне значення одержаних результатів. Розроблено та впроваджено бетони класу С28/35 і С32/40. За водонепроникністю W6/W8 для споруд різного призначення, до яких висуваються вимоги щодо показників водонепроникності і корозійної стійкості. Результати досліджень впроваджені при будівництві житлового будинку, що забезпечує досягнення економічного ефекту, обумовленого зниженням енергоресурсовитрат на виробництво бетонних конструкцій, збільшенням довговічності виробів і конструкцій, міжремонтних термінів експлуатації будівель і споруд. Результати досліджень використовуються в навчальному процесі під час дипломного проектування для підготовки магістрів і бакалаврів.

Особистий внесок здобувача. Автором особисто виконано огляд літературних джерел щодо зазначеної теми дисертаційної роботи; обґрунтовано вибір мінеральної добавки в цементні композиції та бетон; досліджено структуру крейди як мінеральної добавки; виконано комплекс лабораторних досліджень з метою перевірки нових теоретичних уявлень щодо впливу визначеної добавки на фізико-механічні властивості, зокрема водонепроникність і корозійну стійкість цементного каменю і бетону; проведено експлуатаційну перевірку результатів дослідження. Основні результати теоретичних і експериментальних досліджень дисертаційної роботи отримані автором самостійно.

Особистий внесок здобувача в наукові роботи, опубліковані в співавторстві, полягає:

- в аналізі можливості застосування високодисперсної крейди в якості мінеральної добавки [18];

- проведенні експериментальних досліджень щодо впливу високодисперсної крейди на фізико-механічні властивості цементного каменю та бетону, зокрема водонепроникності, морозостійкості та корозійної стійкості [1, 2, 4-5, 17];

- проведенні експериментальних досліджень щодо впливу високодисперсної крейди на технологічні властивості цементного каменю та бетону, зокрема жорсткість, легкоукладання, водопотреби [3];

- вивченні процесу гідратації в присутності високодисперсної крейди в складі бетону, визначенні ступеня гідратації клінкерних мінералів при використанні в якості добавки високодисперсної крейди [7].

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертаційної роботи доповідались, обговорювались та одержали позитивну оцінку на наукових і науково-практичних конференціях і семінарах: всеукраїнська науково-практична конференція «Проблеми реалізації реформування отрасли жилищно-коммунального хозяйства» (м. Харків, ХНАХГ, 27–28 листопада 2003 р.); XXXIV науково-технічна конференція викладачів, аспірантів і співробітників ХНАМГ (12–14 травня 2008 р.); VII Міжнародна науково-практична конференція «Градостроительные аспекты устойчивого развития крупных городов» (м. Харків, ХНАМГ, 21–23 квітня 2009 р.); Міжнародна науково-практична конференція «Строительство: проблемы и перспективы» (м. Махачкала, ДГИНХ, 29–30 березня 2013 р.); шоста Міжнародна наукова конференція «Архитектура, Строительство – Современность» (Варна, Болгарія, 31 травня–1 червня 2013 р.); Perspective Trends in Scientific Research – 2015 (Bratislava, Slovak Republic, 17–22 October 2015); Economics, Science, Education: Integration and synergy: Materials of International scientific and practical conference (Bratislava, Slovak Republic, 18–21 January 2016); Міжнародна науково-практична конференція "Актуальні проблеми гуманітарних та природничих наук" (м. Ужгород, 8–9 квітня 2016 р.); VI Міжнародна науково-технічна конференція «Проблеми надійності та

довговічності інженерних споруд та будівель на залізничному транспорті» (м. Харків, 19–21 квітня 2017 р.).

Публікації. Результати дисертаційної роботи опубліковано у 18 наукових працях, із них 7 статей у фахових виданнях, рекомендованих МОН України, у тому числі одна стаття у виданні, включеному до міжнародної наукометричної бази база Index Copernicus; одна стаття в зарубіжному збірнику; 10 праць апробаційного характеру.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається зі вступу, 5 розділів, загальних висновків, списку літератури з 258 найменувань на 28 сторінках; містить 127 сторінки основного тексту, 59 рисунків, 20 таблиць, 3 додатки.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертації, сформульовано мету і завдання дослідження, представлено наукову гіпотезу, новизну і практичне значення отриманих результатів. Наведено відомості про апробацію основних результатів дисертації, кількість публікацій, структуру та обсяг роботи.

У першому розділі виконано критичний аналіз найбільш значущих робіт у галузі теоретичних і експериментальних досліджень міцності та довговічності цементних композицій і бетонів під впливом різних факторів з позицій колоїдної хімії та фізико-хімічної механіки. Значний внесок у розвиток цієї теорії зробили В.І. Бабушкін, А.М. Пługін, А.А. Пługін, І.В. Грушко, Т.Ю. Любімова, О.В. Кондращенко, Т.О. Костюк, О.А. Пашенко, Л.В. Трикоз, О.В. Ушеров-Маршак та інші. Із зазначених робіт проаналізовано відомості щодо залежності структури та міцності від електроповерхневих властивостей всіх компонентів. Між різнойменно зарядженими частинками дисперсної фази в неорганічних в'язучих, що твердіють, і композиційних матеріалах на їх основі утворюються електрогетерогенні контакти ЕГК, що обумовлено іон-іонними та іон-дипольними взаємодіями. Саме електрогетерогенні контакти ЕГК здатні забезпечити просторову міцну структуру композиту і визначають фізичні та фізико-механічні властивості бетону.

Для підвищення довговічності та експлуатаційних якостей бетонів використовують мінеральні добавки різноманітної природи. Вивченням впливу мінеральних добавок на властивості цементного каменю і бетону займалися багато вчених, зокрема В.В. Тимашев, О.С. Пантелєєв, В.І. Соломатов, Ю.М. Баженов, О.Г. Ольгінський, І.М. Грушко, Л.Й. Дворкін, О.Л. Дворкін, О.П. Мчедлов-Петросян, П.В. Кривенко, М.М. Зайченко, Л.М. Добшиць, Н.О. Копаніца, Т.О. Костюк, С.М. Толмачов та інші. Мінеральні добавки разом з цементом беруть участь у формуванні мікроструктури матричної основи, сприяють більш повній гідратації зерен цементу, локалізують внутрішні дефекти – мікротріщини, мікропори і капілярні пори, що веде до утворення щільної мікрокристалічної структури бетону та підвищення його міцності, морозостійкості та стійкості бетону в агресивному середовищі. Як самостійні структурні елементи, мінеральні добавки створюють додаткові поверхневі

структури, на яких відбуваються об'ємні деформаційні процеси, пов'язані з фізико-хімічними процесами твердіння в'язучого.

Широке використання в будівництві в якості мінеральних добавок знайшли карбонатні породи. Дослідженням із застосування карбонатних порід займалися такі вчені, як П.П. Будніков, В.М. Колбасов, В.В. Тімашев, Р.Л. Маїлян, В.І. Соломатов, Т.О. Костюк, С.В. Коваль, С.М. Толмачов, Е.Ф. Платонов, Д.М. Поляков, О.В. Кононова та інші. У цементній композиції вапняк виконує роль мінеральної добавки, бо має хімічне споріднення з цементом, а розмір частинок вапняку близький за розміром до частинок цементу, що обумовлює фізико-хімічну взаємодію з мінералами клінкеру і сприяє утворенню кристалізаційних контактів з новоутвореннями цементу на мікроструктурних рівнях, що забезпечує поліпшення експлуатаційних властивостей бетону.

При досить широкому висвітленні питань впливу карбонатних заповнювачів і наповнювачів на процеси структуроутворення в цементному камені та бетоні мало досліджений вплив на ці процеси такої карбонатної породи, як крейда. Вивченням структури та властивостей крейди займалися Н.П. Кудеярова, Г.І. Бушинський, Є.О. Іванова, С.І. Шуменко, В.А. Полуєктова, М.І. Стрелков та інші. У структурі крейди наявний органогенний кальцит розміром 2 – 5, рідше 10 мкм, кальцитові уламки і залишки коколітів розміром 2-5 мкм (рис. 1). Крім того, у структурі крейди присутні невелика кількість β -кварцу, халцедону, глинистих домішок, що представлені доломітом $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$, магнезитом MgCO_3 , сидеритом FeCO_3 .

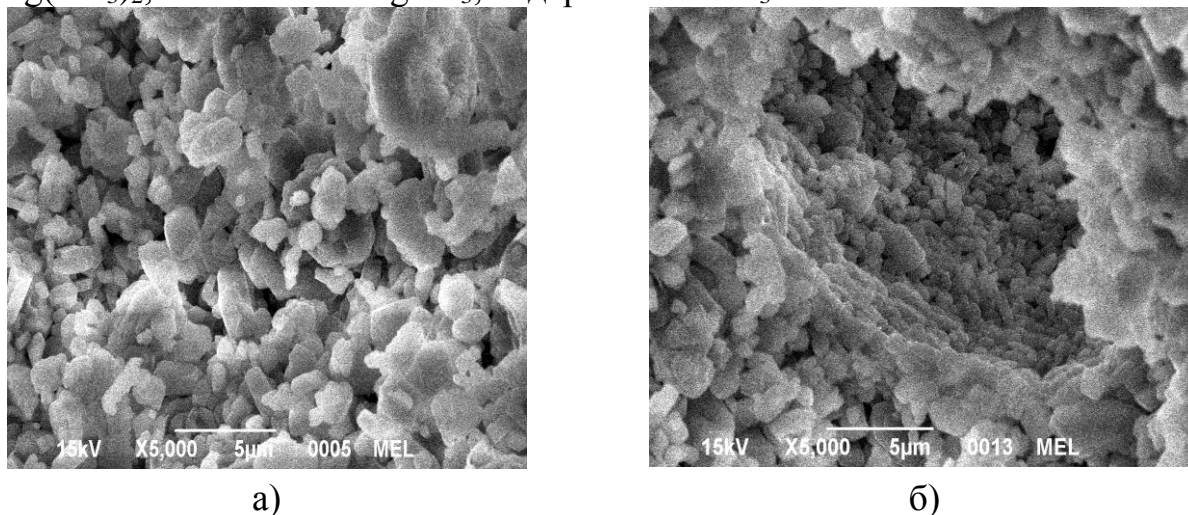


Рис. 1. Електронномікроскопічний знімок природної поверхні сколу крейди Слов'янської (коколіти): а – збільшення 3000; б – збільшення 5000

Крейда містить катіони, які входять до складу більшості клінкерних мінералів. Поверхня крейди у водних дисперсіях має надлишковий негативний заряд, про що свідчить невелике від'ємне значення ζ -потенціалу, при цьому еквіпотенціальна точка крейди відповідає рН від 5 до 7. На відміну від інших карбонатних порід, крейді притаманні специфічні властивості. Крейда гідрофільна, але гіроскопічність її дуже мала внаслідок малої дисперсності та

малого розміру активної поверхні. При введенні в суміш частинок гідрофобної крейди, що розміщуються в порах, створюються гідрофобні ділянки, що перешкоджають просуванню води всередину сумішей.

Гідрофобна крейда не тільки сприяє ущільненню і пластифікації суміші, але й впливає на формування фазового складу гідросилікатів кальцію. При цьому основними продуктами гідратації є низькоосновні гідросилікати типу CSH(I) і гідрокарбосилікати кальцію, що веде до підвищення міцності і морозостійкості композиційного матеріалу. Крейда має низьку розчинність, не утворює кристалогідратів і не взаємодіє з водою, але при диспергації легко розмучується. Поверхня крейди вкрита аморфним кремнеземом, тому механізм взаємодії крейди з клінкерними мінералами та продуктами їх гідратації суттєво відрізняється від відомих механізмів взаємодії інших карбонатних порід. Спорідненість складу крейди, клінкерних мінералів і продуктів їх гідратації створює передумови для використання крейди в якості добавки до бетонів.

Висунуто робочу гіпотезу за якою уведення оптимальної кількості високодисперсної крейди та добавки-суперпластифікатора сприятиме підвищенню міцності, морозостійкості, корозійної стійкості цементного каменю за рахунок утворення гідрокарбоалюмінатів кальцію і низькоосновних гідросилікатів кальцію одночасно, при цьому добавка-суперпластифікатор забезпечує зниження водоцементного відношення з урахуванням підвищеної водопотреби крейди.

У другому розділі наведено характеристики основних матеріалів і методів досліджень.

Найбільші проблеми при використанні крейди як добавки пов'язані з введенням її до складу цементної композиції. Питома поверхня частинок крейди повинна становити 10 тис. $\text{см}^2/\text{г}$, що виключає вплив міцності самої породи, але створення таких частинок неможливо за допомогою сухого подрібнення. Тому був використаний метод виготовлення високодисперсної крейди за допомогою диспергування у воді за допомогою стисненого повітря. Отримана суспензія містить частинки розміром не більше 10 мкм.

В експериментальних дослідженнях застосовувалися портландцемент марки ПЦ І-500Н, кварцовий пісок з модулем крупності $M_k=0,9$, гранітний щебінь фракції 2,5÷5 мм і 5÷10 мм, крейда Слов'янського родовища, добавка суперпластифікатора лігносульфонат технічний (ЛСТ). Фізико-механічні властивості – щільність, міцність на стиск, морозостійкість визначали на зразках–кубах 100×100×100 мм, міцність на розтяг при вигині визначали зразках–призмах 70×70×280 мм, водонепроникність – на зразках-циліндрах висотою та діаметром 150 мм стандартними методами. Деформативність визначали на зразках–призмах квадратного перерізу розміром 70×70×280 мм методом електротензометрування.

Для визначення корозійної стійкості була використана експресна методика оцінювання корозійної стійкості цементного каменю в агресивному рідкому середовищі, розроблена М.І. Стрелковим. За основу була прийнята концентраційна діаграма чотириконтентної системи (Na^+ , Mg^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} , за

якою висока агресивність цієї системи обумовлена утворенням сполук з великою молекулярною масою в результаті хімічної взаємодії між солями системи NaCl , Na_2SO_4 , MgCl_2 , MgSO_4 та продуктами гідратації цементу. Після твердіння в нормальних умовах протягом 28 діб зразки подрібнювалися та для наступних досліджень були відібрані фракції 0,14-0,315 м, після чого деяку кількість таких частинок помістили в мірні циліндри з агресивними розчинами – розчинами різних солей.

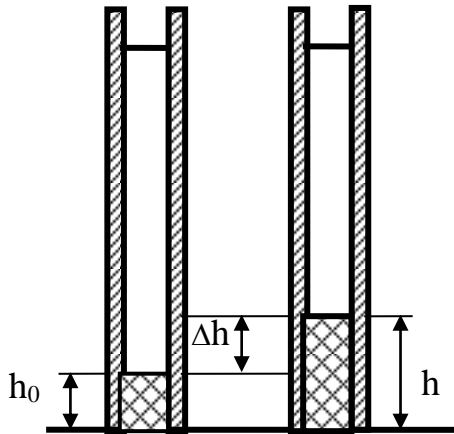


Рис. 2. Схема вимірювання висоти осаду

Інтенсивність взаємодії середовища зі зразками, що досліджуються, оцінювалася за величиною приросту об'єму твердої фази, що обумовлено зміною ступеня дисперсності вихідних частинок і продуктів корозії, що утворилися. Цей приріст оцінювався величиною висоти осаду h проби подрібненого цементного каменю в циліндрі (рис. 2).

Для зразків-балочок цементного каменю за прискороною методикою визначався ступінь стійкості зразків, що характеризується величиною

коефіцієнта стійкості (K_c), який визначається за формулою

$$K_c = \frac{f_{cm}^{3\text{міс}}}{f_{cm}^{28}}, \quad (1)$$

де $f_{cm}^{3\text{міс}}$ – міцність на стиск зразка після занурення в агресивне середовище протягом 3 місяців, МПа;

f_{cm}^{28} – міцність зразків після 28-добового твердіння до занурення в агресивне середовище, МПа.

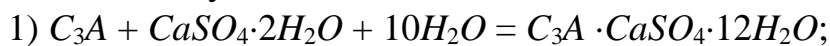
Структуру і фазовий склад продуктів гідратації зразків цементного каменю з різною кількістю високодисперсної крейди, а також бетону досліджували методами електронної мікроскопії за допомогою скануючого електронного мікроскопа JSM-6390/6390LV (Японія), інфрачервоної спектроскопії за допомогою спектрометра «ALPHA», що підключається до ЕОМ з програмним комплексом OPUS, рентгенографічних досліджень за допомогою дифрактометра ДРОН-3.

У третьому розділі наведено результати теоретичних досліджень щодо механізму впливу високодисперсної крейди на процеси структуроутворення цементного каменю і бетону.

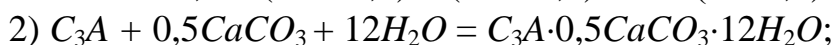
Згідно з теоретичними передумовами при гідратації алюмовмісних клінкерних мінералів C_3A і C_4AF в присутності карбонату кальцію відбувається зміна фазового складу новоутворень, які представлені гідроалюмінатом кальцію $3\text{CaO} \times \text{Al}_2\text{O}_3 \times 6\text{H}_2\text{O}$ і комплексною сполукою гідрокарбоалюмінату кальцію (ГКАК) $\text{C}_3\text{A} \times \text{CaCO}_3 \times 11\text{H}_2\text{O}$.

У системі клінкерні мінерали – карбонатні добавки відбуваються реакції, продуктами яких є кристалічні фази, що характеризуються позитивним поверхневим зарядом. Можливість протікання хімічних реакцій у системі визначається величиною їх вільної енергії Гіббса.

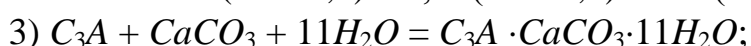
Вільна енергія Гіббса реакцій високодисперсної крейди з продуктами гідратації цементу складає



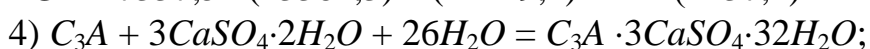
$$\Delta G = -7778,5 - (-3382,3) - (-1797,8) - 10 \times (-237,2) = -226,4 \text{ кДж/моль};$$



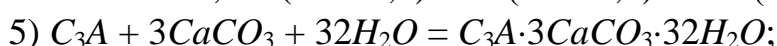
$$\Delta G = -7336 - (-3382,3) - 0,5 \times (-1129,2) - 12 \times (-237,2) = -542,7 \text{ кДж/моль};$$



$$\Delta G = -7337,5 - (-3382,3) - (-1129,2) - 11 \times (-237,2) = -216,8 \text{ кДж/моль};$$



$$\Delta G = -15205,9 - (-3382,3) - 3 \times (-1798,7) - 26 \times (-237,2) = -260,3 \text{ кДж/моль};$$



$$\Delta G = -14567,7 - (-3382,3) - 3 \times (-1129,2) - 32 \times (-237,2) = -206,44 \text{ кДж/моль}.$$

У результаті аналізу хімічних реакцій і величин їх вільної енергії Гіббса ΔG встановлено: у присутності мінеральних добавок можливі всі реакції гідратації трикальцієвого алюмінату C_3A з утворенням кристалогідратів гідросульфо-, гідрокарбоалюмінатів кальцію – AFm та Aft -фаз; величина вільної енергії Гіббса ΔG реакцій припадає на 1 моль C_3A , її величина для однакових умов характеризує перевагу наведених реакцій; реакції взаємодії C_3A з карбонатом кальцію з утворенням AFm та Aft -фаз за наявності реагуючих компонентів є термодинамічно незворотними.

Оскільки в цементі міститься гіпс, карбонатвмісна добавка не вступає в реакцію з C_3A і C_4AF до тих пір, поки гіпс не зв'яжеться у важкорозчинний гідросульфоалюмінат кальцію. Реакція можлива, якщо після утворення гідросульфоалюмінату кальцію залишаються C_3A і C_4AF , що не прореагували з сульфат-іонами. Розраховано кількість карбонату кальцію, що використовується для створення представлених сполук з урахуванням мінерального складу цементу, ступеня гідратації клінкерних мінералів, ступеня засвоєння гіпсу. Для ПЦ І-500Н кількість карбонатних домішок становить 10,7 %. Процес взаємодії карбонату кальцію з продуктами гідратації відбувається на поверхні зерен кальциту, тому кількість добавки карбонату кальцію в структурі бетону має бути більше, ніж розрахункова кількість. При цьому кількість новоутворень у цементному камені збільшується на величину, що відповідає кількості зв'язаного карбонату кальцію.

Проведені дослідження показали, що процес взаємодії карбонату кальцію з продуктами гідратації відбувається на поверхні зерен кальциту. Джерелом карбонату кальцію є високодисперсна крейда – речовина зі змішаними структурними зв'язками, що є сумішшю частинок органічного кальциту, що мають негативний поверхневий заряд за рахунок наявності аморфного кремнезему, і дрібних частинок хемогенного кальциту, що має позитивний

поверхневий заряд. Кремнезем адсорбується на поверхні кальциту, що веде до перезарядки поверхні. При реакції розчинення клінкерних мінералів з утворенням гідросилікатів кальцію спочатку повинна вивільнитися вільна кремнекислота з поверхні високодисперсної крейди, при цьому слід враховувати рН середовища: при рН в межах 3-10 (кисле середовище) основною формою кремнекислоти в розчині є $\text{H}_4\text{SiO}_4^0_{\text{aq}}$, від рН 10 до рН 11,7 – іон $\text{H}_3\text{SiO}_4^-_{\text{aq}}$, а від рН 12,2 і вище – іони $\text{HSiO}_4^{3-}_{\text{aq}}$ і $\text{SiO}_4^{4-}_{\text{aq}}$ (лужне середовище). У лужному середовищі цементного розчину вільна кремнекислота вступає у взаємодію з гідроксидом кальцію з утворенням низькоосновних гідросилікатів кальцію.

Згідно з особливостями структури високодисперсна крейда виконує роль пластифікуючої добавки. Частинки високодисперсної крейди з негативним електроповерхневим зарядом адсорбуються на позитивно зарядженій поверхні цементних частинок, нейтралізуючи її та перешкоджаючи злипанню (рис. 3). Наявність на поверхні хомогенних частинок крейди позитивно заряджених ділянок при взаємодії з мінералами клінкеру призводить до злипання частинок, що веде до розшарування бетонної суміші та погіршення технічних властивостей бетонів (рис. 4), у цьому випадку необхідне використання розчинів органічних пластифікаторів на основі поверхнево-активних речовин ПАР.

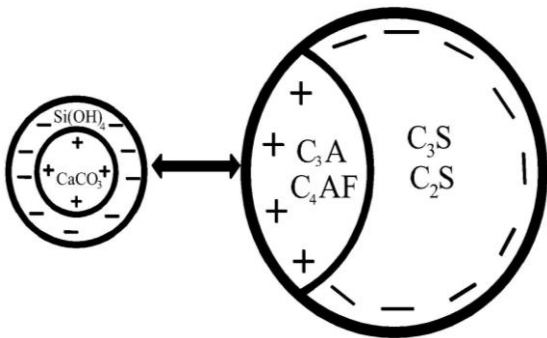


Рис. 3. Схема взаємодії органогенних частинок крейди та мінералів клінкеру

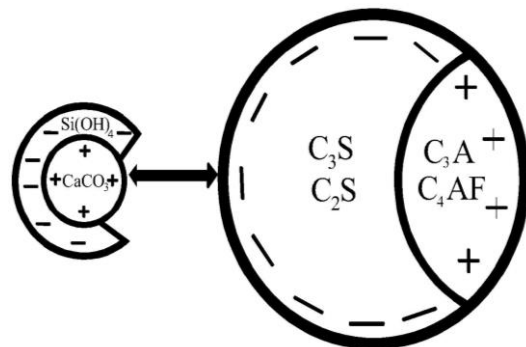


Рис. 4. Схема взаємодії хомогенних частинок крейди та мінералів клінкеру

Для високодисперсної крейди однією з найважливіших характеристик є активність її по відношенню до цементу, що дозволяє їй утворювати додаткові центри кристалізації, при цьому відбувається зміна кількісного співвідношення структуроутворюючих і деструктивних факторів у період синтезу міцності цементного каменю і бетону. Участь високодисперсної крейди обумовлена утворенням ЕГК між продуктами гідратації портландцементу і карбонату кальцію (рис. 5).

Розмір частинок високодисперсної крейди можна порівняти з розміром капілярів цементного каменю, тому додавання їх сприяє утворенню більш щільної структури. На мікрорівні формується оптимальне розташування частинок матриці у прошарках між структуроутворюючими елементами: карбонатні частинки, які погано розчиняються у воді, заповнюють прошарки

між частинками цементу та дрібного заповнювача, що підвищує щільність і знижує проникність бетону (рис. 6, 7).

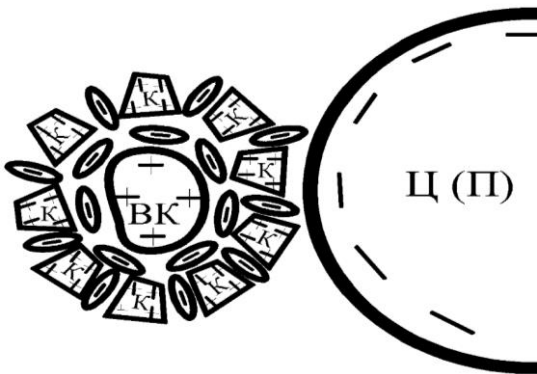


Рис. 5. Схема формування структури цементного каменю в присутності добавки високодисперсної крейди

Оскільки об'єм капілярних пор звичайно не перевищує 40 %, тому для їх наповнення загальний об'єм в'язучого може збільшитися за рахунок дисперсної крейди не більше, ніж на 40 %.

Дослідження впливу добавки високодисперсної крейди на фазовий склад і структуру цементного каменю виконано за допомогою фізико-хімічних методів – інфрачервоної спектроскопії (ІЧС), рентгенографічних (РГ) досліджень та

електронної мікроскопії (ЕМС). Досліджувалася взаємодія високодисперсної крейди з клінкерними мінералами та портландцементом.

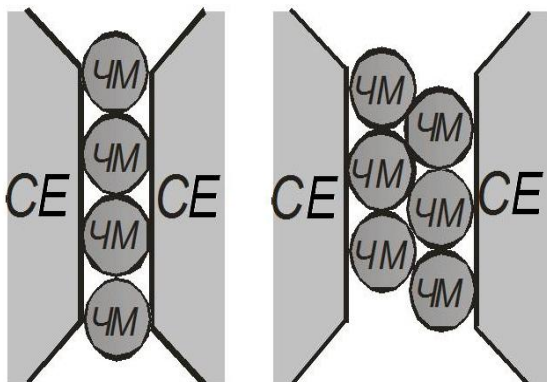


Рис. 6. Оптимальне розташування частинок матриці в прошарках між структуроутворюючими елементами

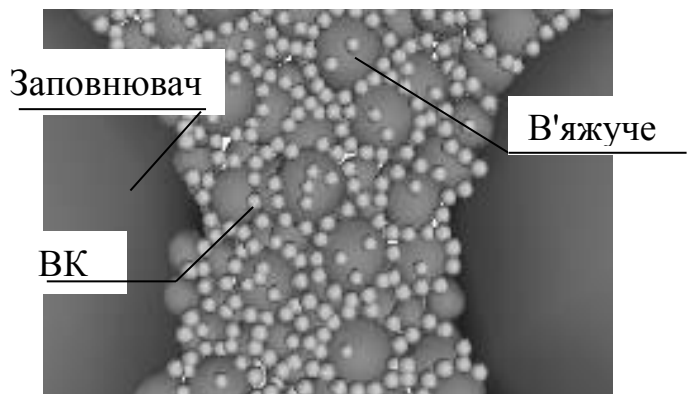


Рис. 7. Просторово-структурна схема розміщення частинок цементу і високодисперсної крейди

На ІЧ-спектрах гідратованої суміші клінкерних мінералів з добавкою високодисперсної крейди присутні смуги поглинання з хвильовими числами, см^{-1} , сполук: 710, 730 – деформаційними коливаннями тетраедра AlO_4^- ; 850, 880, 870, 890 – валентні коливання зв'язків карбонатних груп $[\text{CO}_3]^{2-}$; 980 - 1100 – валентні коливання $\text{Si}-\text{O}$ і $\text{Si}-\text{O}-\text{Al}^{4+}$; 1480, 1460 – деформаційні коливання груп карбонату кальцію гексагональної сингонії, що свідчить про утворення кристалів гідрокарбоалюмінату кальцію $\text{C}_3\text{A}\times\text{CaCO}_3\times 12\text{H}$. На рис. 8 б присутні смуги поглинання з хвильовими числами, см^{-1} : 1640, 3450, 3540 (слабкі) – наявність гідрокарбоалюмінату кальцію (ГКАК) і смуги поглинання з хвильовими числами, см^{-1} : 1620, 3000–3440 см^{-1} – це свідчить про початок перекристалізації гексагональних гідроалюмінатів кальцію типу $\text{C}_4\text{AH}_{13-19}$.

Методами ІЧ-спектроскопії доведено, що добавка високодисперсної крейди призводить до зменшення у складі цементного каменю кількості портландиту $\text{Ca}(\text{OH})_2$ і зниження основності гідросилікатів кальцію, про що свідчить зміщення полоси поглинання в області $900\text{-}1100\text{ см}^{-1}$ (рис. 8).

Поява вказаних сполук підтверджується і даними рентгенографічних досліджень (рис. 9). За даними ІЧ-спектроскопії і РГ досліджень, при заміні 10 % в'язучого добавкою високодисперсної крейди в цементному камені знижується кількість клінкерних мінералів, при цьому кількість портландиту не зменшується.

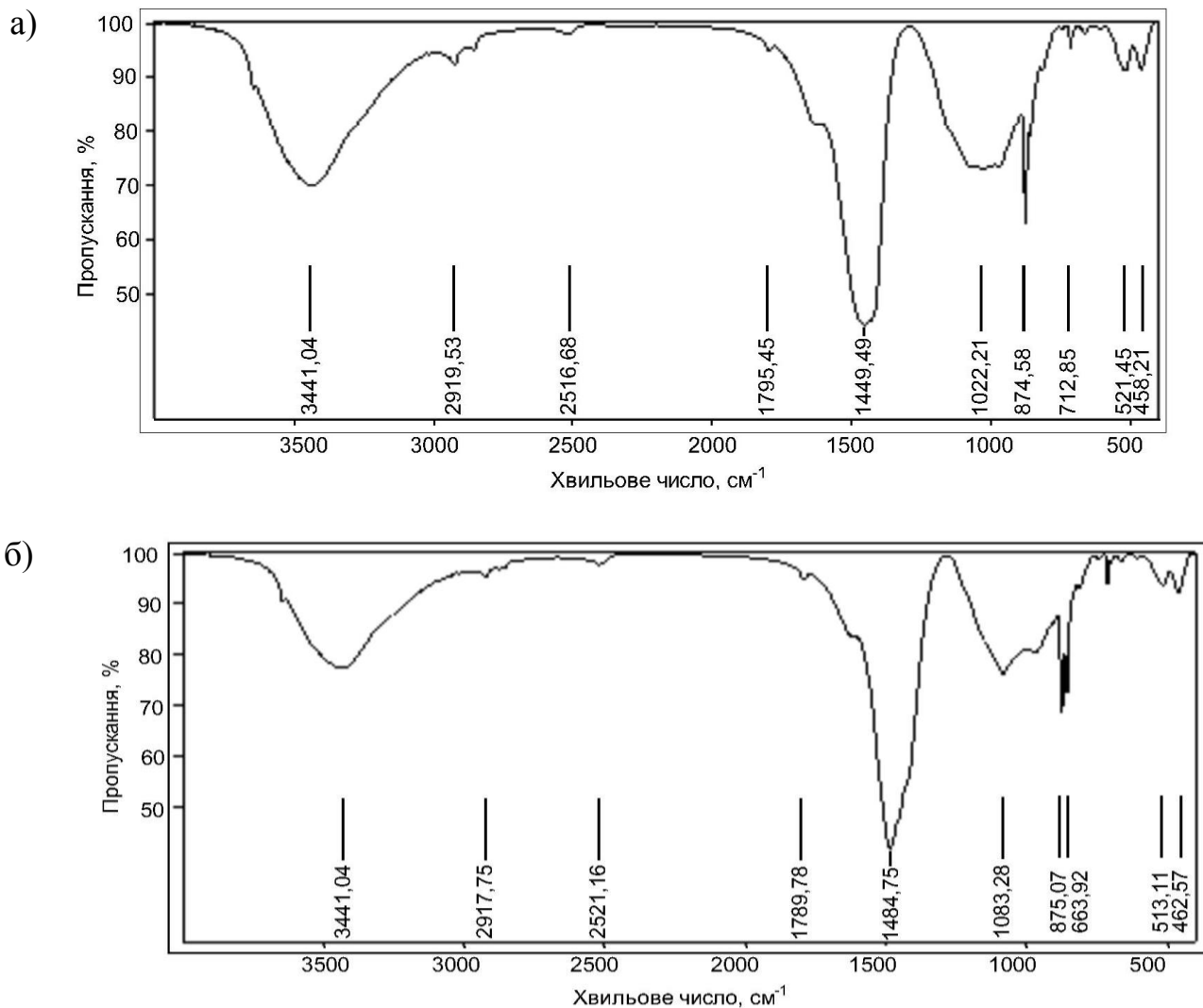


Рис. 8. ІЧ-спектр зразка гідратованої суміші:

а – $\text{C}_3\text{A}+\text{C}_3\text{S}+\text{гiпс}$ (0,5:9:0,5); б – $\text{C}_3\text{A} + \text{C}_3\text{S}+\text{гiпс}+\text{крейда}$ (1:7,5:0,5:1)

При заміні 20 % в'язучого добавкою на рентгенограмах повністю відсутні лінії, що відповідають клінкерним мінералам, тобто портландцемент гідратує повністю, при цьому інтенсивність ліній портландиту дуже низька. Подальше збільшення кількості добавки високодисперсної крейди (30 та 40 %) суттєво не впливає на зміну фазового складу цементного каменю, тобто ефективність

добавки, обумовлена пуцолановим ефектом, обмежена кількістю до 20 % заміни цементу.

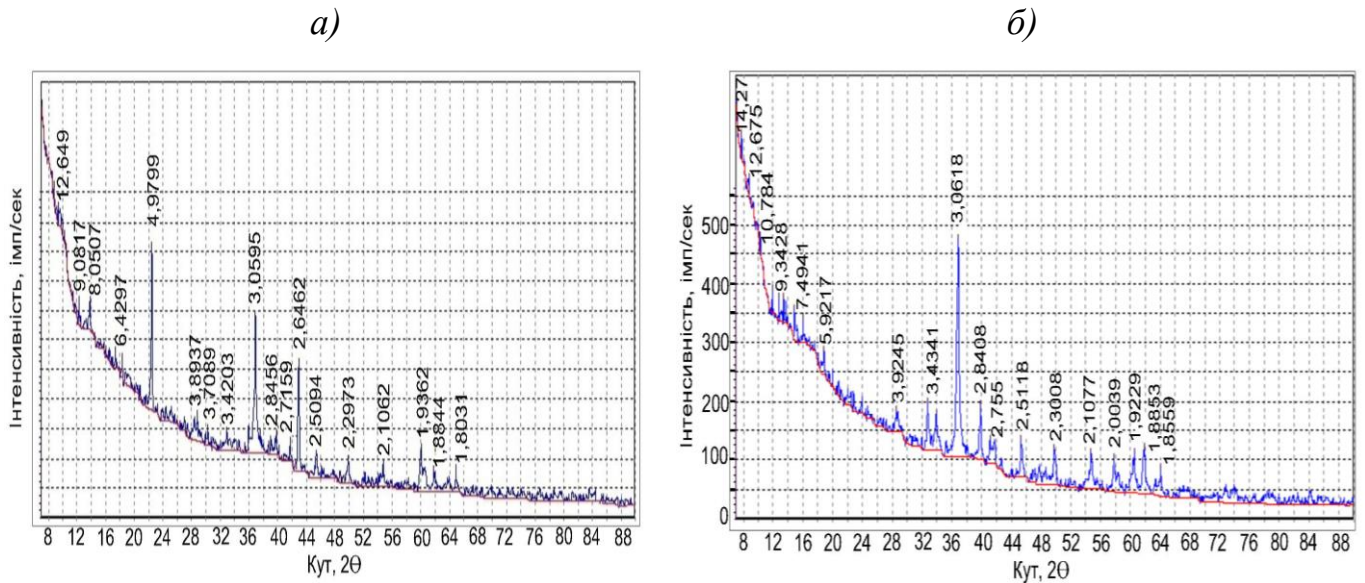


Рис. 9. Рентгенограма цементного каменю, модифікованого 10 % (а) і 20 % (б) високодисперсної крейди

Отже, добавка високодисперсної крейди при заміні частини в'язучого до 20 % призводить до збільшення ступеня гідратації мінералів клінкеру, зниження кількості вільного гідроксиду кальцію та утворення низькоосновних гідросилікатів кальцію.

Проведені електронномікроскопічні дослідження цементного каменю підтвердили, що структура цементного каменю, модифікованого 10 % високодисперсної крейди, є достатньо щільною, наявні кристали портландиту, еtringіту і гідрокарбоалюмінату кальцію типу $3\text{CaO} \times \text{Al}_2\text{O}_3 \times \text{CaCO}_3 \times 10\text{H}_2\text{O}$ або $\text{CaO} \times \text{Al}_2\text{O}_3 \times 3\text{CaCO}_3 \times 31\text{H}_2\text{O}$ (рис. 10).

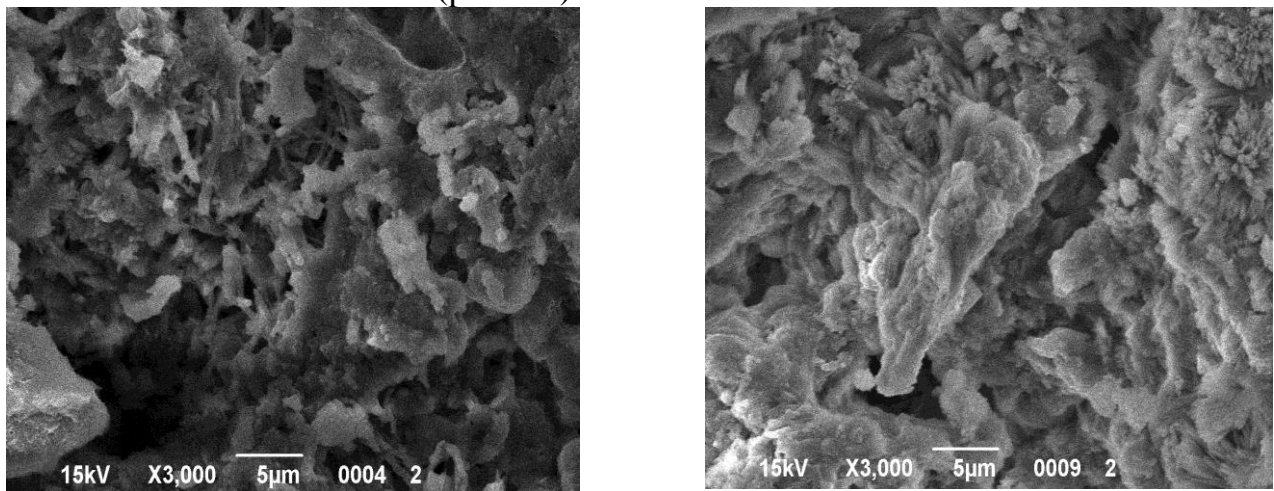


Рис. 10. Мікроструктура цементного каменю, модифікованого 10 % високодисперсної крейди при збільшенні $\times 3000$

За наявності високодисперсної крейди утворюються низькоосновні гідросилікати кальцію – астроподібні кристали, що створює умови для

створення бетонів з високими показниками водонепроникності та корозійної стійкості. Поверхня частинок крейди вкрита аморфним кремнеземом, тому для взаємодії з алюмінатом кальцію необхідно вивільнити карбонатну складову крейди, тобто до початку утворення гідрокарбоалюмінату кальцію поверхневий кремнезем крейди має провзаємодіяти з гідроксидом кальцію рідкої фази цементного каменю.

Структура складу бетонних зразків, модифікованих 20 % і 30 % високодисперсної крейди щільні (рис. 11, 12), відрізняються зменшенням кількості пор, проте у складу бетону з добавкою 40 % крейди структура більш пухка.

Новоутворення, розташовані шарами на поверхні цементних частинок, сформовані у вигляді пластинок з нерівними краями та лусочок, які внаслідок їх слабкої закристалізованості адсорбуються на поверхні. Товщина пластинок і лусочок становить 2–3 нм, вони формують окремі блоки і структуру, яка походить на структуру природного мінералу – торембориту, що дозволяє створити більш щільну структуру.

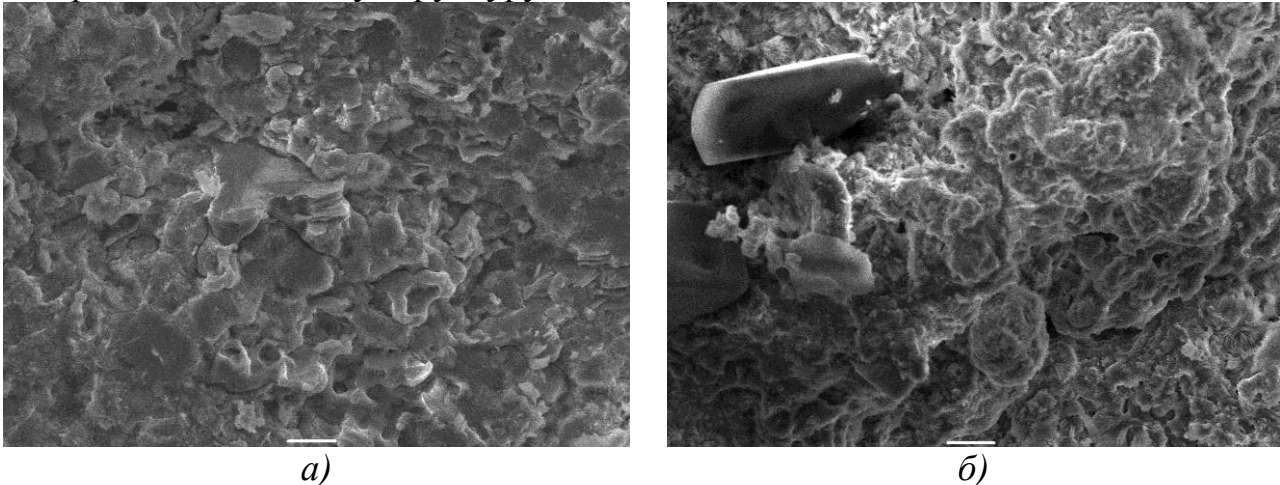


Рис. 11. Мікроструктура цементного каменю при збільшенні $\times 1000$
 а – склад з добавкою 20 % крейди; б – склад з добавкою 30 % крейди;
 1 – пластинки з нерівними краями; 2 – лусочки

У бетоні, що містить 40 % крейди, утворюються нестійкі гідрати типу $4\text{CaOAl}_2\text{O}_3 \times 13\text{H}_2\text{O}$ (C_4AH_{13}) і $2\text{CaOAl}_2\text{O}_3 \times 6\text{H}_2\text{O}$ (C_2AH_6), у складі яких переважають кальцеокисневі іонні зв'язки, що веде до зменшення показників міцності.

Досліджено вплив добавки високодисперсної крейди на міцність цементного каменю. Дослідження показали, що високодисперсна крейда в кількості 10 % у складі цементного каменю у віці 3 діб не змінює міцність зразків порівняно з контрольними зразками без добавки. У віці 7 діб відбувається збільшення міцності цементного каменю зразка на 1,3 %, у віці 6 місяців – на 3 % і 1 року – на 2 % порівняно з контрольним зразком без добавки. Результати дослідження зразків цементного каменю, модифікованого 20 % крейди, доводять, що міцність зразка у віці 3 і 7 діб зменшується на 1,6 %

і 0,9 % відповідно, у віці 3 місяців – на 2,7 %, а у віці 6 місяців і 1 року зменшується на 2,1 % порівняно з контрольним зразком без добавки.

Проведені дослідження зразків, модифікованих 30 % і 40 % крейди показали, що міцність зразків зменшується порівняно з контрольним зразком у всі терміни твердіння. Визначено, що присутність високодисперсної крейди в складі цементного каменю змінює фазовий склад гідратних новоутворень, зокрема призводить до утворення стійких сполук – гідрокарбоалюмінату кальцію і низькоосновних гідросилікатів кальцію. Використання добавки збільшує ступінь гідратації клінкерних мінералів, швидкість формування кристалів і зародкоутворення.

У четвертому розділі наведено результати експериментальних досліджень, спрямованих на перевірку основних теоретичних положень про механізм впливу високодисперсної крейди на фізико-механічні властивості бетонів.

Дослідження фізико-механічних властивостей проводили на зразках, модифікованих 10 %, 20 %, 30 % та 40 % високодисперсної крейди (табл. 1).

Таблиця 1

Склад бетонних зразків

Марка цементу	% крейди від сумарної маси цементу і крейди	Витрати матеріалу, %		В/Ц
		Ц	К	
ПЦ І-500Н	0	100	-	0,466
	10	90	10	0,460
	20	80	20	0,462
	30	70	30	0,468
	40	60	40	0,472

*Ц- портландцемент; К- високодисперсна крейда

Дослідження показали, що вплив високодисперсної крейди на міцність на стиск бетонів неоднаковий.

Для бетонів, модифікованих 10 % високодисперсної крейди приріст міцності спостерігається в усі терміни твердіння порівняно з контрольним складом без добавки і становить від 2 % у 28 діб до 3,5 % у віці 2 років (рис. 12), вони мають щільність вище, ніж у контрольного без добавки (рис. 13).

При збільшенні відсотка високодисперсної крейди до 40 % у складі цементного каменю збільшення міцності на стиск сповільнюється в усі терміни твердіння порівняно з контрольним складом, для цих бетонів характерно і зниження показників щільності, крім зразка, модифікованого 20 % крейди. Щільність такого зразка дорівнює контрольному без добавки.

При введенні пластифікатора в кількості $0,5 \pm 0,05$ % маси цементу за сухою речовиною до складу бетону з високодисперсною крейдою спостерігається збільшення міцності всіх зразків.

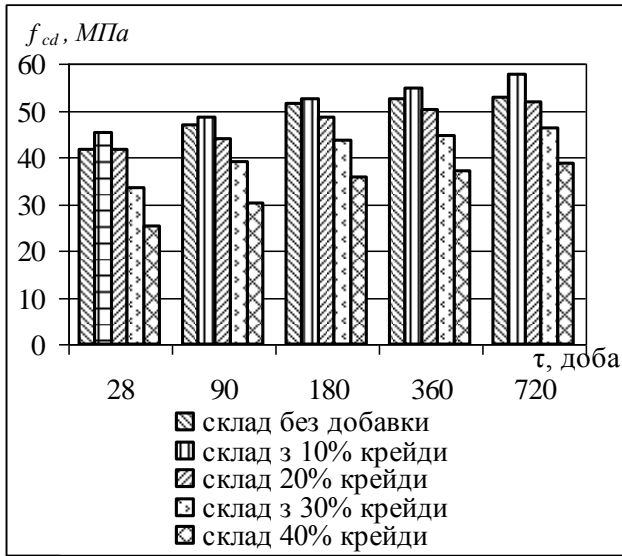


Рис. 12. Кінетика набору міцності бетонів на ПЦ I-500Н

40 % високодисперсної крейди, спостерігається незначне зменшення міцності при згині і становить 3 % і 8 % порівняно з контрольним без добавки, у той час відсоток зниження міцності на стиск у цих бетонів значно вище.

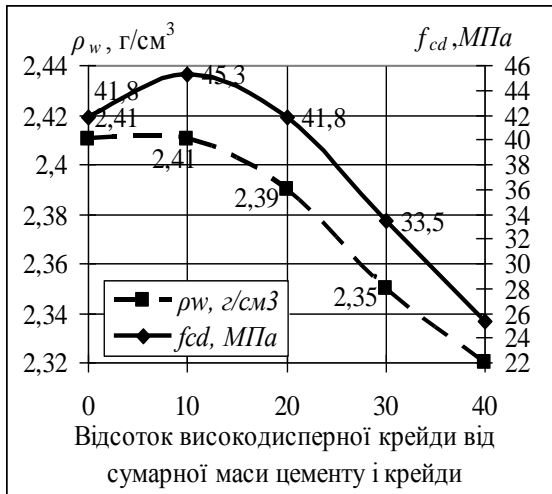


Рис. 13. Залежність міцності на стиск (f_{cd}) та щільності (ρ_w) бетонів від вмісту крейди

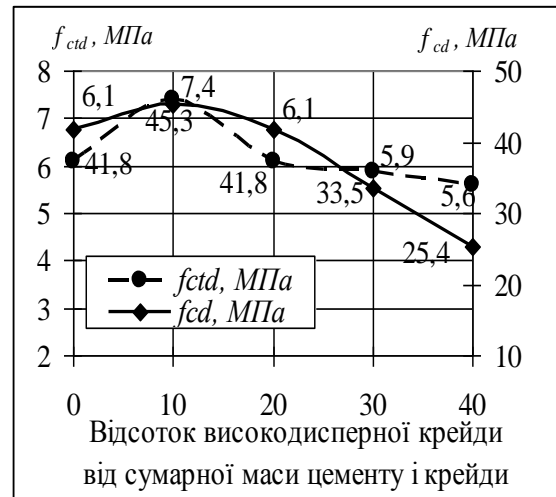


Рис. 14. Залежність міцності на стиск f_{cd} та міцності при згині f_{ctd} бетонів від вмісту крейди

Дослідження водонепроникності бетонів, модифікованих високодисперсною крейдою, показали, що цей показник не залежить від міцності на стиск. Марка за водонепроникності бетонів, модифікованих 20 % і 30 % високодисперсної крейди, підвищується на 20 % і 15 % відповідно. Слід зазначити, що бетони, модифіковані 30 % і 40 % мають високі марки за

водонепроникністю (W_8 , W_6 відповідно), незважаючи на значне зниження міцності при стиску (рис. 15).

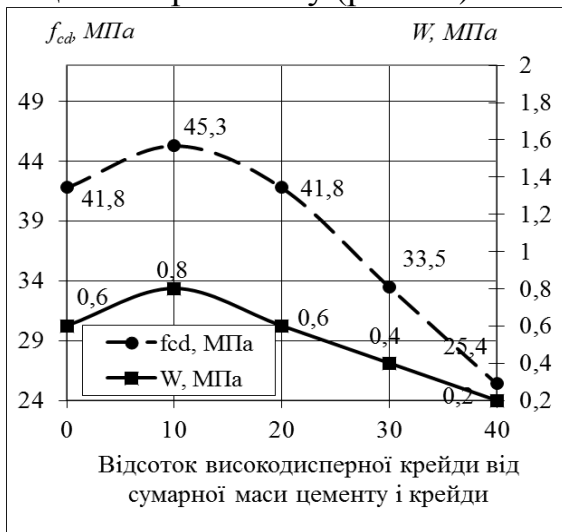


Рис. 15. Залежність міцності на стиск (f_{cd}) та водонепроникності (W) бетонних зразків від вмісту крейди

Отримані підвищені показники водонепроникності забезпечують зниження ступеня впливу агресивного рідкого середовища, зокрема сульфатних і магнезіальних поверхневих і підземних вод.

Морозостійкість бетонних зразків визначалася двома способами: 1 спосіб – при насиченні і відтаюванні зразків у водному середовищі; 2 спосіб – при насиченні і відтаюванні зразків у 5 відсотковому розчині хлориду натрію (NaCl). Для визначення фактичної зміни міцності зразків через задану кількість циклів заморожування і відтавання визначали коефіцієнт морозостійкості

Дослідження морозостійкості показало, що марка за морозостійкості бетону, модифікованого 10 % крейди, становить $F400$, а бетонів, модифікованих 20 %, 30 %, 40 % високодисперсної крейди, становить $F300$ (табл. 2).

Таблиця 2

Коефіцієнти морозостійкості

Відсоток крейди сумарної маси цементу і крейди	Кількість циклів заморожування та відтаювання							
	за 1 способом				за 2 способом			
	100	200	300	400	45	75	110	150
0	1,16	1,2	1,18	0,96	1,21	1,18	1,0	0,75
10	1,18	1,25	1,2	0,98	1,28	1,26	1,15	0,95
20	1,14	1,18	1,12	0,95	1,25	1,21	1,1	0,8
30	1,09	1,12	1,05	–	1,15	1,11	0,89	–
40	1,02	0,95	0,75	–	1,11	1,04	0,82	–

При визначенні деформативності бетонних зразків, модифікованих високодисперсною крейдою, встановлено, що зі збільшенням віку бетонних зразків модулі пружності збільшуються. У віці 180 діб найбільший модуль пружності характерний для бетонного зразка з добавкою 10 % крейди.

Модуль пружності бетонних зразків, модифікованих 20 % високодисперсної крейди, у віці 360 та 540 діб найбільший. Низьке значення

модуля пружності спостерігається в бетонного зразка, модифікованого 40 % високодисперсної крейди в будь-якому віці (рис. 16).

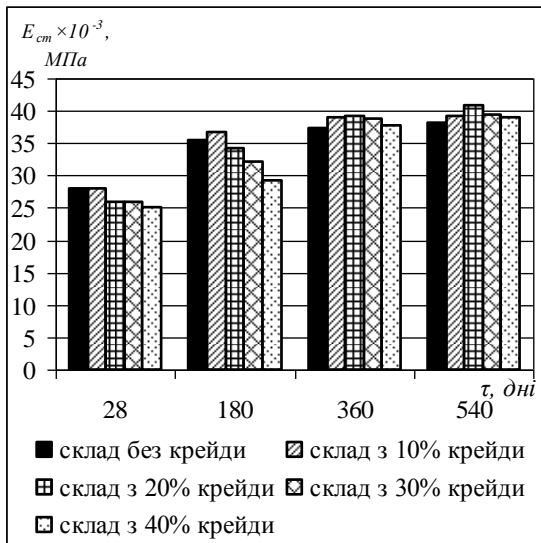


Рис. 16. Зміна значень початкового модуля пружності

Додатки у цих розчинах не дуже стійкий. Для забезпечення підвищення корозійної стійкості оптимальна кількість добавки високодисперсної крейди становить 10-20 %.

Дослідження показали, що введення високодисперсної крейди забезпечує високі показники корозійної стійкості, що оцінювалося за ступенем впливу агресивного середовища на фракцію 140-315 мкм подрібненого цементного каменю. Найбільш агресивними по відношенню до портландцементу і в'язучого, модифікованого високодисперсною крейдою, є чотирикомпонентні розчини (табл. 3).

Зразки з добавкою 10-20 % високодисперсної крейди найбільш стійкі у всіх агресивних середовищах (коефіцієнт стійкості K_c перевищує 85 %), у той час як цементний камінь без

Таблиця 3

Коефіцієнт стійкості цементного каменю

Д Ц+Д %	Початкова міцність на стиск f_{cd} , МПа	Коефіцієнт стійкості, %, в агресивному розчині (номер розчину)*					
		12	13	17	23	27	31
0	41,8	70	78	62	85	76	67
10	41,9	120	103	99	92	90	95
20	38,4	123	99	98	92	85	93
30	33,5	98	95	88	86	93	91
40	25,4	86	91	76	78	87	86

*12 - 0,4NaCl+0,2Na₂SO₄+0,27MgCl₂+0,13MgSO₄; 31 - 0,2MgCl₂+0,8MgSO₄; 27 - MgCl₂)

13 - 0,42NaCl + 0,4Na₂SO₄ + +0,13MgCl₂+0,27MgSO₄;

17- 0,13NaCl+0,27Na₂SO₄+0,2MgCl₂+0,4MgSO₄;

23 - 0,1NaCl+0,1Na₂SO₄+0,4MgCl₂+0,4MgSO₄.

У п'ятому розділі запропонована технологія виготовлення бетонної суміші, модифікованої високодисперсною крейдою. Виконано економічне оцінювання технології виготовлення бетонної суміші, модифікованої високодисперсною крейдою. Показано, що введення високодисперсної крейди до складу бетонної суміші призводить до збільшення терміну служби вхідного вузла житлового будинку. Використання результатів роботи сприятиме

поліпшенню стану навколишнього середовища за рахунок зменшення енерговитрат на виробництво будівельних матеріалів і використання відходів промисловості.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. У результаті критичного аналізу літературних даних встановлено, що в Україні наявні значні запаси висококарбонатної крейди, яка як мінеральна добавка до цементів і бетонів не застосовується через занадто високу питому поверхню, водопотребу, липкість.

Встановлено, що незважаючи на те, що потенціалвизначальними іонами кальциту є катіони Ca^{2+} , який характеризується позитивним поверхневим зарядом, у крейди у водних дисперсіях спостерігається невелике від'ємне значення електрокінетичного ζ -потенціалу з еквіпотенціальною точкою за рН 5–7. Це пояснюється наявністю на поверхнях частинок крейди внаслідок її органічного походження відкладень аморфного кремнезему, гідратовані у водних дисперсіях поверхні якого забезпечують інтегральні негативні поверхневий заряд і ζ -потенціал за рахунок потенціалвизначальних іонів OH^- . Наявність аморфного кремнезему на поверхні частинок крейди визначає інший характер її взаємодії з клінкерними мінералами, ніж з іншими карбонатними породами.

2. Висунуто гіпотезу щодо підвищення міцності, морозостійкості, корозійної стійкості цементного каменю за рахунок введення оптимальної кількості високодисперсної крейди та добавки-суперпластифікатора. Крейда забезпечує утворення гідрокарбоалюмінатів кальцію і низькоосновних гідросилікатів кальцію одночасно, а добавка-суперпластифікатор забезпечує зниження водоцементного відношення з урахуванням підвищеної водопотреби крейди.

3. Розвинуто теоретичні уявлення щодо процесів структуроутворення цементного каменю і бетону в присутності добавки високодисперсної крейди, за якими утворені кристалогідрати гідрокарбоалюмінатів кальцію (з позитивним електроповерхневим зарядом), частинки гелю низькоосновних гідросилікатів кальцію (з негативним зарядом) і частинки кальциту крейди, що не прореагували (з позитивним зарядом), забезпечують збільшення кількості електрогетерогенних контактів у мікроструктурі цементного каменю та більш щільне упакування її елементів.

4. У результаті фізико-хімічних досліджень і термодинамічних розрахунків підтверджено, що введення в бетон високодисперсної крейди та добавки-суперпластифікатора призводить до підвищення ступеня гідратації клінкерних мінералів, збільшення кількості низькоосновних гідросилікатів кальцію та утворення гідрокарбоалюмінату кальцію.

5. Експериментально встановлено, що добавка високодисперсної крейди в кількості 10 % маси цементу обумовлює підвищення: міцності бетону на стиск – на 3,5 %; міцності на згин – на 11,4 %; водонепроникності – на 20 %;

морозостійкості у воді – на 26 %, у розчині $NaCl$ – на 28 %; корозійної стійкості в розчинах хлоридів – на 18 %, сульфатів – на 32 %, магнезійних – на 39 %.

6. Розроблено та впроваджено склади бетону класу C28/35 і C32/40, марки за водонепроникністю W6/W8 для конструкцій різного призначення, до водонепроникності і корозійної стійкості яких висуваються підвищені вимоги. Запропоновано технологічну схему виготовлення бетону з добавкою високодисперсної крейди. Результати досліджень впроваджені під час будівництва житлового будинку. Впровадження результатів досліджень забезпечило досягнення економічного ефекту 172,41 грн/м³ бетону, обумовленого зниженням енергоресурсовитрат на виробництво конструкцій із бетону. Впровадження результатів досліджень забезпечить також підвищення довговічності конструкцій, міжремонтних термінів експлуатації будівель і споруд. Результати досліджень використовуються в навчальному процесі.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Публікації у спеціалізованих виданнях України та у виданнях, включених до міжнародних наукометричних баз:

1. Чепурная С.Н. Морозостойкость бетона на основе вяжущего компонента, содержащего карбонат кальция (мел) / С.Н. Чепурная, М.С. Золотов // Науковий вісник будівництва. – Харків: ХДТУБА ХОТВ АБУ, 2009. – № 54. – С. 66-70. (Особистий внесок: аналіз способів підвищення фізико-механічних характеристик бетону, зокрема морозостійкості.)

2. Чепурная С.Н. Коррозионная стойкость бетона на основе вяжущего компонента, содержащего мел / С.Н. Чепурная, М.С. Золотов // Містобудування та територіальне планування : наук.-техн. зб. – Київ: КНУБА, 2009. – № 35. – С. 468-471. (Особистий внесок: дослідження способів визначення корозійної стійкості, аналіз способів підвищення корозійної стійкості, зокрема сульфатостійкості бетонів.)

3. Чепурная С.Н. Влияние высокодисперсного карбоната кальция на технологические свойства бетонной смеси / С.Н. Чепурная, М.С. Золотов, Т.В. Жидкова // Науковий вісник будівництва. – Харків: ХДТУБА ХОТВ АБУ, 2010. – № 56. – С. 80-85. (Особистий внесок: проведення лабораторних досліджень і технологічних властивостей бетонної суміші, модифікованих високодисперсною крейдою.)

4. Чепурна С.М. Підвищення водонепроникності бетонів з добавкою високодисперсної крейди / Чепурна С.М., Жидкова Т.В., Чепурна М.Є. // Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві: зб. наук. праць – Луцьк, 2016. – Вип. 5. – С. 85–91. (Особистий внесок: експериментальні дослідження з визначення можливості застосування бетонів, модифікованих високодисперсною крейдою для підвищення водонепроникності бетонів.)

5. Чепурная С.Н. Повышение коррозионной стойкости бетона транспортных сооружений добавкой высокодисперсного кальцита / С.Н. Чепурная, А.А. Плугин, О.С. Борзяк // Науковий вісник будівництва. –

Харків: ХДТУБА ХОТВ АБУ, 2018. – № 1(91). – С. 292–298. (Особистий внесок: експериментальні дослідження з визначення можливості застосування бетонів, модифікованих високодисперсним кальцитом – крейдою для підвищення корозійної стійкості бетонів.)

6. Чепурна С.М. Бетони підвищеної водонепроникності з добавкою високодисперсного органогенного кальциту (крейди) / С.М. Чепурна, О.С. Борзяк // Містобудування та територіальне планування: наук.-техн. зб. – Київ: КНУБА, 2018. – № 66. – С. 629–637. (Особистий внесок: експериментальні дослідження з визначення можливості застосування високодисперсного кальциту – крейди для підвищення водонепроникності бетонів.)

7. Чепурна С.М. Гідратація портландцементу в присутності добавки високодисперсної крейди / О.С. Борзяк, С.М. Чепурна // Зб. наук. праць Укр. держ. ун-ту залізнич. трансп., 2018. – Вип. 175. – С. 110–117. (Особистий внесок: розрахована кількість карбонату кальцію, що використовується для створення представлених сполук з урахуванням мінерального складу цементу, ступеня гідратації клінкерних мінералів, ступеня засвоєння гіпсу.) (Міжнародна наукометрична база Index Copernicus.)

Публікації апробаційного характеру

8. Чепурная С.Н. Бетоны на основе вяжущей композиции, содержащей местные материалы, стойкие в сульфатных и магниезиальных агрессивных жидких средах / М.С. Золотов, Т.В. Жидкова, С.Н. Чепурная // Проблемы реализации реформирования отрасли жилищно-коммунального хозяйства: материалы всеукр. науч.-практ. конф. (Харьков, 27–28 ноября 2003 г.) – Харьков: ХНАХГ, 2003. – С. 178. (Особистий внесок: експериментальні дослідження з визначення можливості використання бетонів, модифікованих крейдою в агресивних середовищах.)

9. Чепурная С.Н. Повышение универсальности бетона за счет комплексности добавок, содержащих карбонат кальция / С.Н. Чепурная // XXXIV науч.-техн. конф. преп., асп. и сотр. ХНАГХ: тезисы докладов (Харьков, 12–14 мая 2008 г.) – Харьков: ХНАГХ, 2008. – С. 17-18. (Особистий внесок: дослідження можливості використання крейди в якості добавки для бетону.)

10. Чепурная С.Н. Структурообразующая роль карбоната кальция как одного из составляющих известняка в вяжущем компоненте бетона / С.Н. Чепурная // Градостроительные аспекты устойчивого развития крупных городов: материалы VII междунар. науч.-практ. конф. (Харьков, 21-23 апреля 2009 г.) – Харьков: ХНАГХ, 2009. – С. 61-62. (Особистий внесок: дослідження впливу високодисперсної крейди на структуроутворення бетону.)

11. Чепурная С.Н. Влияние тонкодисперсного мела на новообразования в вяжущем компоненте бетона / С.Н. Чепурная, Т.В. Жидкова // Строительство: проблемы и перспективы: сб. статей по материалам междунар. науч.-практ. конф. (Махачкала, 29–30 марта 2013 г.) – Махачкала: ДГИНХ, 2013. – С. 141-

143. (Особистий внесок: дослідження новоутворень у цементному камені під дією високодисперсної крейди.)

12. Чепурная С.Н. Влияние тонкодисперсного мела на физико-механические показатели бетона. / С.Н. Чепурная, М.С. Золотов, С.В. Волювач, Т.В. Жидкова // Архитектура, строительство, съвременност: шеста Междунар. науч. конф.: сб. доклади (Варна, 31 мая–1 июня 2013 р.) – Варна, 2013. – Т. II – С. 225-233. (Особистий внесок: експериментальні дослідження з визначення фізико-механічних показників бетону.)

13. Чепурная С.Н. Влияние тонкодисперсного мела на водонепроницаемость бетона. / С.Н. Чепурная, Т.В. Жидкова // Perspective Trends in Scientific Research – 2015: Materials of International scientific and practical conference (Bratislava, Slovak Republic, 17–22 October 2015.) – Bratislava, 2015. – V. 2. – P. 156-157. (Особистий внесок: експериментальні дослідження з визначення можливості застосування високодисперсної крейди для підвищення водостійкості.)

14. Чепурная С.Н. Мелкозернистый бетон на основе высокодисперсного мела. / С.Н. Чепурная, Т.В. Жидкова // Economics, Science, Education: Integration and synergy: Materials of International scientific and practical conference (Bratislava, Slovak Republic, 18–21 January 2016.) – Bratislava, 2016. – V. 3. – P. 122. (Особистий внесок: дослідження та оптимізація складів дрібнозернистого бетону добавкою високодисперсної крейди.)

15. Чепурная С.Н. Деформативность бетона с добавкой высокодисперсного мела. / С.Н. Чепурная // Матеріали II міжнар. наук.-практ. конф. "Актуальні проблеми гуманітарних та природничих наук" (Ужгород, 8–9 квітня 2016 р.) – Ужгород, 2016. – Ч. 1. – С. 113-116. (Особистий внесок: експериментальні дослідження з визначення деформативності.)

16. Чепурна С.М. Високодисперсна крейда як добавка для бетонів / С.М. Чепурна, О.С. Борзяк // VI міжнар. наук.-техн. конф. «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд та будівель на залізничному транспорті» (Харків, 19-21 квітня 2017 р.) – Харків, 2017. – С. 78. (Особистий внесок: експериментальні дослідження з визначення можливості застосування високодисперсної крейди як добавки.)

Додаткові публікації

17. Чепурная С.Н. Свойства бетонов модифицированных тонкодисперсным мелом / С.Н. Чепурная, Т.В. Жидкова // Scientific Letters of Academic Society of Michal Valudansky. – 2016. - № 4. – P. 59-62. (Особистий внесок: проведення пошукових досліджень за допомогою інфрачервоної спектроскопії.) (Міжнародна наукометрична база Index Copernicus.)

18. Чепурная С.Н. Анализ использования высокодисперсного мела как минеральной добавки в составе мелкозернистых бетонов. // С.Н. Чепурная, Т.В. Жидкова. // SciencRise. – 2016. – Vol. № 12/2 (29). – P. 65–68. (Особистий внесок: експериментальні дослідження з визначення можливості застосування високодисперсної крейди.) (Міжнародна наукометрична база Index Copernicus.)

АНОТАЦІЯ

Чепурна С.М. Бетон підвищеної водонепроникності та корозійної стійкості з добавкою високодисперсної крейди. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.23.05 – будівельні матеріали та вироби. – Український державний університет залізничного транспорту МОН України, Харків, 2018.

Дисертація присвячена встановленню впливу добавки високодисперсної крейди на процеси структуроутворення цементного каменю та фізико-механічні властивості бетонів, зокрема водонепроникність і корозійну стійкість.

Поглиблено теоретичні уявлення механізму впливу карбонатних добавок різної природи і структури на процеси гідратації і структуроутворення цементного каменю. Обґрунтовано механізм впливу високодисперсної крейди на структуроутворення цементного каменю і бетону з позицій термодинамічних розрахунків. Обґрунтовано і розроблено склад бетонної суміші з оптимальною кількістю добавки високодисперсної крейди для підвищення морозостійкості та корозійної стійкості бетону в агресивному середовищі, що містять хлориди, сульфати та іони магнію.

Запропонована технологічна схема виготовлення бетонної суміші, модифікованої високодисперсною крейдою і з урахуванням зазначеної технології надало можливість визначити техніко-економічний ефект від додавання високодисперсної крейди до складу бетонної суміші. Передбачуваний економічний ефект від виробництва запропонованої бетонної суміші становить 172,41 грн/м³ бетону.

Ключові слова: високодисперсна крейда, кремнезем, гідрокарбоалюмінат кальцію, новоутворення, низькоосновні гідросилікати кальцію.

АННОТАЦИЯ

Чепурная С.Н. Бетон повышенной водонепроницаемости и коррозионной стойкости с добавкой высокодисперсного мела. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.23.05 – строительные материалы и изделия. – Украинский университет железнодорожного транспорта МОН Украины, Харьков, 2018.

Диссертация посвящена установлению влияния добавки высокодисперсного мела на процессы структурообразования цементного камня и физико-механические свойства бетонов, в том числе водонепроницаемость и коррозионную стойкость.

Углублены теоретические представления о механизме влияния карбонатных добавок различной природы и структуры на процессы гидратации и структурообразования цементного камня. Обоснован механизм влияния высокодисперсного мела на структурообразование цементного камня и бетона с позиций термодинамических расчетов. Обоснован и разработан состав бетонной смеси с оптимальным количеством высокодисперсного мела для повышения водонепроницаемости и коррозионной стойкости в агрессивной среде, которая содержит хлориды, сульфаты и ионы магния.

Предложена технологическая схема изготовления бетонных смесей, модифицированных высокодисперсным мелом и с учетом указанной технологии позволило определить технико-экономический эффект от добавления высокодисперсного мела в состав бетонной смеси. Предполагаемый экономический эффект от производства предложенного состава бетонной смеси составляет 172,41 грн/м³ бетону.

Ключевые слова: высокодисперсный мел, кремнезем, гидрокарбоалюминат кальция, новообразования, низкоосновные гидросиликаты кальция.

SUMMARY

Chepurna S.M. Concrete of high water resistance and corrosion resistance with the addition of fine chalk. - The manuscript.

Thesis for a candidate's degree by specialty 05.23.05 - building materials and products. - Ukrainian State University of Railway Transport, Ministry of Education and Science of Ukraine, Kharkiv, 2018.

The thesis is devoted to the determination of the influence of the high-disperse chalk additive on the processes of the formation of a cement stone and the physical and mechanical properties of concrete, in particular water resistance and corrosion resistance.

The theoretical representations of the mechanism of influence of carbonate additives of different nature and structure on the processes of hydration and structure formation of cement stone have been broadened. The mechanism of influence of fine dispersed chalk on the structure of cement stone and concrete from the positions of thermodynamic calculations has been substantiated. The composition of the concrete mixture with the optimum amount of high-dispersion chalk addition to improve the frost resistance and corrosion resistance of concrete in an aggressive environment containing chlorides, sulfates and magnesium ions has been substantiated and developed.

The suggested technological scheme of manufacturing of concrete mixture, modified with highly dispersed chalk, taking into account the indicated technology, has provided the possibility to determine the technologic and economic effect from the addition of highly dispersed chalk to the composition of concrete mix. The expected economic effect of the production of the proposed concrete mix is 172.41 UAH/1m³ of concrete.

Key words: highly dispersed chalk, silica, calcium hydrocarboaluminate, neoplasms, low calcium hydrosilicates.