

О.О. Шишкін, І.О. Піскун

Криворізький національний університет

РЕГУЛЮВАННЯ ПОРИСТОСТІ ДРІБНОЗЕРНИСТОГО БЕТОНУ ВИГОТОВЛЕНОГО НА ШЛАКОПОРТЛАНДЦЕМЕНТІ

Об'єктом дослідження є дрібнозернистий бетон на шлакопортландцементі. Недостатня вивченість довговічності, зокрема водопоглинання, як основного чинника, який сприяє доступу агресивного середовища до внутрішнього об'єму бетону, обмежує поле використання шлакопортландцементу. Тому метою досліджень було зменшення водопоглинання шлакопортландцементу, що було досягнуто використанням води, активованої за гідрофобним механізмом гідратації

Ключові слова: дрібнозернистий бетон, шлакопортландцемент, гідратація, модифікація, поверхнево-активні речовини, активація води

Постановка проблеми

Будівництво, що бурливо розвивається в сучасному світі, збігається за часом зі зростанням витрат на експлуатацію і на ремонт вже існуючого гігантського фонду інфраструктури. Бетони і будівельні розчини, які є основою будівництва, являють собою капілярно-пористі тіла та мають гідрофільні властивості. Це негативно позначається на бетонних, залізобетонних та кам'яних конструкціях, викликаючи їхню корозію при експлуатації. Одним із основних факторів, що визначають довговічність бетону при дії на нього агресивних середовищ, є його густина. Зменшення водопроникності бетону полегшує будівельні роботи, зокрема дозволяє створювати великі бетонні блоки для гідротехнічних споруд. При будівництві спеціальних споруд, таких як ємності та резервуари, пред'являються особливі вимоги до густини бетону, яка підвищується не тільки за рахунок підбору складу бетону, а й застосування різних добавок: органічних та неорганічних. До цих добавок відносяться електроліти, а також полімерні матеріали, наприклад фуриловий спирт із солянокислим аніліном та різні латекси. Однак наявність в затверділому камені, отриманому в наслідок твердіння цементу, добавок або продуктів їх взаємодії з компонентами цементу, призводить до зміни характеру взаємодії продуктів гідратації цементу із зовнішнім середовищем, що непередбачено впливає на довговічність бетону. Тому на цей час існує проблема, яка полягає у створенні надійних та довговічних залізобетонних конструкцій та забезпеченні сприятливих умов їх експлуатації. Світова практика показує, що вирішення цієї проблеми є далеко не просте завдання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Кількість води, яка додається до цементу при приготуванні бетону значно більша, ніж потрібно для її хімічного зв'язування в продуктах твердіння в'язучого. Зайва вода випаровується, залишаючи пори, що збільшує пористість цементного каменю та збільшує його проникність для агресивних середовищ, тим самим знижуючи стійкість та довговічність. Отже, збільшення густини цементного каменю, тобто зменшення його пористості, може включати метод зменшення кількості води, що випаровується в цементному камені і бетоні. Одним із способів зниження кількості води, що випаровується з бетону, є використання так званих бетонів нового покоління, зокрема на різних типах в'язучих з низьким водоспоживанням [1]. Але питання їх довговічності залишається невирішеним у зв'язку з тим, що гідратація портландцементу відбувається не повною мірою. Ще один вид бетону нового покоління отримують із використанням нанодобавок різного типу [2,3]. В тому числі техногенного походження [4,5]. В роботах [6,7] використовували суміші мінеральних дисперсійних систем техногенного походження, які мають у своєму складі d-елементи. Дослідження означених систем проводилися також на портландцементі або комплексних в'язучих речовинах різних типів, зокрема шлаків [8]. Але виробництву цих бетонів заважає складність рівномірного розподілу нанодобавок в об'ємі бетону. Тому такі бетони мають високу міцність в ранньому віці, але й високу неоднорідність властивостей. Зазначені вище недоліки бетонів нового покоління перешкоджають їх широкому застосуванню. Очевидно, що чим більше води під час твердіння цементу зв'язується в стійкі, міцні

мінерали, тим менше усадка цементного каменю і вища його густина α , отже, його спроможність опиратися проникненню агресивного середовища в «тіло» бетону. Ще одним шляхом зменшення пористості бетону є запропоновані в роботі [9] пластифіковані цементні системи зі зниженим вмістом клінкерної складової. В роботі [10] наведено результати досліджень системи «портландцемент цемент – вода – поверхнево-активна речовина». Показано, що швидкість формування структури цементного каменю визначається мінералогічним складом портландцементу. В роботі [11] також показано, що швидкість формування структури бетону залежить від сумісності застосованих поверхнево-активних речовин – пластифікаторів з різними за складом портландцементів. Недоліком означених робіт є використання тільки одного виду цементу – портландцементу, а також значний вміст пластифікаторів. Варіантом подолання наведених недоліків може бути, як показано в роботі [12], використання поверхнево-активних речовин в надмалих дозах для зміни структури води. Саме такий підхід використаний в роботі [13], де показано підвищення міцності бетону при зміні структури води за рахунок гідрофобної гідратації, а в роботі [14] за гідрофільної гідратації.

Незважаючи на практичну значущість результатів, наведених в проаналізованих роботах, в достатній мірі не розглянуто кінетичні закономірності процесів формування міцності бетону із використанням поверхнево-активної речовини, застосованої у надмалих дозах. Окрім цього бетони, результати досліджень яких наведено в перелічених роботах, отримували і досліджували із використанням портландцементу який має високу вартість, що обумовлює високу вартість виробів з нього. Окрім цього виробництво портландцементу значно впливає на екологічне середовище через значне використання природних ресурсів та енергії. Виробництво шлакопортландцементу, за рахунок значного вмісту відходу металургійного виробництва в складі цементу, значно менше впливає на навколишнє середовище. Тому недостатня визначеність впливу поверхнево-активних речовин, що вводяться в надмалих концентраціях на швидкість формування міцності дрібнозернистих бетонів на основі шлакопортландцементів, обумовлюють доцільність проведення досліджень в цьому напрямку.

У роботі [15] представлені результати досліджень впливу води, модифікованої з використанням механізмів гідрофобної гідратації, на швидкість формування структури дрібнозернистого бетону на шлакопортландцементі. Показано, що використання модифікованої таким чином води

призводить до значного збільшення швидкості формування міцності бетону. Окрім того, оскільки шлакопортландцемент має меншу швидкість формування структури, а відповідно і пористості, ніж портландцемент, для нього доцільніше, ніж для портландцементу, використання води, модифікованої за рахунок гідрофобних механізмів гідратації. Але дослідження пористості таких систем не проводили. Це дає підстави стверджувати, що доцільно провести дослідження щодо вивчення впливу води, модифікованої за механізмом гідрофобної гідратації, на формування пористості дрібнозернистих бетонів на шлакопортландцементі.

Формулювання мети

Метою дослідження є визначення впливу модифікованої за рахунок гідрофобної гідратації води на відкриту пористість дрібнозернистого бетону на основі шлакопортландцементу.

Для досягнення мети були поставлені такі завдання:

- визначити вплив води, модифікованої за механізмом гідрофобної гідратації, на змінення відкритої пористості дрібнозернистого бетону на основі шлакопортландцементу;

- визначити вплив водоцементного відношення на величину відкритої пористості дрібнозернистого бетону на основі шлакопортландцементу, отриманого із застосуванням води, модифікованої за механізмом гідрофобної гідратації.

Виклад основного матеріалу

Методика проведення дослідження ґрунтувалася на теоретичних та емпіричних методах, які базуються на експерименті, порівнянні, узагальненні, системному підході, математичному моделюванні, плануванні та обробці результатів експериментів. Робота виконана із застосуванням системно-структурного підходу будівельного матеріалознавства «склад – структура – властивості». Експериментальні дослідження проводилися на лабораторних зразках, виготовлених та випробуваних на повіреному обладнанні за чинними нормативними документами України із застосуванням стандартних методів випробувань.

Дослідження проводили з використанням цементу ШПЦ Ш/А-400 ПрАТ «Heidelbergcement Кривий Ріг», що містить 75 % доменного гранульованого шлаку, і модифікатора – вуглеводня цукрози. В якості дрібного заповнювача використовували річковий дніпровський пісок. Компоненти бетонної суміші змішували з водою до отримання вологості, визначеної планом експерименту, і перемішували цю масу 4 хв. Добавку-модифікатор вводили водним розчином. Експериментальні зразки з розміром сторін

40x40x160 мм виготовляли методом вібраційного формування. Частина зразків після твердіння на повітрі протягом 3-х діб продовжувала твердіти у повітрі, а інша частина – у воді. Визначення впливу модифікатора на твердіння цементного каменю на ранніх стадіях проводили на зразках цементу з В/Ц 0,45, 0,50 і 0,55. Основними показниками властивостей бетонних зразків, що визначалися в експерименті, було обрано: пористість бетону та його міцність при стиску. Визначення означених показників здійснювалось за методикою відповідних Державних стандартів України. Зокрема в дослідах контролювали відкриту пористість бетону, величину якої визначали за величиною водопоглинання. Результати визначення пористості зразків цементного бетону на ранніх стадіях твердіння з В/Ц= 0,45–0,55 представлені на рис. 1.

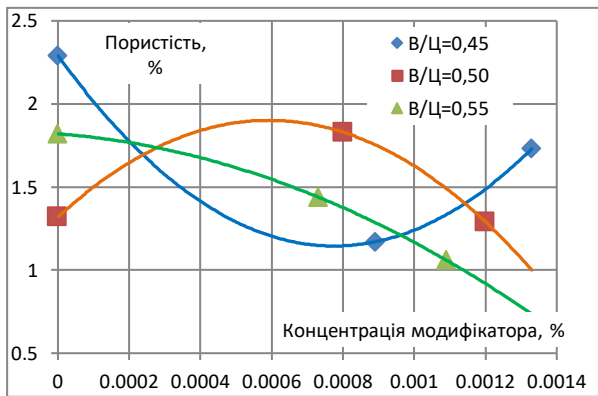


Рис. 1 Вплив концентрації модифікатора у воді на величину відкритої пористості бетону

Необхідно зазначити, що, як показують результати експериментів, ступінь впливу води, модифікованої за механізмом гідрофобної гідратації, на пористість бетону залежить від величини водоцементного відношення. При водоцементному відношенні до 0,5 залежність величини пористості від концентрації модифікатора має вид близький до параболи. При цьому спостерігається мінімум величини пористості при концентрації модифікатора у воді близько 0,0007 %. В той же час, при водоцементному відношенні 0,5 та більше, взаємозв'язок між концентрацією модифікатора у воді та величиною пористості бетону, що має також вид параболи, яка має максимум величини пористості при концентрації модифікатора у воді близько 0,0007 %. Але ж при певних концентраціях модифікатора пористість бетону стає меншою ніж у бетону без добавок. Аналіз експериментальних даних (рис. 2-4) показує деяку невідповідність взаємозв'язку між пористістю бетону та його міцністю при стиску.

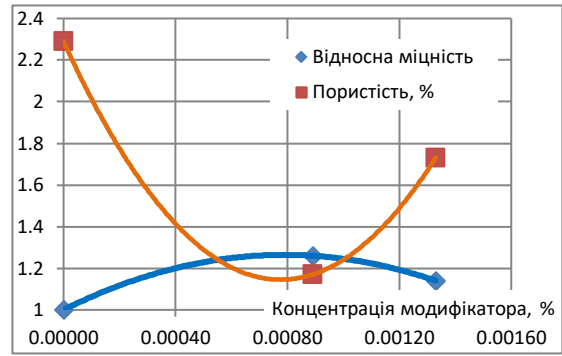


Рис. 2 Відносна міцність і пористість бетону (В/Ц = 0,45)

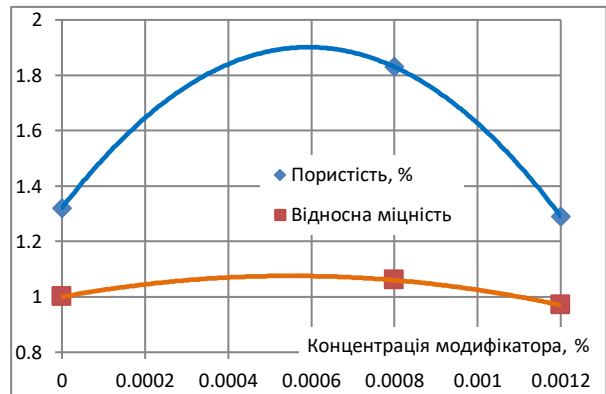


Рис. 3 Відносна міцність і пористість бетону (В/Ц = 0,50)

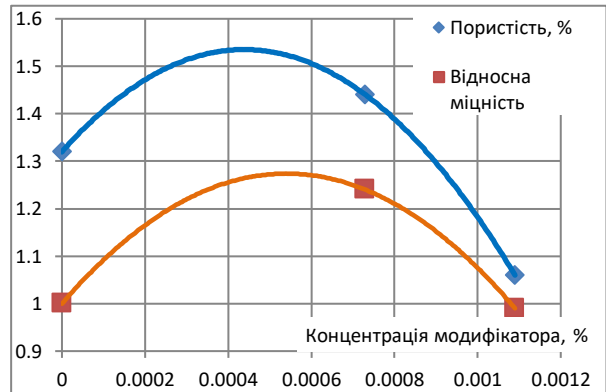


Рис. 4 Відносна міцність і пористість бетону (В/Ц = 0,55)

Так при В/Ц до 0,5 спостерігається «класичний» зв'язок між пористістю бетону та його міцністю. Тобто зменшення пористості бетону відповідає збільшенню його міцності. При В/Ц 0,5 і вище для бетонів, що досліджуються, спостерігається не «класичний» зв'язок між пористістю бетону та його міцністю. Тобто збільшення пористості бетону корелюється із збільшенням його міцності.

Отримані результати можна пояснити наступним чином. В якості теоретичної основи обґрунтування отриманих результатів використані фундаментальні положення: формування поверхні цементних частинок при подрібненні [17], теорії міцелярного каталізу [18,19], колоїдної хімії та фізико-хімічної механіки дисперсних систем [20].

При супермалих концентраціях наномодифікатора, його розчин у воді, згідно з положеннями фізичної і колоїдної хімії, являє собою «вільну» дисперсну систему, частинки дисперсної фази якої практично не здійснюють вплив одну на одну. Однак у такій системі існують сили Лондона – Ван-дер-Ваальса. Виникнення цих сил пов'язано з тим, що в атомах внаслідок руху електронів виникають дипольні моменти, які вчиняють в просторі коливання. Коливний диполь одного атома поляризує інший атом, в результаті виникає взаємне притягання. Сили Лондона – Ван-дер-Ваальса, що виникають при взаємодії колоїдних частинок внаслідок адитивності дисперсійних сил взаємодії між частинками, проявляються на значних відстанях. Графічна інтерпретація зміни величини сили Лондона – Ван-дер-Ваальса дана на рис. 5.

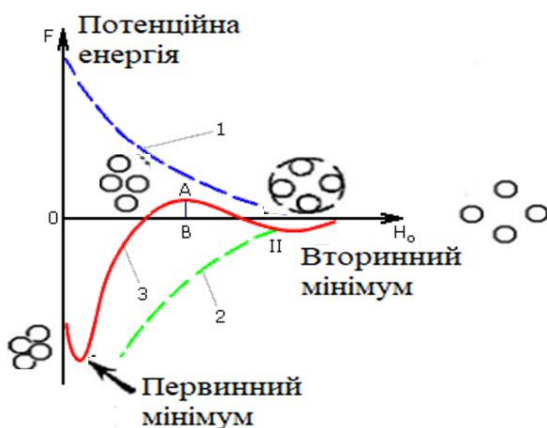


Рис. 5 Залежність енергії притягання і відштовхування від відстані між молекулами
1 - енергія притягання; 2 - енергія відштовхування; 3 - сумарна енергія

Теоретичний розрахунок показує, що якщо глибина дальнього мінімуму (ділянка в на кривій 3) велика, то частинки не можуть покинути потенційної ями і залишаються фіксованими на відстані. Такий стан частинок є рівноважним. Тому вони не розходяться і не зближуються, продовжуючи своє існування і переміщаючись у вигляді пари. До такої пари приєднуються інші частинки, утворюючи більш складні агрегати на основі тієї ж «далекої» взаємодії. При цьому кожна частинка зберігає свою індивідуальність, а система в цілому свою дисперсність на відміну від коагуляції,

пов'язаної з «ближньою» взаємодією. Тобто, під дією наномодифікаторів, розташування молекул води, їх конформації змінюються, що призводить до утворення флуктуацій молекул води, між якими проявляються міжмолекулярні сили. Ці сили сприяють утворенню просторових сіток, що носять назву флуктуаційних сіток. На підставі викладеного теоретичну модель початкової фази взаємодії цементу із структурованою водою можна представити таким чином.

В процесі гідратації цементу виникає одна проблема – брак води для здійснення гідратації при значеннях V/C , яке не перевищує деяку величину $[V/C]_m$, розвиток внаслідок цього аутогенної усадки [21] та «вторинна» гідратація не гідратованих частинок цементу в процесі існування цементного каменю, що призводить до виникнення внутрішніх напруг та зменшує його довговічність. При $V/C > [V/C]_m$ за рахунок підвищеної кількості води відбувається часткова дезагрегація цементу, що і збільшує його реакційно-активну поверхню в порівнянні із складом з $V/C \leq [V/C]_m$. Однак цементне тісто із суперпластифікатором при $V/C > [V/C]_m$ має знижене тепловиділення в порівнянні зі цементним тістом при $V/C \leq [V/C]_m$. Підвищене V/C призводить до збільшення вмісту портландиту в цементному камені в усі терміни гідратації та твердіння цементу. Це доводить, що підвищене V/C вимагає більшої кількості $Ca(OH)_2$ для створення рН середовища ≈ 12 , необхідного для гідратації цементу та стабільного існування всіх гідратних фаз. У свою чергу підвищена кількість $Ca(OH)_2$ вимагає більше часу на накопичення іонів кальцію, це підтверджує збільшений індукційний період і уповільнення активної стадії гідратації цементу при підвищеному V/C . Так як при підвищеному V/C для пересичення рідкої фази та утворення $Ca(OH)_2$ потрібно більше іонів кальцію, то гідросилікати кальцію формуються зі зниженим відношенням CaO/SiO_2 . Тобто при підвищеному V/C гідросилікати кальцію мають дещо знижену основність (відповідно й більшу міцність), порівняно з гідросилікатами, що формуються за низького V/C . Але міцнісні показники цементного каменю при $V/C > [V/C]_m$ набагато нижчі ніж при $V/C \leq [V/C]_m$, що пов'язано з підвищеними пористістю цементного каменю та вмістом портландиту, який, як відомо, має міцність суттєво нижчу, ніж міцність інших гідратних фаз. Цементний камінь, у тому числі виготовлений із низьким водоцементним відношенням, не є повністю інертним матеріалом. Процеси гідратації цементу, хоч і мляво, тривають (звісно, за наявності вологи) десятиліттями. Куди надходять новоутворення? І чи не призведуть вони до руйнування матеріалу завдяки прояву деформацій, що розклинають, з паралельним збільшенням

об'єму матеріалу і зниженням його міцнісних та інших супутніх характеристик?

На основі викладеного можна зробити такий висновок. Для кожного цементу, який має певний мінералогічний та гранулометричний склад, за певних характеристик навколишнього середовища, в умовах якого відбувається гідратація цементу, існує деяка величина водоцементного відношення $[В/Ц]_м$ зменшення В/Ц менше якої призводить до небезпеки виникнення великих внутрішніх напруг, які обумовлюють можливість саморуйнування цементного каменю, тобто до зменшення його довговічності. Ліквідація ж недоліків системи «цемент – вода» при $В/Ц \geq [В/Ц]_м$ таких як підвищена пористість дозволить отримати високоміцні та довговічні бетони.

Виконаними дослідженнями встановлено, що введення гідрофобних ПАР в надмалих дозах (з концентрацією водяного розчину від 0,0002% до 0,002%) призводить до утворення рівномірно розподілених пір в цементному камені, в які мігрують портландит і етtringіт, що утворюються. В результаті формується структура цементного каменю з підвищеним вмістом високоміцних низькоосновних гідросилікатів кальцію. Це призводить до збільшення міцності цементного каменю практично в 2 рази [15].

В умовах експерименту визначено величину $[В/Ц]_м$ яка дорівнює 0,5 (із аналізу характеру залежності пористості бетону від концентрації модифікатора, яка наведена на рис. 1). Означений ефект виникає через структурування води застосованим у визначеній концентрації модифікатором, який за рахунок механізму гідрофобної гідратації призводить до виникнення у воді значної кількості протонів. Після змішування цементу з водою, між нею і протилежно зарядженими областями частинки цементу виникають сили електростатичного притягання. Тому молекули води, яка внаслідок структуризації під впливом введених органічних речовин заряджена негативно, групуються біля активних центрів C_3A , C_4AF , заряджених позитивно, та прагнуть компенсувати товщиною сольватної оболонки потенціал їх поверхні. Виникає подібність до класичного електричного шару з ядром міцели – цементним зерном (флокулою) і водною сольватною оболонкою. Остання являє собою шар рідини, частина якої в зоні контакту з активними центрами поверхні цементу орієнтується в її силовому полі, утворюючи «групу» щільно взаємо-розташованих поляризованих молекул води. В даному випадку відмінність системи «цементне ядро – вода сольватної оболонки» полягає в тому, що групи молекул води формуються не тільки у активних центрів на поверхні твердої фази частинок цементу,

а й в глибині їх гіпераморфізованого шару. З часом означені молекули води створюють напруги, що перевищують енергію зв'язку всередині об'єму твердої фази. Тим самим, за визначенням Д.І. Менделєєва, забезпечується необхідна і достатня умова для розчинення останньої. Відмінністю системи «цементна частинка – структурована вода» є те, що при зіткненні її реагентів молекули води (відповідно й протони) активно поглинаються гіпераморфізованим шаром цементної частинки. Протони, що проникають в гіпераморфізований шар та аморфізований шар частинки цементу, володіють аномально високою рухливістю – $3,26 \cdot 10^{-5}$ м/с при напруженості електричного поля 1 В/см і високою проникаючою здатністю (так як їх розміри на кілька порядків менше розмірів кристалічної решітки клінкерних мінералів цементу) і зв'язуються міцним зв'язком з електронегативними атомами кисню та утворюють гідроксіліони. Міграція протонів всередину кристалічних ґрат цементних мінералів призводить до того, що протони вступають в реакції іонного обміну з катіонами Ca^{2+} . За рахунок цього відбувається руйнування поверхневого шару частинок цементу з утворенням нанодисперсних гідратованих частинок, розміром 5-10 нм. В результаті чого поряд з гідроксилами утворюються аквакомплекси кальцію і первинні молекули портландиту. Поява активних Ca^{2+} , $(SiO_4)^4-$, H_3O^+ , OH^- і ін., їх швидкоплинна взаємодія і є причиною підвищення міцності бетону при $В/Ц > [В/Ц]_м$ не зважаючи на збільшення його пористості. Так як протони з молекул води на поверхні мігрують всередину вихідного кристала цементу, закріплюючись на акцепторі з утворенням стійких частинок OH^- , то в протилежному напрямку відбувається переміщення атомів кальцію і, в меншій мірі, кремнію назовні в розчин через продукти гідратації. При гідратації C_3S спочатку здійснюється топохімічна реакція протонізації недонасичених атомів кисню в структурі C_3S .

Одночасно проходить мимовільна дезагрегація цементних флокул, яка під впливом структурованої води розвивається завдяки виникненню відштовхуючих (розклинюючий ефект) зусиль тонких плівок рідини при змочуванні поверхні контактуючих частинок цементу. В результаті в гирлі таких «тріщин» формуються плівки рідини, що переходять в моношари з орієнтованих молекул води, виникає зусилля взаємного відштовхування однойменно заряджених поверхонь та руйнування флокул. Так як гідратовані частини цементу мають негативний заряд поверхні, тому наявність структурованої води, яка також має негативний заряд, запобігає їх коагуляції. В подальшому протони за допомогою дифузії молекул адсорбуються на поверхні кисневих вузлів

кристалічних решіток гідратованих C_3A з утворенням водневого сорбційного зв'язку з атомом кисню.

Отримані результати досліджень дозволяють стверджувати про визначення певного механізму процесів гідратації шлакопортландцементу в присутності модифікатора, який активує воду за рахунок гідрофобної гідратації, що є певними перевагами даного дослідження.

Однак неможливо не відмітити, що результати визначення міцності дрібнозернистого бетону вказують на неоднозначний вплив активованої гідрофобною гідратацією води на зміни механічної міцності. Це проявляється, в першу чергу, в характері зв'язку між величиною пористості та величиною міцності бетону. Така невизначеність накладає певні обмеження на використання отриманих результатів.

Неможливість зняти названі обмеження в рамках даного дослідження породжує потенційний напрям подальших досліджень. Вони, зокрема, можуть бути орієнтовані на виявлення складу новотворів в процесі гідратації системи «шлакопортландцемент – вода модифікована в процесі гідрофобної гідратації». Таке виявлення дозволить дослідити мікроструктурні перетворення, що відбуваються в цей час, та визначити вхідні змінні процесу, що суттєво впливають на перетворення.

Висновки

1. Проведеними дослідженнями встановлено, що активація води застосуванням механізму гідрофобної гідратації суттєво впливає на змінення характеру процесів тужавлення і структуроутворення дрібнозернистого бетону, що має практичне значення для бетонів на шлакопортландцементі.

2. Особливості формування структури дрібнозернистого бетону, який отримано на основі води активованої застосуванням механізму гідрофобної гідратації полягають у неоднозначному впливі кількості модифікатора води на міцність та пористість бетону. Характер взаємозв'язку між пористістю та міцністю бетону залежить від водоцементного відношення в бетоні. Найбільш оптимальна концентрація модифікатора у воді складає від 0,0005% до 0,0008%. Але при В/Ц 0,5 і більше максимальна міцність бетону досягається при максимальній його пористості, що потрібно враховувати при визначенні умов експлуатації бетону.

Окремо потрібно зауважити, що проведені експерименти підтвердили основні положення теорії надмалих концентрація, яка до цього часу не

застосовувалася для прогнозування властивостей бетону.

Література

1. Schmidt, M. Von der Nanotechnologie zum Ultra - Hochfesten Beton. // 16 Intern. Baustoff. Konf. Weimar, 2006,2, 1405–141
2. Тевяшев А. Д. Шумиков Е. С. О возможности управления свойствами цементобетонів с помощью наномодификаторов. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies [this link is disabled](#), 2009, 4/7 (40), 35–40
3. Бєліченко О.А. Толмачов С.М. Дослідження фізико-хімічних властивостей водних суспензій мікронаповнювачів з суперпластифікаторами. Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. 2020.38. 67-77.
4. Сторчай Н. С. Савін Ю. Л., Волнянська І. П. Науково-технічне обґрунтування використання мінеральних дисперсних систем техногенного походження. Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. 2020.38.277-282
5. Shishkin A. Netesa N, Scherba V. Effect of the iron-containing filler on the strength of concrete. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2017,5/6 (89). 11-16 <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.109977>.
6. Shishkina, A. Research into effect of complex nanomodifiers on the strength of finegrained concrete. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies [this link is disabled](#), 2018,2(6-92), 29–33
7. Shishkin, A. Netesa N, Netesa A. Determining the rational compositions of low-strength concretes/ Eastern-European Journal of Enterprise Technologies [this link is disabled](#), 2019,1(6-97), 47–52 <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.156599>
8. Kostyuk, T. Vinnichenko V., Plugin A., Borziak O., Iefimenko A. Physicochemical studies of the structure of energy-saving compositions based on slags IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2021,1021(1), 012016
9. Троян В.В. Технологічні основи підвищення та прогнозування довговічності бетонів для масивних споруд: монографія. Київ : Інтерсервіс, 2017. – 238 с.
10. Shyshkin A. Increasing the Speed of Formation of the Structure of Fine-Grained Concrete and its Strength. Key Engineering Materials. 2023.953.69-74 <https://doi.org/10.4028/p-itX1Lu>
11. Erdogdu S. Compatibility of superplasticizers with cements different in composition. Cem. Concr. Res. 2000, Vol. 30, No 5. 767-773.
12. Shyshkina A, Shyshkin, A Fine-Grained Concrete for Repair and Restoration of Building Structures. Materials Science Forum Submitted: Vol. 2021,1038, pp 317-322 <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.1038.317>
13. Shyshkina, A. Study of change in the deformation strength properties of nanomodified fine-grained concretes over. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies [this link is disabled](#). 2017, 3(6-87), 50–54
14. Shyshkina A. Shyshkin A. Influence of Temperature and Humidity of the Environment where the Concrete Hardening Takes over on the Efficiency of Surface Microdosis Application. Materials Science Forum Submitted Trans Tech Publications Ltd, Switzerland: 2022, Vol. 1066, pp 169-174 <https://doi.org/10.4028/p-b74fx4>
- 15 Shyshkina, A. Piskun I. Formation of the strength of fine-grained concrete based on modified slag Portland cement.

Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2023,5 (6 (125)), 74–81.

doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.289929>

16. Шишкіна О.О. Шишкін О.О. Керування структурою води, призначеної для виготовлення дрібнозернистого бетону. *Науковий вісник будівництва*, 2020, т. 101, №3, С. 133-141.

<https://doi.org/10.29295/2311-7257-2018-101-3-133-141>

17. Ходаков Г.С. Поверхность цемента. URL: <http://www.chem.msu.ru/rus/history/Rehbinder/20.html> (дата звернення: 15.06.2024).

18. Березин И. В. Мартинек К., Яцимирский А. К Физико-химические основы мицеллярного катализа. *Успехи химии*. 1973, XLU, Вып. 10. С. 1729-1756.

19. Шишкіна О.О. Мицеллярний катализ в технології бетонів нового покоління: монографія. *Кривий Ріг: КНУ*, 2016. 300с.

20. Reh binder P.A., Shchukin E.D. Surface phenomena in solids during deformation and fracture processes. *Progress in Surface Science*, Pergamon Press, 1972, Vol.3, Part 2, p. 97-188

21. Ушеров-Маршак А.В. Добавки в бетон: прогресс и проблемы. *Строительный журнал*, октябрь 2006. С. 6-12.

References

1. Schmidt, M. (2006) Von der Nanotechnologie zum Ultra - Hochfesten Beton. 16 *Intern. Baustoff. Konf. Weimar*, ,2, 1405–141

2. Tevyashev A.D. Shitikov E.S. (2009) On the possibility of controlling the properties of cement concrete using nanomodifiers. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologiethis*, 4/7 (40), 35–40

3. Belichenko O.A., Tolmachov S.M. (2020) Investigation of the physicochemical properties of aqueous suspensions of microfillers with superplasticizers. *Resource-saving materials, constructions, buildings and structures*. 38. 67-77.

4. Storchai N.S., Savin Yu.L., Volnyanska I.P. (2020) Scientific and technical rationale for the use of man-made mineral dispersion systems. *Resource-saving materials, constructions, buildings and structures*. 38.277-282

5. Shishkin A., Netesa N., Scherba V. (2017) Effect of the iron-containing filler on the strength of concrete. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 5/6 (89). 11-16 <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.109977>.

6. Shishkina, A. (2018) Research into effect of complex nanomodifiers on the strength of finegrained concrete. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologiethis*, ,2(6-92), 29–33

7. Shishkin, A., Netesa, N., Netesa, A. (2019) Determining the rational compositions of low-strength concretes. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologiethis*, 1(6-97), 47–52

<https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.156599>

8. Kostyuk, T. Vinnichenko V., Plugin A., Borziak O. (2021) Physicochemical studies of the structure of energy-saving compositions based on slags *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, ,1021(1), 012016

9. Troyan V.V. (2017) Technological basis for advancement and prediction of durability of concrete for massive spores: [monograph] Kyiv. national University of Bud-va and Architecture. - Kyiv : Інтерсервіс. – 238 с

10. Shyshkin A. (2023) Increasing the Speed of Formation of the Structure of Fine-Grained Concrete and its Strength. *Key Engineering Materials*..953.69-74 <https://doi.org/10.4028/p-iX1Lu>

11. Erdogdu S. (2000) Compatibility of superplasticizers with cements different in composition. *Cem. Concr. Res.*, Vol. 30, No 5. 767-773.

12. Shyshkina A, Shyshkin A (2021) Fine-Grained Concrete for Repair and Restoration of Building Structures. *Materials Science Forum Submitted*: Vol.1038, pp 317-322

<https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.1038.317>

13. Shishkina, A. (2017) Study of change in the deformationstrength properties of nanomodified fine-grained concretes over time. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologiethis*. 3(6-87), 50–54

14. Shyshkina A. Shyshkin A. (2022) Influence of Temperature and Humidity of the Environment where the Concrete Hardening Takes over on the Efficiency of Surface Microdosis Application. *Materials Science Forum Submitted Trans Tech Publications Ltd, Switzerland*., Vol. 1066, pp 169-174 <https://doi.org/10.4028/p-b74fx4>

15 Shyshkina, A. Shyshkin A (2023) Formation of the strength of fine-grained concrete based on modified slag Portland cement. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, ,5 (6 (125)), 74–81.

doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.289929>

16. Shishkina O.O. Shishkin O.O. (2020) Ceruvania with the structure of water intended for the preparation of granular concrete. *Scientific journal of Budivnytsia*, v. 101, no. 3, pp. 133-141.

<https://doi.org/10.29295/2311-7257-2018-101-3-133-141>

17. Khodakov G.S. Cement surface

<http://www.chem.msu.ru/rus/history/Rehbinder/20.html>

18. Berezin I.V. Martinek K., Yatsimirsky A. K (1973) Physico-chemical foundations of micellar catalysis. *Advances in Chemistry*. XLU, Vol. 10. pp. 1729-1756.

19. Shishkina O.O. (2016.) Micellar catalysis in new generation concrete technology. *Krivyi Rih: KNU*, 300 p.

20. Reh binder P.A., Shchukin E.D. (1972) Surface phenomena in solids during deformation and fracture processes..*Progress in Surface Science*, Pergamon Press, Vol.3, Part 2, p. 97-188

21. Usharov-Marshak A.V. (2006) Additives to concrete: progress and problems. *Construction Journal*, October. P. 6-12.

Автор: ШИШКІН Олександр Олексійович
доктор технічних наук, професор, завідувач
кафедри технології будівельних виробів,
матеріалів та конструкцій
Криворізький національний університет

Alexandr SHYSHKIN

Doctor of Engineering, Professor department of
technology of construction products, materials and
structures

Kryvyi Rih National University

E-mail: 5691180@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3331-1422>

Автор: ПІСКУН Ілля Олександрович
Аспірант кафедри технології будівельних
виробів, матеріалів та конструкцій
Криворізький національний університет

Illia PISKUN

PhD student department of technology of construction
products, materials and structures

Kryvyi Rih National University

E-mail: 5691180a@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-3366-1924>

**REGULATION OF POROSITY OF FINE-GRAINED CONCRETE
MANUFACTURED ON SLAG PORTLAND CEMENT**

A. Shyshkin, I. Piskun

Kyryvi Rih National University

The aim of the work is the theoretical substantiation of the mechanism of water structuring using the effect of hydrophobic hydration on the example of the use of carbohydrate as a nanomodifier. To achieve the goal, the following tasks were set: to perform experimental and theoretical studies of the mechanism of influence of colloidal hydrophobic surfactants on the structure of water. The paper presents the results of theoretical studies of the influence of colloidal hydrophobic surfactants on the structure of water and the hydration mechanism of slag Portland cement. It is shown that the introduction of these surface-active substances into water in very low concentrations leads to the effect of hydrophobic hydration, that is, changes in the interaction between water molecules. Hydrophobic hydration contributes to the formation of the pore structure. It was established that hydrophobic hydration is characterized by the fact that part of the dissolved substance inhibits the translational movement of water molecules and is due to the fact that part of the solution space, corresponding to the own volume of the particles of the dissolved substance, is inaccessible to water molecules. Hydrophilic and hydrophobic hydration have different mechanisms. Large hydrophobic ions cause ordering of the water structure. Having a more ordered structure than pure water, solutions of these salts require less work for dissolution, as a result of which the solubility of the latter increases. The conducted experiments allow us to draw an unequivocal conclusion that polar groups are unable to prevent hydrophobic hydration. The introduction of hydrophobic surfactant molecules into water in the form of dimers is the structuring of water, that is, the formation of a continuous fractal network of water molecules.

Keywords: fine-grained concrete, slag Portland cement, hydration, modification, surfactants, water activation