

The background of the book cover is a solid blue color. Overlaid on this background is an abstract geometric pattern consisting of numerous three-dimensional triangles of various sizes and orientations. These triangles are rendered in shades of light gray, beige, and a small number of light blue and yellow, creating a sense of depth and movement. The triangles appear to be floating or scattered across the surface.

Д.В. Руденко

**ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ОСНОВИ
ТЕХНОЛОГІЇ
МОДИФІКОВАНОГО БЕТОНУ
ДЛЯ СПОРУД
СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ**

монографія

Руденко Дмитро Вікторович

ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ОСНОВИ
ТЕХНОЛОГІЇ МОДИФІКОВАНОГО БЕТОНУ
ДЛЯ СПОРУД
СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

монографія

Дніпро
«Герда»
2018

Рецензенти:

доктор технічних наук, професор Нетеса М.І., Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна;

доктор технічних наук, професор Савицький М.В., Придніпровська державна академія будівництва та архітектури;

доктор технічних наук, професор Гібаленко О.М., Приазовський державний технічний університет.

Рекомендовано Вченою радою Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, протокол № 10 від 04 червня 2018 р.

Руденко Д.В.

P83 **Фізико-хімічні основи технології модифікованого бетону для споруд спеціального призначення** монографія. – Дніпро: Герда, 2018. – 344 с.
ISBN 978-617-7097-95-1

У монографії наведено теоретичне узагальнення і нове вирішення наукової проблеми, що полягає у створенні теоретичних основ технології модифікованих бетонів для монолітних споруд спеціального призначення шляхом застосування принципово нового фізико-хімічного модифікування цементної системи бетону. Встановлено взаємозв'язок структури модифікованої цементної матриці з експлуатаційними властивостями бетону. Показані характер і величина зміни основних деформативних характеристик модифікованого бетону на основі сучасних фізичних уявлень про його взаємодію з навколишнім середовищем. Значну увагу приділено змінам деформативності бетону при короткочасних і тривалих навантаженнях. Отримано формули, що дозволяють обчислити міцність і деформативні характеристики бетонів у змінних умовах навколишнього середовища з урахуванням масивності конструкцій та їх віку. Досліджено та рекомендовано сучасні методи догляду за свіжоукладеним бетоном.

Монографія розрахована на науковців, інженерів-будівельників і технологів, а також проектувальників бетонних і залізобетонних конструкцій природного тверднення.

ЗМІСТ

ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ РОЗВИТКУ ТЕХНОЛОГІЇ БЕТОНІВ З ВИСОКИМИ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ	
1.1 Сучасні уявлення про механізм гідратаційного структуроутворення цементної матриці бетону	9
1.2. Термодинамічні закономірності тверднення модифікованих цементних систем монолітного бетону	21
1.3. Забезпечення експлуатаційних властивостей бетону природного тверднення	30
РОЗДІЛ 2 МЕТОДОЛОГІЧНІ ПРИНЦИПИ ОТРИМАННЯ МОДИФІКОВАНИХ БЕТОНІВ ПІДВИЩЕНОЇ ДОВГОВІЧНОСТІ	
2.1. Сучасні уявлення про отримання модифікованих бетонів підвищеної довговічності	37
2.2. Планування експерименту і методика обробки експериментальних даних	40
2.3. Розробка адаптивного управління фізико-хімічними процесами модифікованої цементної системи бетону	45
РОЗДІЛ 3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ГІДРАТАЦІЇ МОДИФІКОВАНОЇ ЦЕМЕНТНОЇ СИСТЕМИ	
3.1 Теоретичні передумови дисперсного модифікування цементної системи бетону	53
3.2 Визначення складу органо-мінерального модифікуючого комплексу для цементних систем монолітного бетону	58
3.3. Дослідження процесів структуроутворення алюмінатних структур модифікованої цементної системи бетону	70
3.4 Взаємодія силікатів кальцію з компонентами органо-мінерального модифікуючого комплексу	78

3.5. Дослідження залежності між гідравлічною активністю і структурою гідратних фаз модифікованої цементної системи	83
--	----

3.6. Вплив природних умов на структуроутворення модифікованої цементної матриці бетону	88
--	----

РОЗДІЛ 4 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ФОРМУВАННЯ ОПТИМАЛЬНИХ СТРУКТУР МОДИФІКОВАНИХ БЕТОНІВ

4.1. Передбачувані процеси структуроутворення у модифікованому бетоні	106
---	-----

4.2. Дослідження особливостей механізму гідратації модифікованої цементної системи	121
--	-----

4.3. Обґрунтування початкової інтенсифікації процесів структуроутворення модифікованої цементної системи	131
--	-----

4.4. Особливості структуроутворення модифікованої цементної системи на ранніх стадіях тверднення бетону	143
---	-----

4.5. Моделювання міжіонних взаємодій у модифікованій цементній системі	168
--	-----

РОЗДІЛ 5 ДОСЛІДЖЕННЯ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ БЕТОННОЇ СУМІШІ І БЕТОНУ НА МОДИФІКОВАНІЙ ЦЕМЕНТНІЙ СИСТЕМІ

5.1. Реологічні властивості модифікованих бетонних сумішей.....	176
---	-----

5.2. Дослідження пористості бетону на модифікованій в'язучій речовині	196
---	-----

5.3. Гігрометричні властивості модифікованої бетонної суміші і бетону	205
---	-----

5.4. Дослідження міцності модифікованого бетону спеціального призначення	217
--	-----

5.5. Дослідження експлуатаційних властивостей модифікованих бетонів спеціального призначення	229
--	-----

5.6. Дослідження корозійної стійкості арматури в модифікованому бетоні спеціального призначення	242
---	-----

РОЗДІЛ 6 ДЕФОРМАТИВНІ ВЛАСТИВОСТІ ТА НАПРУЖЕНИЙ СТАН МОДИФІКОВАНОГО БЕТОНУ СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

6.1. Дослідження напруженого стану модифікованого монолітного бетону	248
6.2. Дослідження об'ємних деформацій модифікованого бетону.....	257
6.3. Деформативні властивості модифікованого бетону спеціального призначення	280

РОЗДІЛ 7 ТЕХНОЛОГІЯ МОДИФІКОВАНОГО БЕТОНУ СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

7.1. Приготування модифікованої бетонної суміші для трубопровідного транспорту	301
7.2. Фізико-хімічні особливості зчеплення і тертя між модифікованим бетоном і опалубкою	311
7.3. Особливості догляду за монолітним бетоном при зведенні масивних будівель	318
ВИСНОВКИ	326
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	329

ВСТУП

Розвиток капітального будівництва при ринковій економіці тісно пов'язаний із завданнями подальшого підвищення ефективності будівельного виробництва, зниження вартості і трудомісткості технологічних процесів, економного використання матеріальних і енергетичних ресурсів, застосування нових прогресивних матеріалів.

Отримання бетону спеціального призначення з високими експлуатаційними властивостями можливо шляхом застосування різних добавок органічного і мінерального походження. Однак поряд з позитивним впливом, органічні добавки мають ряд суттєвих недоліків, головним з яких є порушення початкових процесів гідратації цементної системи в бетоні. Молекули органічного пластифікатора адсорбуються на частинках в'язучої речовини, що гідратуються, і гальмують гідратацію цементної матриці з усіма наслідками, що звідси випливають.

Одними із перспективних конструкційних матеріалів є дисперсно армовані бетони. Такі бетони являють собою один з різновидів великого класу композиційних матеріалів, які в даний час все більш широко застосовуються в різних галузях промисловості. Дисперсне армування здійснюється фібрами різної природи, рівномірно розповсюдженими в об'ємі цементної матриці, і є одним із способів модифікування цементної системи бетону.

Унікальність сучасних споруджуваних будівель і споруд визначає комплекс високих експлуатаційних вимог до даного матеріалу. Перш за все, сюди відносяться висока міцність, стійкість важкого бетону в різних умовах експлуатації і найбільш можлива довговічність при відносно високій економічності обраного матеріалу.

Сучасний рівень розвитку будівництва вимагає подальшого розвитку концепції бетонів нового покоління, які необхідні для сприйняття зростаючих впливів природного і техногенного характеру, а також для особливих умов експлуатації.

Отримання бетонів нового покоління з високими експлуатаційними властивостями (БЕВ) має забезпечуватися технологією, заснованою на використанні існуючої виробничої бази і традиційних матеріалів. Такі бетони повинні мати міцність класу В 70 і вище, підвищену щільність і довговічність, зберігаючи всі переваги, які зробили їх основним конструкційним матеріалом будівництва. Удосконалена технологія вимагає якісно нового підходу, здатного забезпечити повну реалізацію в'язучих властивостей цементу і потенційний запас міцності бетону.

Процеси гідратації і структуроутворення цементної матриці є основними, що зумовлюють кінцеві властивості бетону, тому необхідно цілеспрямоване управління цими процесами на всьому протязі його виготовлення і тверднення. Однак традиційна технологія бетону, яка ґрунтується на феноменологічних закономірностях, не дозволяє з високою ефективністю управляти фізико-хімічними процесами структуроутворення цементної матриці в бетоні.

Можливість оптимізації процесів тверднення цементної матриці та підвищення експлуатаційних характеристик бетону для монолітного будівництва відкривається з переходом до принципово нової технології, заснованої на застосуванні фундаментальних принципів взаємодії компонентів в'язучої системи в бетоні. Це забезпечується модифікуванням компонентів цементної системи, що сприяє підвищенню ступеня гідратації в'язучої речовини та направленому структуроутворенню цементної матриці бетону.

На підставі проведених експериментально-теоретичних досліджень зроблено висновок про доцільність об'єднання кількох типів активаційних впливів на цементну систему бетону. Прийнято положення, що отримання монолітних бетонів з високими експлуатаційними властивостями має ґрунтуватися на фізико-хімічному модифікуванні цементної системи бетону. Такий спосіб поєднує фізичну активацію цементної системи з інтенсивною хімічною взаємодією кристалогідратних новоутворень з речовинами, що вводяться у цементну систему в якості мінеральних дисперсноармуючих компонентів у

складі спеціального органо-мінерального модифікуючого комплексу (ОММК).

Фізико-хімічне модифікування цементної системи бетону зумовлює можливість регулювання її властивостей, що дозволяє поряд з інтенсифікацією тверднення здійснювати спрямовану оптимізацію структури цементної матриці бетону. Цей процес забезпечує зростання міцності бетону при стиску і, особливо, при згині, що забезпечує підвищення довговічності бетону висотних будівель. Фізико-хімічне модифікування дозволило виявити додаткові резерви поліпшення реологічних і міцністних властивостей матеріалу за рахунок застосування технологічних впливів певної інтенсивності, тривалості і періодичності, а також конгруентності їх фізико-хімічним умовам протікання процесів гідратації цементної системи.

Вирішення поставленої проблеми є актуальним для розвитку технології зведення монолітних споруд спеціального призначення.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ РОЗВИТКУ ТЕХНОЛОГІЇ БЕТОНІВ З ВИСОКИМИ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ

1.1 Сучасні уявлення про механізм гідратаційного структуроутворення цементної матриці бетону

Отримання бетонів граничної міцності є однією з основних проблем сучасної технології бетону. З огляду на значний накопичений досвід у цьому напрямку, слід зазначити, що вирішення цієї проблеми можливе при цілеспрямованому управлінні процесами гідратації і структуроутворення цементної матриці бетону.

Складність процесу, метастабільність цементних систем і безперервна зміна їх хіміко-мінералогічного складу у процесі структуроутворення обумовлюють складнощі його експериментального дослідження і моделювання і служать причиною того, що механізм протікання гідратаційного структуроутворення різний у залежності від умов тверднення бетону в конструкціях і їх масивності.

У цих умовах великого значення набуває внутрішнє групування кристалогідратів, яке є засобом зіставлення і пояснення їх хімічних і фізичних характеристик. Структура вихідних компонентів і кінцевих продуктів хімічних реакцій може пролити світло на пов'язані з нею умови рівноваги і на кінетику самих реакцій. Багато метастабільних систем, вірогідно, зобов'язані своїм походженням і безперервністю близькою подібністю структур метастабільної фази і фази, з якої вона утворюється, а виникнення істинної стійкої фази вимагає радикальної перебудови структури і прикладення відповідної енергії високої активності.

При сучасному рівні знань про вельми складі структури клінкерних мінералів і продуктів їх гідратації не представляється можливим повністю встановити, яку роль ці структури відіграють у процесі тужавіння і тверднення.

Розкриття механізму гідратації модифікованих цементних систем є важливим етапом вирішення проблеми отримання високоміцного монолітного бетону і дає можливість визначення шляхів управління процесами структуроутворення цементної матриці бетону. Основою спрямованого структуроутворення є штучна зміна умов формування первинної структури [1, 2].

Однією з основних характеристик цементу є мінералогічний склад, який значною мірою визначає його технологічні властивості. Тому з ряду факторів, що впливають на кінетику зміни складу рідкої фази і кристалізацію новоутворень, перш за все, розглядається вплив мінералогічного складу [3, 4].

Важливу роль відіграє кристалохімічний аспект. Для вивчення механізму гідратації і структуроутворення модифікованих цементних систем очевидна необхідність розгляду в комплексі мінералогічних і кристалохімічних особливостей клінкерних складових, оскільки без дослідження процесів, що відбуваються на іонному рівні, неможливо створити достовірну теорію гідратаційного структуроутворення в'язучих систем у певних умовах.

У клінкерних мінералів високий ступінь внутрішнього порядку визначається їх правильною та досконалою кристалічною формою. Якщо домолоти синтезований трьохкальцієвий силікат до високодисперсного стану, наприклад, до питомої поверхні $1000 \text{ м}^2/\text{кг}$, то зовнішня симетрія його порушиться, але регулярність внутрішньої структури залишиться незмінною. Це пояснюється тим, що кожне зерно побудовано з одних і тих же структурних елементів. Якщо продовжувати подрібнення порошку до тих пір, поки розміри окремих зерен не зрівняються з розмірами елементарних чарунок, що складають структуру C_3S , то ступінь порядку порушиться, і отриманий порошок можна розглядати як аморфний [5].

З огляду на наявність у кристалах недосконалостей або дефектів, які можуть в деякій мірі впливати на їх хімічні та фізичні властивості, можна охарактеризувати ідеальний кристал як поєднання точок у трьох вимірах; ці точки являють собою середні положення, займані ядрами елементів, з яких склада-

ється дана речовина. У простій речовині, що складається тільки з одного елемента, кожна точка еквівалентна будь-якій іншій відносно маси ядра і електричного заряду. Останній виникає з електронної оболонки, що оточує ядро; існування цієї оболонки передбачає, що даний елемент у даному валентному стані потребує певного мінімального простору в структурі. Тому виявилось можливим встановити для кожного елемента один або кілька іонних радіусів, які можуть бути використані для характеристики структури за найбільш ймовірного способу упаковки відомої кількості іонів у даному просторі [6, 7].

Найдрібнішим елементом простору, який, безперервно повторюючись у всіх напрямках, відтворює структуру, є елементарна чарунка.

Якщо речовина містить більше одного елемента, то точки в просторі, що представляють кристал, не будуть усі еквівалентними один одному щодо заряду або маси. Розглядаючи геометричну форму системи таких точок («ґратки»), можна перекоонатися, що існує границя можливого числа сполучень. Усередині цієї границі структури можуть бути розділені на групи відповідно до симетричного розвитку, з цієї причини відбувається розширення даної системи. Тому кристали можна віднести до тієї чи іншої просторової групи відповідно до їх структури [8, 9].

Хоча в середньому різні іони, що містяться в тій чи іншій переважаючій іонній структурі, повинні відстояти від своїх найближчих сусідів на відстань, яка дорівнює загальній кількості атомних радіусів, проте в реальних структурах спостерігаються відхилення від цієї закономірності, що залежать від характеру і міцності зв'язків між даними іонами. Точне визначення структури дає можливість виміряти довжину зв'язків і таким чином дозволяє виявити величину хімічних зв'язків в розглянутій сполуці. Загалом, кожен катіон оточений розташованою у парному порядку групою аніонів, так що кути між зв'язками приблизно рівні. Зазвичай аніоном служить кисень.

Як відомо, координація Si^{4+} у силікатних структурах завжди дорівнює 4. Це означає, що кожен іон Si^{4+} знаходиться в центрі правильного тетраедра, в

кутах якого розташовані іони кисню. Ця група така стійка і настільки характерна для силікатних структур, що може розглядатися як окрема і самостійна структурна чарунка. В ортосилікатах кремнекисневий тетраедр ізольований і діє тому як іон $[\text{SiO}_4]^{4-}$; в інших структурах тетраедри SiO_4 пов'язані різним способом, утворюючи групи $[\text{Si}_2\text{O}_7]^{6-}$, $[\text{Si}_2\text{O}_9]^{6-}$. Іон кальцію може бути присутнім у силікатних і алюмінатних структурах як в активній, так і в неактивній формі. При підвищених температурах, які потрібні для утворення гідратів клінкерних мінералів, координація кальцію, напевно, повинна бути меншою, ніж нормальна; ця низька координація нестійка при температурі $+20^\circ \text{C}$, і тому структура має тенденцію до утворення або нового поліморфного угруповання, або гідрату, причому у всіх випадках нова структура містить іони кальцію в їх нормальній, неактивній шестерній координації [8].

З іншого боку, імовірно нормальний ефект термічного розширення полягає у збільшенні координації кальцію [10]. Тому сполуки з більш високою координацією Ca^{2+} менш стійкі і виявляють тенденцію до перетворення в інші структури, що містять нормальне шестерне угруповання.

Особливою рисою гідратації клінкерних мінералів є те, що продукти гідратації майже повністю нерозчинні, і необхідно з'ясувати механізм безперервного утворення пересиченого розчину.

Дані мікроскопічного дослідження тужавілого цементного тіста показують, що більш пізні стадії гідратації слід розглядати як реакції у твердому стані. Кожне зерно цементу оточено шаром гідратованої речовини. Для того щоб гідратація була безперервним процесом, вода або іони OH^- повинні мати можливість дифундувати через гідратований матеріал і проникати в безводну структуру. Неправильні види структур, що містять «отвори», більш доступні для процесів дифузії [11]. Такі «отвори» необов'язково повинні бути в гідратних структурах (хоча і можуть у них бути присутніми), оскільки ці структури вже містять іони OH^- або молекули води, які можуть дифундувати в процесі обміну. Є деякі дані, що гідратація оксиду кальцію може частково відбуватися за рахунок реакцій у твердому стані [6] і що саме цим шляхом гідратується

мінерал C_2S . Було також встановлено, що подрібнення шляхом помелу структури з неправильною координацією викликає утворення поверхні, що містить місцеві центри з неврівноваженим електростатичним зарядом [8, 12]. Такі чутливі точки повинні утворювати активні ядра для початку процесу гідратації.

Силікати кальцію грають істотну роль у процесах формування міцної структури цементної матриці бетону. Тоберморитоподібна фаза, що утворюється при гідратації силікатів кальцію, є основною сполучною речовиною в цементному тісті; гель чинить визначальний вплив на реологічні властивості свіжоприготованого цементного тіста, на процеси тужавіння і тверднення цементного тіста, а також на міцність і стійкість цементної матриці та бетону в цілому.

Однією з основних термодинамічних характеристик цементної системи, що гідратується, є стан рідкої фази. Взаємодія рідкої і твердої фаз в особливо ранній період гідратації носить специфічний характер. Вперше енергетичні аспекти процесу взаємодії при гідратації розглядали Ле Шательє [13], що відмічав велике значення поверхневої енергії, і Міхаеліс [14], який вважав, що взаємодія розчинених іонів з вихідним зерном в'язучої речовини носить електростатичний характер. Дослідження змін енергетичного стану при гідратації, а також енергетики окремих елементарних процесів не дають уявлення про характер рушійних сил, що обумовлюють плин елементарних процесів гідратації. У роботах [15, 16] розвиваються загальні уявлення про діючі між частинками у процесі гідратації сили електродинамічного характеру, на основі яких постулюються закономірності прояву в'язучих властивостей.

Для найбільш повного вивчення процесів, що відбуваються при гідратації клінкерних мінералів, необхідно визначити енергетичний рівень взаємодії між іонами (H^+ , OH^- , іонами розчинених речовин, гідратами типу $CaOH^+$ або іншими, що мають дипольну структуру) і цементною частинкою як центральним іоном або макрокристалом по відношенню до іона або диполя.

У процесах гідратації клінкерних мінералів представляють інтерес, в основному, взаємодії на малих відстанях, порівняних з атомними. На таких відстанях забезпечуються адсорбція, хімічна взаємодія і кристалізація, тому необхідний облік зменшення значення діелектричної проникності у порівнянні з її макроскопічним значенням, рівним, наприклад, 81 для води.

Як відомо, рідина замішування в подвійному електричному шарі поблизу заряджених частинок знаходиться у стані, близькому до діелектричного насичення, і значення діелектричної проникності при цьому може наближатися до одиниці [17]. Особливості структури цементної частинки і кристалогідрата відображені діелектричною проникністю, значення якої для вихідної в'язучої речовини рівні 5...6, для кристалогідрату - 7...9.

Прояв в'язучих властивостей цементною системою можливий у разі поляризації рідкої фази поверхневою енергією частинок цементу і вивільнення енергії при утворенні гідратних фаз, що супроводжується зниженням значення діелектричної проникності рідини замішування. Цей процес також забезпечується безперервною хімічною реакцією, що розвивається як на поверхні, так і з виходом продуктів гідратації в розчин, що сприяє збільшенню площі поверхні розділу фаз і зменшення відстаней між частинками. Безперервність процесу структуроутворення обумовлена виникненням у розчині кристалогідратів, які мають більш високе значення діелектричної проникності, що забезпечує переважний рух розчинених речовин від цементного зерна до кристалогідрату. При цьому зменшення відстаней між реагуючими частинками в системі до порівняних з атомними збільшує енергію взаємодії на всіх етапах процесу і призводить до утворення міцних контактів.

Згідно з положеннями сучасної хімії, найбільш поширені аніони мають, як правило, досить великі розміри і тому не мають сформованої первинної гідратної оболонки (виключення складають, ймовірно, іони OH^- , а також багатозарядні іони порівняно малих розмірів SO_4^{2-} , CO_3^{2-}). Іншими словами, взаємодія більшості аніонів з водою виражена слабо. Зв'язок між молекулами води і аніонами за своїм типом подібний існуючому між молекулами води. Аніони

мало гідратуються і тому чинять порівняно слабку орієнтуючу і поляризуючу дію на навколишні молекули води [18].

Заслугує на увагу можливість далекої взаємодії між іонами через посередництво поляризованих молекул води. Якщо катіон поляризує сусідню з ним молекулу води, то атоми водню, що входять до неї, стають більш позитивними, тобто набувають яскраво виражених кислотних властивостей. Такі атоми у порівнянні з водневими у звичайних молекулах води більш схильні до утворення водневих зв'язків з аніоном хоча б через посередництво інших частинок. Електростатичний вплив іона завдяки водневим зв'язкам поширюється на більш далекі відстані. Водневі зв'язки між противоіонами можна назвати більш узгодженими.

Поява у воді іонів призводить до двох взаємно протилежних ефектів. З одного боку, вона порушує рівноважний стан молекул води (цей розупорядковуючий ефект пов'язаний зі збільшенням ентропії), з іншого - поле іона впливає орієнтуючим чином на молекули води, що супроводжується зменшенням ентропії. Перший ефект найбільш чутливий до змін температури і вносить основний внесок у зміну рівноважного стану води. З підвищенням температури значення цього внеску знижується, оскільки все більшу роль починає грати тепловий рух молекул води. Таким чином, з ростом температури у воді, по-перше, руйнуються мікронеоднорідності, по-друге, посилюється трансляційний рух молекул, що призводить до ослаблення іон-дипольної взаємодії. З цих двох процесів переважає перший, оскільки орієнтаційні сили між молекулами зменшуються швидше, ніж іон-дипольні.

Молекули води, що знаходяться поблизу поверхні цементної частинки, під впливом іон-дипольної взаємодії з іонами кристалічних ґраток клінкерних мінералів притягуються до неї. Силове поле, що виникає на поверхні цементної частинки, призводить до зниження кінетичної енергії молекул води, ускладнюючи їх відрив від цементної частинки [19].

Наявність на поверхні частинки цементу іонів із зарядом різного знаку обумовлює поляризацію найближчих моношарів води і зниження в них діелектричної проникності до значень, менших діелектричної проникності частинки, що призводить до появи енергії притягування між елементарними частинками рідкої фази і цементною частинкою. Оскільки поверхня цементної частинки складається переважно з іонних кристалів, що мають негативний заряд, при контакті із цементною частинкою вода дисоціює на іони H^+ і OH^- . Саме спотворена структура води є тією матрицею, на якій розгортаються взаємодії в рідкій фазі в широкому діапазоні концентрацій [20].

Утворені іони викликають протонізацію монокристалічного шару частинки, тобто відбувається іонний обмін: іони H^+ проникають у кристалічні ґратки мономінералів, збільшуючи полярність зв'язків внаслідок зміни електронної щільності молекул. Причому, чим більшою електропозитивністю характеризується іон у кристалічних ґратках, тим більше молекул води він реорганізує. Крім того, відбуваються орієнтація і поляризація більш віддалених молекул води. Внутрішній шар кристалогідрату видозмінюється, порушується чіткий розподіл на окремі області, зберігаються лише деякі ознаки впорядкованої структури - порушується дальній порядок моношару. Цей процес призводить до відхилення структури кристалів від дуже щільної упаковки, що полегшує гідролітичну дисоціацію клінкерних мінералів і сприяє збільшенню амплітуди коливань іонів Ca^{2+} , відриву їх від кристалічних ґраток і міграції в рідку фазу. В результаті топохімічної взаємодії в електронних оболонках реагуючих частинок відбуваються зміни аж до електронних переходів. При цьому виділяється значна кількість енергії, достатня для відриву іонів Ca^{2+} від цементної частинки і переходу їх в розчин.

Цей процес подібний до дисоціації молекул, яка відбувається неминуче, якщо до системи підводиться достатній для розриву зв'язків потік енергії [6].

Кристалохімічні особливості клінкерних мінералів і продуктів їх гідратації обумовлюють відмінності в утворенні поверхневих зарядів, взаємодію-

чих з зарядженими частинками системи. Ці відмінності полягають у зміні процесу дисоціації молекул твердої фази, формуванні кристалічних ґраток новоутворень за рахунок адсорбції з рідкої фази іонів, що характеризуються великою хімічною спорідненістю до іонів кристалічних ґраток. Істотний вплив на хід процесу гідратування чинить наявність дефектів у кристалах і ізоморфних заміщень іонів ґраток на іони з меншими зарядами.

Таким чином, у цементній системі на поверхні твердої фази можуть утворюватися якісно відмінні адсорбційні центри, переважна дія яких залежить від кристалохімічної будови новоутворень і властивостей рідкої фази.

При гідратації двокальцієвого силікату внаслідок міграції іонів Ca^{2+} у рідку фазу на поверхні частинки залишаються комплексні силікатні аніони, передаючи їй негативний заряд. Іони H^+ утворюють зовнішню обкладку подвійного електричного шару. У початковий момент гідратації міцелу $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ аналогічно SiO_2 [21] можна зобразити у вигляді $\{[\text{Ca}_2\text{SiO}_4]_m \cdot n\text{SiO}_4^{4-} \cdot 4(n-x)\text{H}^+\}4x\text{H}^+$. При цьому триває процес полімеризації дуже нестійкої ортокремнієвої кислоти з утворенням нової фази, що має також негативний заряд [8]: $n\text{H}_4\text{SiO}_4 \leftrightarrow (\text{SiO}_2)_n(\text{OH})_m + 2nm\text{H}_2\text{O}$. Зі збільшенням концентрації іон Ca^{2+} , який має більший заряд і більші розміри, ніж іон водню, поступово витісняє його з дифузного і адсорбційного шарів, знижуючи ξ -потенціал за рахунок утворення гідросилікатів кальцію. Процес гідратації двокальцієвого силікату триває повільно, що призводить до збільшення в початковий період негативного знака ξ -потенціалу за рахунок збільшення кількості силікатних іонів на поверхні частинки. Зі збільшенням об'єму гідросилікатного гелю, що утворюється, величина ξ -потенціалу зменшується.

При гідратації трьохкальцієвого силікату електричні ефекти, що виникають на його поверхні, дещо відмінні від C_2S . Структура C_3S побудована з двох самостійних просторових елементів - кремнійкисневих тетраедрів і оксиду кальцію [8]. При контакті з водою відбувається інтенсивна міграція іонів Ca^{2+} у

рідку фазу з оголенням ортосилікатної складової, в якій залишаються некомпенсовані зв'язки. При цьому в короткий час досягається максимальний негативний заряд поверхні.

Структура трьохкальцієвого алюмінату складається з поліалюмооксаних ланцюгів $-O-Al-O-Al-O-Al-$, розсунутих впровадженнями між ними іонами Ca^{2+} і O^{2-} [8]. Іони Ca^{2+} , активно мігруючи в рідку фазу, оголюють метаалюмінатну структуру. Іон $[Al(OH)_4(H_2O)_2]^-$ за структурою і розмірами близький до іона $[Al(OH)_6]^{3-}$, сталого в нормальних умовах тверднення кубічного C_3AH_6 . Тому іони Ca^{2+} можуть координуватися навколо іона $[Al(OH)_4(H_2O)_2]^-$ аналогічно структурі C_3AH_6 , створюючи тим самим на поверхні релікта C_3A надлишковий позитивний заряд.

Іони H^+ , що увійшли у кристалічні ґратки силікатів, з'єднуються з іонами O^{2-} вільними зв'язками, при цьому утворюється первинний, термодинамічно нестійкий C_3SH_x , що характеризується такою ж високою основністю, як і безводний C_3S . Ще до появи іонів Ca^{2+} в рідині замішування на поверхні силікатних структур зафіксовано утворення епітаксійних критичних зародків $C-S-H$ (II), що характеризуються сильним зчепленням з поверхнею частинки [22]. Аналогічний ефект спостерігала Л.Г. Шпинова, яка назвала новоутворення «горбками зростання» [23]. Цей факт підтверджує топохімічний характер особливо раннього періоду гідратації, що має тривалість 2...3 хв для силікатних структур.

Під час обговорення взаємодій системи «рідина замішування - цементна частинка» дуже важливим є питання про час «життя» гідратної структури. Положення молекул води частково визначається тим, що їх орієнтація повинна сприяти утворенню водневих зв'язків. Через 10^{-11} с велика частина молекул змінить орієнтацію, і водневі зв'язки виникнуть в інших місцях [24]. Кожні 10^{-12} ... 10^{-11} с у воді чергуються поступальні і обертальні зміщення. Вважають також, що з'єднані водневими зв'язками агрегати молекул води існують

10^{-11} с. Молекули води, що знаходяться в першому шарі і зв'язані з іоном, утримуються в цьому стані протягом більш тривалого часу, ніж той, який передусе обміну молекулами з навколишньою водою [20].

Останніми результатами аналізу швидкості обміну молекул води для гідратних оболонок іонів встановлено [25], що частота обміну багатьох двовалентних іонів складає близько $10^{-4} \dots 10^{-6}$ с. Такий проміжок часу може здатися надто коротким, проте в масштабі молекулярних подій він досить великий, оскільки в мільярд разів перевищує період коливань або обертань нормальної молекули. Якщо час «життя» хімічної структури так само великий, як середня тривалість реакції, то така структура є реальною. Отже, тільки такі умови забезпечують перебіг процесів гідратації, тобто молекулярна структура повинна існувати деякий час, значно більший відносно часу спостереження, який може бути таким же коротким, як крок у хімічній реакції. Звідси макроскопічні властивості продуктів гідратації визначаються не однією або декількома частковими статичними структурами, а складною динамічною системою їх взаємодії.

Мікроскопічними дослідженнями цементних систем на ранній стадії гідратації виявлено утворення кристалів трьохсульфатної форми гідросульфоалюмінату кальцію, коротких призматичних у насиченому гідроксидом кальцію і сульфатом розчині, що розвиваються на більш пізніх стадіях у подовжені голчасті, коли концентрація іонів Ca^{2+} у рідкій фазі знижується [22]. Протягом 5...20 хв після змішування цементу з водою зафіксовано утворення трьохсульфатної форми гідросульфоалюмінату кальцію $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$ (ГСАК-3) і гідроксиду кальцію $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Крім того, якщо цемент містить відносно велику кількість сульфату калію, що розчиняється одразу після змішування цементу з водою, на цій ранній стадії гідратації спостерігається утворення сингеніту $\text{K}_2\text{SO}_4 \cdot \text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$.

Кристали як ГСАК-3, так і сингеніту характеризуються однаковою голчастою формою і мають дуже схожу структуру. Первинний С-S-H, а також $\text{Ca}(\text{OH})_2$ і ГСАК-3 утворюють щільну оболонку навколо зерен цементу (відпо-

відно в місцях виходу на поверхню частинок силікатів кальцію, трьохкальцієвого алюмінату і алюмоферитів кальцію). Внаслідок того, що іони Ca^{2+} і SO_4^{2-} і вода в даному випадку можуть лише дуже повільно дифундувати через цю оболонку до поверхні трьохкальцієвого алюмінату і алюмоферитів кальцію, подальша взаємодія між ними сильно гальмується. Тому утворення нових порцій ГСАК-3 відбувається повільно і носить циклічно загасаючий характер. Виникаючий тиск кристалізації руйнує оболонку, в результаті чого на цій ділянці утворення ГСАК-3 відбувається прискорено до того моменту, поки отвір в оболонці ГСАК-3 не закриється знову. Це повторюється до тих пір, поки концентрація іонів SO_4^{2-} у рідкій фазі зменшиться настільки, що стане неможливою подальша кристалізація ГСАК-3.

Голки ГСАК-3 не схильні до утворення дендритової структури і не можуть утворювати безперервну оболонку навколо зерен [22]. Повільно зростаючі голки ГСАК-3 не об'єднуються з іншими новоутвореннями, замість цього вони продовжують збільшуватися й розсовувати сусідні частинки, руйнуючи або ущільнюючи первинну структуру. Ці процеси супроводжуються розвитком кристалізаційного тиску, тому швидке утворення ГСАК-3 може грати як позитивну, так і негативну роль у структуроутворенні системи. Причому, в залежності від вмісту оксиду заліза в кристалічних ґратках ГСАК-3 іони Al^{3+} у більшій чи меншій мірі можуть бути заміщені іонами Fe^{3+} [8].

Дослідження процесу розчинення, що супроводжується комплексоутворенням, показує, що цементні частинки адсорбують продукти розчинення. Цей процес призводить, з одного боку, до уповільнення гідролітичної дисоціації, а з іншого - до встановлення динамічної рівноваги адсорбційного типу.

Структурні елементи адсорбційної плівки характеризуються незначною відмінністю від структурних елементів у розчині. Форма переважаючих комплексів у рідкій фазі, в основному, визначає склад поверхні. Спорідненість структурних елементів у рідкій фазі до вихідної твердої фази обумовлює рівень концентрацій, які досягаються в розчині. Чим більше структурні елементи в рідкій фазі відрізняються від структурних елементів вихідної фази, тим менше

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Holland T.C. High-Performance Concrete: As High as It Gets/T.C. Holland // *The Concrete Producer*. – 1998. – Vol. 16, No 7. July. – P 501-505.
2. Collepardi M. Innovative Concretes for Civil Engineering Structures: SCC, HPC and RPC / M. Collepardi // *Workshop on New Technologies and Materials in Civil Engineering*, 2003: Proc. – Milan (Italy), 2003. – P 1-8.
3. Особенности структурообразования высокопрочного цементного камня в условиях длительного твердения / В. В. Бабков, Р. Р. Сахибгареев, А. Е. Чуйкин [и др.]. // *Строительные материалы*. – 2003. – № 10. – С 42–43.
4. Формирование и генезис микроструктуры цементного камня / под ред. Л. Г. Шпыновой. – Львов: Вища школа. Изд-во при Львовском ун-те, 1975. – 160 с.
5. Урьев Н. Б. Кинетика процессов структурообразования в трехфазных дисперсных системах в динамических условиях (при вибрации) в процессе смешения / Н. Б. Урьев // *Коллоид. ж.* – 2002. – Т. 64. – № 2. – С. 217-232.
6. Мчедлов-Петросян О. П. Химия неорганических строительных материалов / Мчедлов-Петросян О. П. – М.: Стройиздат, 1988. – 303 с.
7. Тейлор Х. Ф. У Химия цемента / Тейлор Х. Ф. У – М.: Стройиздат, 1998. – 600 с.
8. Структурообразование и разрушение цементных бетонов / [Бабков В. В., Мохов В. Н., Капитонов С. М., Комохов П. Г.]. – Уфа: ГУП Уфимский полиграфкомбинат, 2002. – 376 с.
9. Lea's Chemistry of Cement and Concrete, ed. by Peter C. Hewlett, 1998. – 1008 s.
10. Experimental study on the micro-aggregate effect in high-strength and super-high-strength cementitious composites / G. Pan, W. Sun, D. Ding, Y. Zhang // *Cement and Concrete Research*. – 1998. – Vol. 28. – Issue 2. – P 171-176.
11. Мейер К. Физико-химическая кристаллография / Мейер К. – М.: Металлургия, 1982. – 380 с.
12. Ребиндер П. А. Проблемы образования дисперсных систем и структур в этих системах. Физико-химическая механика дисперсных структур и твердых тел / П. А. Ребиндер // *Современные проблемы физической химии*. – М.: Изд. МГУ – 1968. – С. 334-414.
13. Quasielastic neutron scattering study of the effect of water-to-cement ratio on the hydration kinetics of tricalcium silicate / R. Berliner, M. Popovici, K.W. Herwig, M. Berliner // *Cement and Concrete Research*. – 1998. – Vol. 28. – Issue 2. – P 231-243.
14. Le Chatelier H. Crystalloid against Colloids in the theory of Cements / H. Le Chatelier // *Trans. Farad. Soc.* – 1919. – Vol. 14. – P 8-11.
15. Michaelis W. Der Erhdtungsproze der kalkhaltigen hydraulischen Bindemittel / W. Michaelis // *Kolloid Zeitschrift*. – 1909. – Vol. 5. – P 9-22.
16. Odler L. Interaction between Gypsum and the C-S-H Phase Formed in C₃S Hydration / L. Odler // *Proceeding of the 7th International congress on the Chemistry of Cement*. – 1981. – Vol. 4. – P 493-495.
17. Marfil S. A. Relationships between SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, CaO, K₂O and expansion in the determination of the alkali reactivity of basaltic rocks / S. A. Marfil, O. J. Maiza, A. L. Bengochea, J. D. Sota // *Cement and Concrete Research*. – 1988. – Vol. 28. – Issue 2. – P 189-196.
18. Урьев, Н. Б. Высококонцентрированные дисперсные системы / Н. Б. Урьев. – М.: Химия, 1980. – 319 с.
19. Тейлор Х. Ф. У Химия гидратации цемента / Х. Ф. У Тейлор. – М.: ВНИИЭСМ. – 1989. – Т. 2. – С. 17-91.
20. Азелицкая Р. Д., Приходченко Н. А., Скалозубов М. Ф. Влияние омагниченной воды на физико-химические процессы гидратации и твердения цемента // *Научн. тр. Новочеркасского политехнического ин-та*. – 1969. – Вып. 190. – С. 121-126.
21. Антонченко В. Я. Физика воды / Антонченко В. Я. – К.: Наукова думка, 1986. – 128 с.
22. Айлер Р. Химия кремнезема; пер. с англ. / Айлер Р. – М.: Мир, 1982. – Ч. 1. – 416 с.
23. Руденко Н. Н. Тяжелые бетоны с высокими эксплуатационными свойствами / Руденко Н. Н. – Днепропетровск: Арт-Пресс, 1999. – 260 с.
24. Физико-химические основы формирования структуры цементного камня / под ред. Л. Г. Шпыновой. – Львов: Вища школа. Изд-во при Львовском ун-те, 1981. – 160 с.
25. Теория цемента / под ред. А. А. Пашенко – К.: Будівельник, 1991. – 168 с.
26. Tailor H. F. W. Proposed Structure for Calcium Silicate Hydrate Gel / H.F.W. Tailor // *J. Amer. Ceram. Soc.* – 1980. – Vol. 69. – P 464-467.

27. Вигдорчик Е.М., Шейнин А.Б. Математическое моделирование непрерывных процессов растворения. – Л.: Химия, 1971. – 248 с.
28. Stein H. N. Thermodynamic Consideration on the Hydration Mechanisms of Ca_3SiO_5 and $\text{Ca}_3\text{Al}_2\text{O}_6$ / H. N. Stein // *Cem. Concr. Res.* – 1992. – Vol. 2. – P. 167-177
29. Бабушкин В. И. Термодинамика силикатов / Бабушкин В. И., Матвеев Г. М., Мчедлов-Петросян О. П. – М.: Стройиздат, 1986. – 407 с.
30. Бабушкин В. И. Роль коллоидно-химических и осмотических явлений в процессах структурообразования, формирования свойств и обеспечения стойкости цементных систем / В. И. Бабушкин, В. И. Кондращенко // *Бетон и железобетон в Украине.* – 2007 – № 3. – С. 22-25.
31. Дибров Г. Д. Диссипативные структуры твердеющих цементных паст / Г. Д. Дибров, Ю. И. Мустафин, В. А. Селезень // *ДАН УССР* – 1983. – Сер. А. Физ.-мат. и техн. науки. – № 12. – С. 66-68.
32. Tomosawa F. Development of a kinetic model for hydration of cement / F. Tomosawa // *Proc. of the X International Congress on the Chemistry of Cement.* – Goteborg. – 1997 – Vol. 2. – P. 43-50.
33. Ахвердов И. Н. Основы физики бетона / Ахвердов И. Н. – М.: Стройиздат, 1980. – 464 с.
34. Влияние обработки цементных суспензий на ускорение твердения бетонов / И. М. Грушко, А. И. Бирюков, И. И. Селиванов [и др.] // *Бетон и железобетон.* – 1980. – № 3. – С. 38-40.
35. Юнг Н. В. Технология вяжущих веществ / Юнг Н. В. – М.: Госстройиздат, 1962. – 367 с.
36. Масатэру Т. Сверхпрочный бетон / Т. Масатэру // *Цементо Конкрито.* – 1996. – № 355. – С. 53-59; перевод ЦНИИС № 28737. – М. – 1999.
37. Чернявский В. Л. Адаптация бетона / В. Л. Чернявский. – Днепропетровск: Новая идеология, 2002. – 115 с.
38. Nonat A., Lecoq X., Gauffinet S. Calcium hydroxide concentration on Solution: parametr determining of the early hydration of tricalcium silicate and the characteristics of the products//*Proc. of the X International Congress on the Chemistry of Cement.* – Goteborg. – 1997 – Vol. 2. – P. 50-55.
39. Пшійньо О. М. Підвищення довговічності бетонних та залізобетонних виробів і конструкцій / Пшійньо О. М. – Дніпропетровськ: ДПТ, 1995. – 100 с.
40. Файнер М. Ш. Новые закономерности в бетоне и их практическое приложение / Файнер М. Ш. – К.: Наук. думка, 2001. – 236 с.
41. Файнер М. Ш. Высокопрочный бетон / Файнер М. Ш. – Черновцы: ЧНУ, Рута, 2007 – 217 с.
42. Artelt C. Impact of superplasticizer concentration and ultra-fine particles on the rheological behaviour of dense mortar suspensions / C. Artelt, E. Garcia // *Cement and Concrete Research.* – 2008. – Vol. 38. – No 5. – P. 633-642.
43. Фаликман В. Р. Строительно-технические свойства особовысокопрочных быстротвердеющих бетонов / В. Р. Фаликман, Ю. В. Сорокин, О. О. Калашников // *Бетон и железобетон.* – 2004. – № 5. – С. 5-10.
44. Акчурин Т. К. Теоретические и методологические вопросы определения характеристик трещиностойкости бетона при статическом нагружении / Т. К. Акчурин, А. В. Ушаков. – Волгоград: ВолгГАСУ, 2005. – 408 с.
45. Карпенко Н. И. К определению деформаций ползучести высокопрочного бетона при ступенчато-возрастающих нагрузках / Карпенко Н. И., Ромкин Д. С. // *Строительные науки. Строительные материалы и конструкции.* – 2010. – № 3. – С. 559-562.
46. Хвастунов А. В. Повышение эксплуатационных свойств бетонных плит различного назначения / А. В. Хвастунов // *Строительные материалы.* – 2008. – № 10. – С. 39-42.
47. Хердтл Р. Долговечность бетонов на основе многокомпонентных цементов / Р. Хердтл, М. Дитерманн, К. Шмидт // *Цемент и его применение.* – 2011. – № 1. – С. 76-80.
48. Рабинович Ф. Н. Композиты на основе дисперсноармированных бетонов. Вопросы теории и проектирования, технология, конструкции / Рабинович Ф. Н. – М.: АСВ, 2004. – 560 с.
49. Collepardi M. The New Concrete / Collepardi M. – Published by Grafishe Tintoretto, 2006. – 421 p.
50. Соломатов В. И. Композиционные строительные материалы пониженной материалоемкости / В. И. Соломатов, В. Н. Вывовой. – К.: Будівельник, 1991. – 144 с.
51. Hooks John M. HPS bridges for the 21-st century / John M. Hooks // *Bridge Views.* – 1999. – Issue N 6. – P. 1-3.
52. Особенности подбора материалов при разработке составов и технологии высокопрочных бетонов / А. А. Борисов, Л. Г. Поляков, В. В. Виктор [и др.] // *Строительные материалы.* – 2001. – № 6. – С. 28-29.
53. Анпилов С. М. Технология возведения зданий и сооружений из монолитного железобетона / Анпилов С. М. – М.: АСВ, 2010. – 592 с.

54. Данилов А. М. Сложные системы: идентификация, синтез, управление / А. М. Данилов, И. А. Гарькина. – Пенза: ПГУАС, 2011. – 308 с.
55. Баженов Ю.М. Бетон: технологии будущего // Ж. Технологии безопасности и инженерные системы – М. – № 6/1 (12). – 2007. – С. 25-26.
56. Подмазова С.А. Проектирование составов бетона по критерию долговечности // Ж. Технологии бетонов. М. – № 3(8). – 2006. – С. 28-30.
57. В.С. Демьянова. Быстротвердеющие высокопрочные бетоны с органоминеральными модификаторами / Демьянова В.С., Калашников В.И. – Пенза: ПГУАС, 2003. – 195 с.
58. Ю.М. Баженов. Технология наномодифицированных строительных материалов / Баженов Ю.М., Королёв Е.В. // Наносистемы в строительстве и производстве строительных материалов. Сборник докладов. – М.: АСВ, 2007. – С. 33.
59. Баженов Ю.М. Использование наносистем в строительстве и материаловедении. // Вопросы применения нанотехнологий в строительстве. Сборник докладов. – М.: АСВ, 2009. – С. 4.
60. Асирян А.М. Некоторые особенности взаимодействия компонентов в высокопрочных бетонах // Известия ВУзов. Строительство. – 2002. – № 6. – С. 37-40.
61. Фаликман В.Р. Новое поколение суперпластификаторов // Бетон и железобетон. – М. – 2000. – № 5. – С. 6-7.
62. Хорошун Л. П. Нелинейные свойства композитных материалов стохастической структуры / Л. П. Хорошун, Б. П. Маслов. – Киев: Наукова думка, 1992. – 132 с.
63. Данилов А. М. Планирование эксперимента. Обработка опытных данных / Данилов А. М., Гарькина И. А., Прошин А. П. Под ред. д-ра техн. наук, проф. А. М. Данилова. – Пенза: ПГУАС, 2005. – 284 с.
64. Химмельблау Д. Анализ процессов статистическими методами / Химмельблау Д. – М.: Мир, 1974. – 957 с.
65. Хорошун Л. П. Методы автоматизированного расчета физико-механических постоянных композиционных материалов / Л. П. Хорошун, Б. П. Маслов – Киев: Наукова думка, 1980. – 156 с.
66. Первозванский А. А. Курс теории автоматического управления / Первозванский А. А. – М.: Наука, 1986. – 616 с.
67. Рохваргер А. Е. Математическое планирование научно-технических исследований / А. Е. Рохваргер, А. Ю. Шевяков. – М.: Наука, 1990. – 440 с.
68. Бешелев С. Д. Экспертные оценки / С. Д. Бешелев, Ф. Г. Гурвич – М.: Наука, 1993. – 159 с.
69. Демьянова В.С., Калашников В.И. Быстротвердеющие высокопрочные бетоны с органоминеральными модификаторами. Пенза: ПГУАС, 2003. – 195 с.
70. Гузь А. Н. Механика хрупкого разрушения материалов с начальными напряжениями / Гузь А. Н. – Киев: Наукова думка, 1983. – 295 с.
71. Зайцев Ю. В. Особенности механики разрушения бетона и железобетона при длительном действии нагрузки и внешней среды / Ю. В. Зайцев // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. – 2001. – № 8 (31). – С. 28-30.
72. Федоркин С. И. Механоактивация вторичного сырья в производстве строительных материалов / С. И. Федоркин. – Симферополь. Таврия, 1997. – 180 с.
73. Павлов А. Р. Математическое моделирование процессов тепло- массопереноса и температурных деформаций в строительных материалах при фазовых переходах / Павлов А. Р. – Новосибирск: Наука, 2001. – 175 с.
74. Слободов Е. Б. Массоотдача в сплошной фазе двухфазных сред при протекании объемной химической реакции / Е. Б. Слободов, А. М. Кутепов, И. В. Чепура // Журнал прикладной химии. – 1986. – Т. 59. – №10. – С. 2180-2184.
75. Хейфец Л. И. Многофазные процессы в пористых средах / Л. И. Хейфец, А. В. Неймарк – М.: Химия, 1982. – 319 с.
76. Marfil S. A. Relationships between SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , K_2O and expansion in the determination of the alkali reactivity of basaltic rocks / S. A. Marfil, O. J. Maiza, A. L. Bengochea, J.D. Sota // Cement and Concrete Research. – 1988. – Vol. 28. – Issue 2. – P. 189-196.
77. Meguid S. A. Engineering fracture mechanics / Meguid S. A. – London and New York: Elsevier applied science, 1989. – 397 p.
78. Математические методы в строительном материаловедении / [А. П. Прошин, А. М. Данилов, В. И. Соломатов и др.]. – Саратов, изд-во СаратовГУ, 2001. – 188 с.
79. Лермит Р. Проблемы технологии бетона / Лермит Р. – М.: ЛКИ, 2007. – 296 с.

80. Структурообразование и разрушение цементных бетонов / [Бабков В. В., Мохов В. Н., Капитонов С. М., Комохов П. Г.] – Уфа: ГУП Уфимский полиграфкомбинат. 2002 – 376 с.
81. Свойства и технология применения бетонов классов В70 и В80 / Н. В. Смирнов, Е. А. Антонов, В. М. Васькин, В. М. Клишина // Проблемы качества бетона и железобетона в транспортном строительстве: тр. ЦНИИС. – Вып. № 209. – М. – 2002. – С. 22-24.
82. Трамбовецкий В. П. Бетон – в мире технологий (Часть 1) / В. П. Трамбовецкий // Технологии бетонов. – 2005. – № 1. – С. 70-73.
83. Aitcin P. C. The Art and Science of Durable High-Performance Concrete / Pierre-Claude Aitcin // Nelú Spiratos Symp. Committee for the Organization of CANMET/ACI Conferences, 2003: Proc. – 2003. – P. 69-88.
84. Дейнега Ю. Ф. Дисперсные системы в электрических полях / Ю. Ф. Дейнега // Украинск. хим. журн. – 2001. – Т. 67 – № 3. – С. 13-18.
85. Пирадов К. А. Механика разрушения железобетона / К. А. Пирадов, Е. А. Гузеев. – Москва Новый век. 1998. – 190 с.
86. Рабинович Ф. Р. Дисперсноармированные бетоны / Ф. Р. Рабинович. – М.: Стройиздат. 1989. – 174 с.
87. Руденко Д. В. Фізико-хімічна модифікація цементної системи монолітного бетону // Наука та прогрес транспорту – 2015. – № 6 (60). – С. 174–182. doi: 10.15802/stp2015/57103.
88. Особенности структурообразования высокопрочного цементного камня в условиях длительного твердения / В. В. Бабков, Р. Р. Сахибгареев, А. Е. Чуйкин [и др.]. // Строительные материалы. – 2003. – № 10. – С. 42–43.
89. Соломатов В. И. Композиционные строительные материалы пониженной материалоемкости / В. И. Соломатов, В. Н. Выровой – К.. Будівельник, 1991. – 144 с.
90. Middendorf B. Nanoscience and nanotechnology in cementitious materials / B. Middendorf, N. B. Singh // Cement International. – 2006. – № 4. – P. 80-86.
91. Хаютин Ю. Г. Повышение плотности бетона за счет создания кристаллизационного барьера / Ю. Г. Хаютин // Бетон и железобетон. – 1996. – № 3. – С. 21-24.
92. Lee, C. Y. Strength and microstructural characteristics of chemically activated fly ash-cement systems / C. Y. Lee, H. K. Lee, K. M. Lee // Cement and Concrete Research. – 2003. – Vol. 33. – № 3. – P. 425–431 doi: 10.1016/S0008-8846(02)00973-0.
93. Иванова А. П. Анализ и перспективы применения эффективных ресурсосберегающих технологий в производстве бетона / А. П. Иванова, О. И. Труфанова // Наука та прогрес транспорту. – 2014. – № 5 (53). – С. 150–156. doi: 10.15802/stp2014/30453.
94. Партон В.З. Механика разрушения: от теории к практике. Изд. 2-е / В.З. Партон. М., Изд. ЛКИ, 2007 – 240 с.
95. Rudenko N. The Development of Conception of New Generation Concretes / N. Rudenko // ТЕКА Kom. Mot. I Energ. Roln. – Lublin: OL PAN. – 2010. – Vol. XB. – P. 128–133.
96. Rudenko N. Technology of shotcreting based on activated binder / N. Rudenko // Teka Kom. Mot. i Energ. Roln. – Lublin: OL PAN. – 2014. – Vol. 14. – № 1. – P. 222–228.
97. Rudenko D. Properties of the phase components of the modified cement system / D. Rudenko // ТЕКА Kom. Mot. I Energ. Roln. – 2013. – Vol. 13. – No. 4. – P. 218–224.
98. Руденко Д. В. Бетон на основі дисперсно модифікованої цементної системи / Д. В. Руденко // Наука та прогрес транспорту. Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – 2016. – № 4 (64). – С. 169-175.
99. Добавки в бетон / [Рамачандран В. С., Фельдман Р. Ф., Коллепарди М. и др.] – М.: Стройиздат, 1988. – 571 с.
100. Курбатова И. И. Влияние органических добавок на кинетику изменения состава жидкой фазы и структурообразование цементных паст / И. И. Курбатова, Ф. Л. Глекель // Физико-химические исследования цементного камня и бетона. – М., НИИЖБ ОНТИ, 1972. – С. 43-57.
101. Collepardi M. Recent Developments in Superplasticizers / M. Collepardi, M. Valente // the 8-th International Conf. on Superplasticizers and Other Chemical Admixtures in Concrete, 2006: Proc. – Sorrento (Italy), 2006. – P. 1-14.
102. Flatt R. J. The rheology of cementitious materials / R. J. Flatt, N. S. Martys, L. Bergström // MRS Bulletin. – 2004. – Vol. 29, No 5. – P. 314-318.
103. Асирян А. М. Некоторые особенности взаимодействия компонентов в высокопрочных бетонах / Асирян А. М. // Известия ВУЗов. Строительство. – 2002. – № 6. – С.37-40.

104. Lee M. G. A preliminary study of reactive powder concrete as a new repair material / M. G. Lee, Y.-C. Wang, C.-T. Chiu // *Construction and Building Materials*. – 2007. – Vol. 21, No 1. – P. 182-189.
105. Liu C.-I. Highly flowable reactive powder mortar as a repair material / Chin-Isung Liu, Jong-Shin Huang // *Construction and Building Materials*. – 2008. – Vol. 22, No 6. – P. 1043-1050.
106. Cong X. Role of Silica Fume in Compressive Strength of Cement Paste, Mortar and Concrete / X. Cong, S. Gong, D. Darwin, S. L. McCabe // *ACI Materials Journal*. – 1992. – Vol. 89. – No. 4. – P. 375-386.
107. Shayan A. Microscopic Features of Cracked and Uncracked Concrete Railway Sleepers / A. Shayan, G. W. Quick // *ACI Materials Journal*. – 1992. – Vol. 89. – No. 4. – P. 348-360.
108. Mehta P. K. High-Performance, High-Volume Fly Ash Concrete for Sustainable Development / P. K. Mehta // the Intern. Workshop on Sustainable Development and Concrete Technology, 20-21 May 2004 Proc. – Beijing (China). – 2004. – P. 3-13.
109. Malhotra V. M. High-Performance, High-Volume Fly Ash Concrete. Supplementary Cementing Materials for Sustainable Development / V. M. Malhotra, P. K. Mehta. – Inc. – Ottawa, 2002. – 101 p.
110. Jost K. N. Relation between the Crystal Structures of Calcium Silicates and their Reactivity against Water / K. N. Jost, B. Zimmer // *Cem. and Concr. Res.* – 1984. – V. 14. – P. 177-184.
111. Мейер К. Физико-химическая кристаллография / Мейер К. – М.: Металлургия, 1972. – 380 с.
112. Бойкова А. И. Твердые растворы цементных минералов / Бойкова А. И. – Л.: Наука, 1994. – 100 с.
113. Булатов Н. К. Термодинамика необратимых физико-химических процессов / Н. К. Булатов, А. Б. Лунин – М.: Химия, 1984. – 336 с.
114. Гранковский И. Г. Структурообразование в минеральных вяжущих системах / Гранковский И. Г. – К.: Наукова думка, 1984. – 300 с.
115. Казанский В. Б. Определение энергии активации реакционной системы при действии катализаторов / В. Б. Казанский, Н. Д. Чувыкина // *ДАН СССР* – 1985. – Т. 223. – № 4. – С. 910-913.
116. Урьев Н. Б. Физико-химические основы технологии дисперсных систем и материалов / Урьев Н. Б. – М.: Химия, 1988. – 256 с.
117. Саницкий М. А. Структурные превращения при гидратации алюминатов кальция / М. А. Саницкий, П. В. Новосад // *Укр. хим. журнал*. – 1988. – Т. 54. – № 2. – С. 118-121.
118. Blais P. Y. Precast, Prestressed Pedestrian Bridge-World's First Reactive Powder Concrete Structure / Pierre Y. Blais, Marco Couture // *PCI Journal*. – 2002, September-October. – P. 60-71.
119. Dauriac Special concrete may give steel stiff competition / Cristophe Dauriac // *The Seattle Daily Journal of Commerce*. – 2007. – No 9. – P. 4-9.
120. Макаров Е. С. Изоморфизм атомов в кристаллах / Макаров Е. С. – М.: Атомиздат, 1993. – 288 с.
121. Смирнова Н. Л. Изоморфизм и близкие представления в свете кристаллохимии / Н. Л. Смирнова, Н. В. Белов // *Геохимия*. – 1969. – № 11. – С. 1291-1301.
122. Beneficiated Fly Ash Versus Normal Fly Ash or Silica Fume / M. Collepardi, S. Collepardi, J.J. Olagot Ogoumah, R. Troli // the 9th CANMET/ACI International Conf. on Fly Ash, Silica Fume, Slag and Natural Pozzolans in Concrete, 20-25 May 2007. Proc. – Warsaw (Poland). – 2007. – P. 1-8.
123. Bogue R. The Chemistry of Portland Cement / Bogue R. – London, 1988. – 317 p.
124. Вегман Е. Ф. Кристаллография, минералогия, петрография и рентгенография / Вегман Е. Ф., Руфанов Ю. Г., Федорченко И. Н. – М.: Металлургия, 1990. – 264 с.
125. Теличенко В. И. Технология возведения зданий и сооружений / Теличенко В. И., Терентьев О. М., Лапидус А. А. – М.: Стройиздат, 2004. – 446 с.
126. Влияние органоминерального модификатора МБ-50С на структуру и деформативность цементного камня и высокопрочного бетона / Каприелов С. С., Карпенко Н. И., Шейнфельд А. В., Кузнецов Е. Н. // *Бетон и железобетон*. – 2003. – № 16. – С. 2-7.
127. Руденко, Д. В. Дослідження напруженого стану модифікованого монолітного бетону / Д. В. Руденко // *Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна*. – 2016. – № 6. – С. 166-174.
128. Руденко, Д. В. Модифицированные бетоны повышенной сульфатостойкости / Д. В. Руденко // *Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури*. – 2010. – Вип. 1 (81) "Сучасні будівельні матеріали" – С. 131-136.
129. Руденко, Д. В. Бетоны с дисперсноармированной матрицей для транспортного строительства / Д. В. Руденко // *Тези доповідей 75 Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми і перспективи розвитку залізничного транспорту»*. – ДІТ – 2015. – С. 258-260.

130. Руденко, Д. В. Технологія модифікованих бетонів для монолітних споруд / Д. В. Руденко // Ефективні організаційно-технологічні рішення та енергозберігаючі технології в будівництві: матеріали VI Міжнародної науково-практичної конференції. – Харків: ХНУБА, ХОТБ АБУ, 2016. – С. 90-91.
131. Руденко, Д. В. Модифіковані бетони для висотних споруд / Д. В. Руденко // Ефективні технології в будівництві: матеріали міжнародної науково-технічної конференції. – Київ: ХНУБА, НДІБВ, АБУ, 2016. – С. 107-108.
132. Interaction between Gypsum and C-S-H phase in C-S Hydration using ESCA / Kim Nam-Ho, Lee Young-Jin, Um Woo-Sik, Lee Hee-Soo // Proceedings of the 10th International Congress on the Chemistry of Cement. – 1997. – P. 127-134.
133. Yong I. F. Makrodefect-free Cement / I. F. Yong // A Review. Mat. Soc. – Vol. 179. – 1991. – S. 101-122.
134. Bernsted J. Further Aspect of Setting of Portland Cement / J. Bernsted // Silicat ind. – 1983. – V. 48. – N 9. – P. 167-170.
135. Дистлер Г. И. Реальная структура твердых тел как определяющий фактор механохимических процессов / Г. И. Дистлер // Труды V Всесоюз. симпозиума по механоэмиссии и механохимии твердых тел. – Таллинн. – 1977. – Т. 1. – С. 49-52.
136. Plank J. Impact of zeta potential of early cement hydration phases on super-plasticizer adsorption // Johann Plank, Christian Hirsch // Cement and Concrete Research. – 2007. – Vol. 37. – No 4. – P. 537-542.
137. Голуб Т. П. Адсорбция катионных ПАВ на поверхности оксида кремния. I. Изотермы адсорбции и поверхностный заряд / Т. П. Голуб, Л. К. Коопал, М. П. Сидорова // Коллоид. ж. – 2004. – Т. 66. – № 1. – С. 43-48.
138. Kraemer E. D. Treatise on Physical Chemistry / E. D. Kraemer. – Publ. H.S.Taylor, Ed. Van Nostrand. – New York. – 1931. – P. 1661.
139. Mc Bain J. W. Interlayer Adsorption of CSH I / J. W. Mc Bain // J. Amer. Chem. Soc. – 1935. – Vol. 57. – P. 699.
140. Kuzel H.-J. On the Hydration Steps of the Hydroxysalts $3\text{CaO} \cdot \text{Me}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaCl}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ and $3\text{CaO} \cdot \text{Me}_2\text{O}_3 \cdot \text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ / H.-J. Kuzel // Neues Jahrb. Min. Monatsh. – 1980. – P. 363-364.
141. Richartz W. Ein Beitrag zur Morphologie und Wasserbindung von Calciumsilicathydraten und gefüge des Zementsteins / W. Richartz, F.W. Locher // Zement-Kalk-Gips. – 1965. – Vol. 18. – No 9. – S. 449-459.
142. Механизм и долговечность действия некоторых добавок на свойства портландцемента / Л. Г. Шпынова, И. И. Никонец, М. В. Мельник, С. К. Мельник // Изв. вузов. Сер. Химия и химическая технология. – 1979. – Т. 22. – Вып. 3. – С. 344-349.
143. Daimon M. Assembly of a vapor adsorption apparatus and its application to the determination of the pore size distribution of hydrated cement / M. Daimon, R. Kondo // Nippon Kagaku, Tokyo. – 1972. – P. 238-243.
144. Дворкин Л. И., Кизима В. П. Эффективные литые бетоны. – Львов: Вища школа, 1986. – 142 с.
145. Батраков В. Г. Модификаторы бетона: новые возможности и перспективы / В. Г. Батраков // Строительные материалы. – 2006. – № 10. – С. 4-7.
146. Батраков В. Г. Модифицированные бетоны. Теория и практика / Батраков Владимир Георгиевич. – М.: Технопроект, 1998. – 768 с.
147. Комохов П. Г. Наукоемкая технология конструкционного бетона как композиционного материала (часть 1) / П. Г. Комохов // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. – 2002. – № 4. – С. 36-37.
148. Комохов П. Г. Наукоемкая технология конструкционного бетона как композиционного материала (часть 2) / П. Г. Комохов // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. – 2002. – № 5. – С. 26-27.
149. Комохов, П. Г. Модифицированный цементный бетон. его структура и свойства. / П. Г. Комохов, Н. Н. Шангина // Цемент. – 2002. – № 1-2. – С. 43-46.
150. Физико-химическая механика тампонажных растворов / [Круглицкий Н. Н., Вагнер Г. Р., Гранковский И. Г., Детков В. П.]. – Киев: Наукова думка, 1984. – 287 с.
151. Role of Silica Fume in Compressive Strength of Cement Paste, Mortar and Concrete / X. Cong, S. Gong, D. Darwin, S.L. McCabe // ACI Materials Journal. – 1992. – Vol. 89. – No. 4. – P. 375-386.
152. Ахвердов И. Н. Ультразвуковое вибрирование в технологии бетона / И. Н. Ахвердов, М. А. Шалимо – М.: Стройиздат, 1969. – 212 с.
153. Wrihgt James, Frohnsdorf G. Durability of building materials: durability research in the United States

- and the influence of RILEM on durability research / James Wrihgt, G. Frohnsdorf // *Mater. and Constr.* – 1985 – Vol. 18. – No 105. – P 205-214.
154. Саницкий М. А. Некоторые вопросы кристаллохимии цементных минералов / Саницкий М. А. – Киев: УМК ВО. 1990. – 60 с.
155. Сватовская Л. Б. Активированное твердение цементов / Л. Б. Сватовская, М. М. Сычев – Л., Стройиздат, Ленингр. отделение, 1983. – 160 с.
156. Стадальман С Гидратация цемента / С. Стадальман // Труды VIII Международного конгресса по химии цемента. – М.: ВНИИЭСМ. – 1989. – Т 2. – С. 213-218.
157. Глекель Ф. Л. Регулирование гидратационного структурообразования поверхностно-активными веществами / Глекель Ф. Л., Копп Р. З., Ахмедов К. С. – Ташкент: ФАН, 1986. – 224 с.
158. Красильников Г. К. Физико-химическая природа влажностных деформаций цементного камня / Г. К. Красильников, Н. Н. Скоблинская // Ползучесть и усадка. – М.: НИИЖБ. – 1989. – С. 129-142.
159. Афанасьев А. А. Возведение зданий и сооружений из монолитного железобетона / Афанасьев А. А. – М.: Стройиздат. 1990. – 217 с.
160. Чистов А. В. Расчет нарастания прочности бетона при различных температурах выдерживания / А. В. Чистов // Бетон и железобетон. – 1994. – № 8. – С. 14-17
161. Рациональные области применения модифицированных бетонов в современном строительстве / В. В. Бабков, Р. Р. Сахибгареев, Г. С. Колесник [и др.] // Строительные материалы. – 2006. – № 10. – С. 20-22.
162. Roy D. M. Advanced Cement Systems Including CBS, DSP, MDF / 9-th ICCC, vol. 1, 1992. – S. 357-380.
163. Derucher K.M. Composite materials: Testing and Design / Derucher K.M. – New Orleans – Philadelphia, 1989. – 697 p.
164. Katsumi K. Study the Use of Blast-Furnace Slag in Concrete // *Proc. Jap. Soc. Eng.* – 1999. – N 298. – P 109 – 122.
165. Beneficiated Fly Ash Versus Normal Fly Ash or Silica Fume / M. Collepardi, S. Collepardi, J.J. Olagot Ogoumah, R. Troli // the 9th CANMET/ACI International Conf. on Fly Ash, Silica Fume, Slag and Natural Pozzolans in Concrete, 20-25 May 2007. Proc. – Warsaw (Poland). – 2007 – P 1-8.
166. Lu P., Yong I.F. Slag-Portland Cement Based DSP Paste. *J. Am. Ceram. Soc.*, vol. 76, №5, 2003. – S. 329-334.
167. Рабухин А. И. Физическая химия тугоплавких неметаллических и силикатных соединений / Рабухин А. И., Савельев В. Г. – М.: ИНФРА-М. 2004. – 304 с.
168. Бабушкин В. И. Роль коллоидно-химических и осмотических явлений в процессах структурообразования, формирования свойств и обеспечения стойкости цементных систем / В. И. Бабушкин, В. И. Кондрашенко // Бетон и железобетон в Украине. – 2007. – № 3. – С. 22-25.
169. Партон В.З. Механика разрушения: от теории к практике. Изд. 2-е / В.З. Партон. М., Изд. ЛКИ, 2007 – 240 с.
170. Поверхностные пленки воды в дисперсных структурах / Под ред. Е.Д. Шукина. – М.: Изд-во МГУ, 1988. – 279 с.
171. Diamond S. F. Critical comparison of mercury porosimetry and capillary condensation pore size distributions of portland cement paste // *Cement and Concrete Research.* – 1971. – Vol. 1 – P 531-546.
172. Copeland L.E., Kantro D.L. Hydration of Portland Cement // V International Symposium on the Chemistry of Cement. – 1968. – Vol. 1. – P 387-420.
173. Grudemo A. The microstructures of cement gel phases. – Goteborg, 1965. – 234 p.
174. Taylor H.F.W. Chemistry Of Cement Hydration // 8-Th Inter. Congr. On The Chem. Of Cement. – Rio-De-Janeiro. – 1986. – P 82-110.
175. Olson G.E. Der Einfluss der Temperatur auf Erhartung von Beton // *Betonstein – Zeitung.* – 1998. – Jg. 24. – № 3. – S. 89-96.
176. Tomosawa F. Development of a kinetic model for hydration of cement // *Proc. of the X International Congress on the Chemistry of Cement.* – Goteborg. – 1997 – Vol. 2. – P 43-50.
177. Ведь Е.І. Роль подвійного електричного шару при твердінні шлакопортландцементу // Будівельні матеріали та конструкції. – 1970. – № 1. – С. 24-26.
178. Саницкий М.А., Новосад П.В. Структурные превращения при гидратации алюминатов кальция // *Укр. хим. журнал.* – 1988. – Т 54. – № 2. – С. 118-121.
179. Басоло Ф., Пирсон Р. Механизм неорганических реакций. – М.: Мир, 1971. – 317 с.
180. Формирование и генезис микроструктуры цементного камня / Под ред. Л.Г. Шпыновой. – Львов: Вища школа. Изд-во при Львовском ун-те, 1975. – 160 с.

- 181 Быков В. И. Методы расчета параметров активации молекул / В. И. Быков, А. П. Свитин. – Новосибирск: Наука. 1988. – 210 с.
182. Stein H. N. Thermodynamic Consideration on the Hydration Mechanisms of Ca_2SiO_5 and $\text{Ca}_3\text{Al}_2\text{O}_6$ / H. N. Stein // *Cem. Concr. Res.* – 1992. – Vol. 2. – P. 167-177
183. Lee C. Y. Strength and microstructural characteristics of chemically activated fly ash-cement systems / C. Y. Lee, H. K. Lee, K. M. Lee // *Cement and Concrete Research.* – 2003. – Vol. 33. – No 3. – P. 425-431.
184. Krogbeumker L., Ludvig U. Die Hidrotationstufe Von Portland zementkonen//*Zement – Kalk – Gips.* – 2002. – № 9. – S. 182-189.
185. Middendorf B. Nanoscience And Nanotechnology In Cementitious Materials / B. Middendorf, N. B. Singh // *Cement International.* – 2006. – № 4 – P. 80-86.
186. Mechanical Properties Of Modified Reactive Powder Concrete / S. Collepardi, L. Coppola, R. Troli, M. Collepardi // *The Proc. Of The Fifth Conf. On Superplasticizers And Other Chemical Admixtures In Concrete: ACI Publication Sp-173.* – Roma, Italy, 1997. – P. 1-21
- 187 Хейфец Л. И. Многофазные процессы в пористых средах / Л. И. Хейфец, А. В. Неймарк – М.. Химия. 1982. – 319 с.
188. Meguid S. A. Engineering fracture mechanics / Meguid S. A. – London and New York: Elsevier applied science. 1989. – 397 p.
189. Шмидт В.А., Шило С.И. Сохранение подвижности бетонной смеси при транспортировке в жаркое время года//*Сейсмостойкое строительство и строительные материалы.* – Ашхабад. – 1987 – С. 29-41.
190. Яковлев И. И. Клатратообразование и физико-химический анализ экстракционных систем / И. И. Яковлев, А. В. Николаев – Новосибирск: Наука, 1995. – 190 с.
191. Адамсон А. Физическая химия поверхностей / Адамсон А. – М: Мир. 1999. – 568 с.
192. Collepardi, M. The New Concrete / M. Collepardi. – Milan. – Published By Grafishe Tintoretto. – 2006. – 421 p.
193. Лойцянский Л. Г. Механика жидкости и газа / Лойцянский Л.Г. – М.. Наука. 1990. – 904 с.
194. Пассор Х. Физические основы повышения долговечности конструкций//*Изв. АСИА СССР* – 1992. – № 2. – С. 47-62
195. Семенов И.Н., Богданов Р.В. Энергия и химический процесс. – Л.. Химия. 1973. – 112 с.
196. Singh B.G. Specific surface of aggregates related to compressive and flexural of concrete // *J.A.C.I.* – 2008. – Vol. 29. – № 10. – P. 897-907
- 197 Прочность материалов и конструкций / редкол.: В. Т. Трошенко (отв. ред.) и др. – К.. Академ-периодика. 2005. – 1088 с.
198. Духин С. С. Электропроводность и электрокинетические свойства дисперсных систем / Духин С. С. – К.. Наукова думка. 1995. – 246 с.
199. Гоноровский И. С. Радиотехнические цепи и сигналы / Гоноровский И. С. – М.. Металлургия. 1997 – 290 с.
200. Виноградов, Г. В. Реология полимеров / Г.В. Виноградов. – М.. Химия, 1977 – 440 с.
201. Рейнер М. Деформация, течение. Введение в реологию / Рейнер М. – М.. Госстройтехиздат, 1975. – 219 с.
202. Sawaide M., Iketani J. Rheological Analysis of the Behavior of Bleed Water from Freshly Cast Mortar and Concrete // *ACI Materials Journal.* – 2002. – Vol. 89. – No. 4. – P. 323-328.
203. Hanehara, S. Rheology and early age properties of cement systems / Shunsuke Hanehara, Kazuo Yamada // *Cement and Concrete Research.* – 2008. – Vol. 38. – Iss. 2. – P. 175-195.
204. Афанасьев А. А. Возведение зданий и сооружений из монолитного железобетона / Афанасьев А. А. – М.. Стройиздат. 1990. – 217 с.
205. Урьев Н. Б. Физико-химические основы технологии дисперсных систем и материалов / Урьев Н. Б. – М.. Химия. 1988. – 256 с.
206. Физико-химическая механика тампонажных растворов / [Круглицкий Н. Н., Вагнер Г. Р., Гранковский И. Г., Детков В. П.]. – Киев: Наукова думка. 1984. – 287 с.
- 207 Лотов В. А. Нанодисперсные системы в технологии строительных материалов и изделий / В. А. Лотов // *Строительные материалы* – Наука. – 2006. – № 8. – С. 5-7.
208. Flatt R. J. The rheology of cementitious materials / R. J. Flatt, N. S. Martys, L. Bergström // *MRS Bulletin.* – 2004. – Vol. 29, No 5. – P. 314-318.
209. Регулирование свойств пластичности и прочности бетонов / М. Е. Юдович, А. Н. Пономарев, П. В. Великоруссов, С. В. Емелин // *Строительные материалы.* – 2007. – № 1. – С. 56-57.

210. Рациональные области применения модифицированных бетонов в современном строительстве / В. В. Бабков, Р. Р. Сахибгареев, Г. С. Колесник [и др.] // Строительные материалы. – 2006. – № 10. – С. 20-22.
211. Use of superplasticizers in the production of HVFA concrete containing clean-coal ash and class F fly ash / T. R. Naik, R. N. Kraus, R. Siddique, F. Botha // the Seventh CANMET/ACI International Conf. on Superplasticizers and Other Chemical Admixtures in Concrete, 2003: Proc. – Berlin (Germany), 2003. – P. 1-31.
212. Высокоэффективные разжижители на основе модифицированных лиг- носульфатов / В. И. Соломатов, К. П. Пицхилаури, В. Д. Черкасов [и др.]. // Изв. ВУЗов. «Строительство». – 2000. – № 2-3. – С. 17-21.
213. Поверхностно-активные вещества и полимеры в водных растворах / К. Холмберг, Б. Йенссон, Б. Кронберг, Б. Линдман; пер. с англ. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2007. – 528 с.
214. Изотов В. С. Химические добавки для модификации бетона / В. С. Изотов, Ю. А. Соколова. – М.: Палеотип, 2006. – 244 с.
215. Баженов Ю. М. Модифицированные высококачественные бетоны: [науч. изд-е] / Баженов Ю. М., В. С. Демьянова, В. И. Калашников. – М.: Изд-во АСВ, 2006. – 368 с.
216. Поверхностные пленки воды в дисперсных структурах / Под ред. Е. Д. Щукина. – М.: Изд-во МГУ, 1988. – 279 с.
217. Шмигальский В. Н. Роль фактора времени при формировании бетонных смесей / Шмигальский В. Н., Ананенко А. А., Журавлева И. А. – Новосибирск: НИИЖТ, 1987. – 35 с.
218. Руденко, Д.В. Важкі бетони для відновлення несучої здатності міських транспортних споруд / Д.В. Руденко // Збірник наукових праць Харківської національної академії міського господарства. – 2009. - № 8. – С. 56-62.
219. Стефанов Б. В. Технология бетонных и железобетонных изделий / Стефанов Б.В. – Киев: Будівельник, 1992. – 196 с.
220. Затворницкая Т. А. Литые бетоны в гидроэнергетическом строительстве / Затворницкая Т. А., Коняева С. А., Миколович Б. Ф. – М.: Энергия, 1994. – 187 с.
221. Физические методы исследования материалов / Шубин А. А., Высоцкий Ю. Б., Погребняк В. Г., Горбань О. А. – Донецк: ДонГУЭТ, 2004. – 240 с.
222. Горайнов К. Э. Теоретические и технологические основы получения высокопрочного цементного и силикатного камня / К. Э. Горайнов, А. Н. Счастныи // Строительные материалы. – 1976. – № 4. – С. 12-14.
223. Бутт Ю. М. Вяжущие вещества с активными добавками / Ю. М. Бутт, Т. М. Беркович – М.: Стройиздат, 1973. – 134 с.
224. Rapid estimation of chloride diffusion coefficient in concrete / R. K. Dhir, M. R. Jones, H. E. H. Ahmed, A. G. M. Seneviratne // Mag. Concr. Res. – 1990. – Vol. 42. – No. 152. – P. 177-185.
225. Перас А. Я. О влиянии малой пористости на прочность хрупких керамических материалов / А. Я. Перас, В. И. Даукнис // Проблемы прочности. – 1991. – № 8. – С. 38-43.
226. Powers T. C. The physical structure of Cement and Concrete / T. C. Powers // TSJ-ACI. – 1957. – Vol. 17. – № 5-6. – С. 189-202.
227. Bogue R. H. Diskussionsbeitrag / R. H. Bogue // Beim 3 Simp. Chem. Cem. – 1958. – P. 76-81.
228. Мощанский И. А. Плотность и стойкость бетонов / Мощанский И. А. – М.: Госстройиздат, 1959. – 186 с.
229. Полак А. Ф. Возникновение фазы гидрата / А. Ф. Полак, В. М. Кравцов, Ю. Г. Нуриев // Твердение цемента. – Уфа: НИИПромстрой, 1984. – С. 11-18.
230. Танигава Я. Механизм развития трещин и разрушения бетона как композиционного материала / Я. Танигава, Е. Хосака; пер. с англ. – 1987. – 90 с. (ВЦП № 89/70795).
231. Edwards R.H. Stress Concentrations Around Spheroidal Inclusions and Cavities / R.H. Edwards // J. Appl. Mech. – 1981. – V. 73. – N 3. – P. 19-30.
232. Рояк С. М. Специальные цементы / С. М. Рояк, Г. С. Рояк – [2-е изд., перераб. и доп.] – М.: Стройиздат, 1983. – 279 с.
233. Powers T. C. Structure and Physical Properties of Hardened Portland Cement Paste / T. C. Powers // J. Amer. Ceram. Soc. – 1958. – Vol. 41. – P. 1-6.
234. Popovics S. Fracture Mechanism in Concrete: How Much Do We Know? / S. Popovics // J. Eng. Mech. Div. Proc. Amer. Soc. Eng. – 1989. – V. 95. – N3. – P. 531-544.
235. Microcracking of Plain Concrete and the Shape of the Stress Strain Curve / T.T.C. Hsu, F.O. Slate, G. Sturman, G. Winter // J. Amer. Conc. Inst. – 1983. – N2. – Proc. 60. – P. 209-224.

236. Хуторцов Г. М. Новый способ получения высокоплотных бетонов / Г. М. Хуторцов // Бетон и железобетон. – 1991. – № 4. – С. 18-20.
237. Бовин Г. П. Возведение водонепроницаемых сооружений из бетона и железобетона / Бовин Г. П. – М.: Стройиздат, 1989. – 182 с.
238. Михайлов К. В. Сборный железобетон: история и перспективы / К. В. Михайлов, Ю. С. Волков // Бетон и железобетон. – 2007. – № 6. – С. 8-12.
239. Выгодский С. А. К вопросу об уходе за бетоном, укладываемым в облицовку каналов / Выгодский С. А. // Гидротехническое строительство. – 1987. – № 5. – С. 12-19.
240. Вербецкий Г. П. Водонепроницаемость бетонов сухого хранения / Г. П. Вербецкий // Гидротехническое строительство. – 1973. – № 3. – С. 18-20.
241. Руденко, Д. В. Фізико-хімічні закономірності зчеплення між модифікованим бетоном і ковзною опалубкою при зведенні споруд спеціального призначення / Д. В. Руденко // Матеріали II Міжнародної науково-технічної конференції "Ефективні технології в будівництві" – Київ. – 2017. – С. 170-171.
242. Пунагин В. Н. О водопотерях бетонных элементов в жаркий период года / В. Н. Пунагин, А. В. Булкина // Тр. ТИИИМСХ. – Ташкент. – 1995. – Вып. 72. – С. 39-52.
243. Пунагин В. Н. Влияние масштабного фактора на свойства бетона в условиях сухого жаркого климата / В. Н. Пунагин // Строительство и архитектура Узбекистана. – 1997. – № 9. – С. 8-9.
244. Olson G.E. Der Einfluss der Temperatur auf Erhaltung von Beton / G.E. Olson // Betonstein – Zeitung. – 1998. – Jg. 24. – № 3. – S. 89-96.
245. Krogbeumker L. Die Hidrotationstufe Von Portland zementkonen / L. Krogbeumker, U. Ludvig // Zement – Kalk – Gips. – 1992. – № 9. – S. 182-189.
246. Klieger P. Effect of mixing and curing temperature on concrete strength / P. Klieger // JACI. – 1998. – Vol. 29. – № 12. – P. 1063-1078.
247. Лыков А. В. Теория теплопроводности / Лыков А. В. – М.: Высшая школа, 1967. – 599 с.
248. Александровский С. В. К вопросу о прогнозировании предельных величин усадки бетона. / С. В. Александровский и др. // М.: Бетон и железобетон. – 1971. – № 11. – С. 29-30.
249. Александровский, С. В. Учет температурно-влажностных воздействий при расчете бетонных и железобетонных конструкций / С. В. Александровский // Расчет и конструирование элементов железобетонных конструкций. – М.: Стройиздат, 1974. – С. 116-128.
250. Александровский, С. В. Расчет бетонных и железобетонных конструкций на изменения температуры и влажности с учетом ползучести / С. В. Александровский. – М.: Стройиздат, 1973. – 187 с.
251. Дворкин Л. И. Основы бетоноведения / Л. И. Дворкин, О. Л. Дворкин. – С-Петербург: ООО «Строй Бетон», 2006. – 692 с.
252. Бутт Ю. М. Твердение вяжущих при повышенных температурах / Ю. М. Бутт, Л. Н. Рашкович. – М.: Стройиздат, 1981. – 180 с.
253. Прочность, структурные изменения и деформации бетона / Под ред. А. А. Гвоздева // НИИЖБ Госстроя СССР – М.: Стройиздат, 1987. – 299 с.
254. Заседателев Н. Б. Тепло- и массообмен в бетоне специальных промышленных сооружений / Н. Б. Заседателев, В. Г. Петров-Денисов. – М.: Стройиздат, 1973. – 168 с.
255. Худовердян В. М. Вторичное твердение летнего бетона при его обводнении / В. М. Худовердян // Изв. АН АрмССР Серия техн. наук. – 1977. – Т. 10. – № 2. – С. 27-29.
256. Рислинг М. Я. Влияние условия жаркого и сухого климата на некоторые свойства быстротвердеющего бетона / М. Я. Рислинг // Тр. САНИИРИ. – Ташкент. – 1980. – Вып. 103. – С. 42-48.
257. Шмидт В. А. Сохранение подвижности бетонной смеси при транспортировке в жаркое время года / В. А. Шмидт, С. И. Шило // Сейсмостойкое строительство и строительные материалы. – Ашхабад. – 1987. – С. 29-41.
258. Руденко, Д. В. Бетони спеціального призначення для відновлення транспортних споруд / Д. В. Руденко // Композиційні матеріали для будівництва. – Вісник Донбаської державної академії будівництва і архітектури. – 2009. – № 1(78). – С. 112-118.
259. Пшінько, О. М. Вибір матеріалів для ремонту та відновлення бетонних та залізобетонних конструкцій транспортних споруд з урахуванням критерію сумісності монографія / О. М. Пшінько, А. В. Краснюк, О. В. Громова. – Д. Дніпропетр. нац. ун-т заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. 2015. – 195 с.
260. Шестоперов С. В. Долговечность бетонов транспортных сооружений / Шестоперов С. В. – М.: Транспорт, 1986. – 278 с.

261. Стефанов Б. В. Технология бетонных и железобетонных изделий / Стефанов Б.В. – Киев: Будівельник. 1992. – 196 с.
262. Скрамтаев Б. Г. Способы определения состава бетона различных видов / Скрамтаев Б. Г. – М.: Стройиздат. 1986. – 202 с.
263. Сторк Ю. Теория состава бетонной смеси / Сторк Ю. – Л.: Стройиздат. 1982. – 229 с.
264. Лукьянов В. С. Влияние тепловых воздействий на трещиностойкость массивных бетонных конструкций в условиях климата Средней Азии / В. С. Лукьянов, И. И. Денисов // Бетон и железобетон. – 1991. – № 8. – С. 22-24.
265. Пунагин В. Н. Некоторые свойства бетонной смеси в летний период / В. Н. Пунагин // Реферат. сб. Межотраслевые вопросы строительства // Отечественный опыт. – 1990. – № 6. – С. 29-36.
266. Nevill A. M. Wlasciwosci betonu / Nevill A. M. [wydanie 4]. – Krakow, 2000. – 874 s.
267. Акопян А. А. Химическая термодинамика / А. А. Акопян – М.: Высшая школа. 1983. – 416 с.
268. Пшинько А.Н. Длительная прочность бетона в условиях повышенных температур // Ресурсосберегающие технологии бетонов в транспортном и гидротехническом строительстве. – Вып.3. – Днепропетровск: ДИИТ – 1997. – С. 11-13.
269. Запорожец И. Д. Тепловыделение бетона / И. Д. Запорожец, С. Д. Окорочков, А. Л. Парийский. – Л.: Стройиздат. 1986. – 220 с.
270. Гансен Т. Ползучесть и релаксация напряжений в бетоне / Гансен Т. – М.: Стройиздат. 1983. – 169 с.
271. Нильссен Л. Дж. Ударное нагружение бетонных конструкций / Нильссен Л. Дж., [пер. с англ.] – М., 1989. – 171 с. (ВЦП. №80/18237).
272. Зайцев Ю. В. Развитие трещин в цементном камне и бетоне при кратковременном и длительном сжатии / Ю. В. Зайцев // Бетон и железобетон. – 1992. – № 11. – С. 8-9.
273. Мухитдинов А. М. О прочности бетона в условиях сухого жаркого климата / А. М. Мухитдинов, В. Н. Пунагин, Ш. А. Хакимов // Тр. ТашЗНИИЭП. «Гражданское строительство и архитектура в IV строительско-климатической зоне». – Ташкент. – 1996. – Вып. VII. – С. 32-38.
274. Дмитриев А. С. Образование трещин в сооружениях, эксплуатируемых в жарком сухом климате / А. С. Дмитриев, В. А. Гренроз // Бетон и железобетон. – 1991. – № 8. – С. 10-12.
275. Вербецкий Г. П. Прочность и долговечность бетона в водной среде / Вербецкий Г. П. – М.: Стройиздат. 1986. – 127 с.
276. Пунагин В. Н. Исследование динамического модуля упругости бетона в условиях сухого жаркого климата / В. Н. Пунагин // Гидротехника и мелиорация в условиях Узбекистана. – 1993. – Вып. 55. – С. 18-26.
277. Берг О. Я. Исследование неупругих деформаций и структурных изменений высокопрочного бетона при длительном действии сжимающих напряжений / О. Я. Берг, А. И. Рожков // Труды ЦИИИС. – М.: Транспорт. 1969. – Вып. 70. – С. 78-81.
278. Sontige C. D. Fracture Mechanism of Concrete Under Compressive Loads / C. D. Sontige, H. Hilsdorf // Cem. and Concr. Res. – 1993. – V.3. – N4. – P. 363-388.
279. Кривенко П.В., Пушкарева Е.К. Долговечность шлакощелочного бетона. – К.: Будівельник, 1993. – 224 с.
280. Никифоровский В. С. Динамическое разрушение твердых тел / В. С. Никифоровский, Е. И. Шемякин. – Новосибирск: Наука, 1979. – 271 с.
281. Такеда Дж. Бетон и удар – характеристики испытания бетона, подвергающегося удару / Такеда Дж., Тачикава Х., Фуэдзимото К., Кудо Т., [пер. с япон.] – М.: 1989. – 36 с. (ВЦП № 89/70795).
282. Горяйнов К. Э. Теоретические и технологические основы получения высокопрочного цементного и силикатного камня / К. Э. Горяйнов, А. Н. Счастны // Строительные материалы. – 1986. – № 4. – С. 12-14.
283. Пискунов Ю. А. Механизм разрушения бетона при ударе / Ю. А. Пискунов // Изв. вузов. Строительство и архитектура. – 1989. – № 5. – С. 68-71
284. Баженов Ю. М. Получение бетонов заданных свойств / Ю. М. Баженов, Г. И. Горчаков. – М.: Стройиздат, 1988. – 187 с.
285. Коррозия бетона и железобетона, методы их защиты / В.М. Москвин, Ф.М. Иванов, С.Н. Алексеев, Е.А. Гузеев. – М.: Стройиздат, 1980. – 536 с.
286. Lea's Chemistry of Cement and Concrete, ed. by Peter C. Hewlett, 1998. – 1008 s.
287. Experimental study on the micro-aggregate effect in high-strength and super-high-strength cementitious composites / G. Pan, W. Sun, D. Ding, Y. Zhang // Cement and Concrete Research – 1998. – Vol. 28. – Issue 2. – P. 171-176.

288. Quasielastic neutron scattering study of the effect of water-to-cement ratio on the hydration kinetics of tricalcium silicate / R. Berliner, M. Popovici, K.W. Herwig, M. Berliner // *Cement and Concrete Research*. – 1998. – Vol. 28. – Issue 2. – P. 231-243.
289. Korpa A. Hydration Behaviour, Structure And Morphology Of Hydration Phases In Advances Cement-Based Systems Containing Micro And Nanoscale Pozzolan Additives / A. Korpa, T. Kowald, R. Trettin // *Cement And Concrete Research*. – 2008. -Vol. 38. – No 7 – P. 955-962.
290. Адамсон, А. Физическая химия поверхностей / А. Адамсон. – М: Мир, 1999 – 568 с.
291. Tan S.R., Howard A.J., Birchall J.D. Advanced Materials from Hydraulic cement // *Phil. Trans. Roy.Soc., London*. – 2007 – No 1567 – P. 479-489.
292. Зимон А.Д. Адгезия жидкости и смачивание. – М.. Химия, 1984. – 413 с.
293. Kreijger P.C. Inhomogeneity in concrete and its effect on degradation: a review of technology // *Proceedings International Conf. Protection of Concrete* – 1991. – P. 31-52.
294. Френкель Я.И. Кинетическая теория жидкостей. – Л.. Наука, 1976. – 592 с.
295. Баженов, Ю.М. Модифицированные высококачественные бетоны: [Науч. изд-е] / Ю.М. Баженов, В.С. Демьянова, В.И. Калашников. – М.. Изд-ВО АСВ, 2006. – 368 с.
296. Особенности структурообразования высокопрочного цементного камня в условиях длительного твердения / В. В. Бабков, Р. Р. Сахибгареев, А. Е. Чуйкин [и др.]. // *Строительные материалы*. – 2003. – № 10. – С. 42–43.
297. Каприелов С.С., Шейнфельд А.В., Кривобородов Ю.Р. Влияние структуры цементного камня с добавками микрокремнезема и суперпластификатора на свойства бетона/Бетон и железобетон. – М 1992. №7 – С. 4-6.
298. Пшинько А.Н., Руденко Н.Н. Проблемы ремонта инженерных транспортных сооружений//Залізничний транспорт України. – 2000. – № 3. – С. 12-14.
299. Hughes B.P., Gregory R. Concrete Subjected to High Rates of Loading in Compression//*Mag. Concr. Res.* – 1982. – V. 24. – N 78. – P. 25-36.
300. Mechanical Properties of Modified Reactive Powder Concrete/S. Collepardi, L. Coppola, R. Troli, M. Collepardi//the Fifth Conf. on Superplasticizers and Other Chemical Admixtures in Concrete: ACI Publication SP-173, 1997: Proc. – Roma (Italy), 1997 – P. 1-21
301. Пунагін, В.М. Проектування складів гідротехнічного бетону / Пунагін В. М., Пшінько О. М., Руденко Н. М. – Дніпропетровськ: Арт-Прес, 1998. – 192 с.
302. Челидзе Т.Л. Методы теории протекания в механике геоматериалов. – М.. Наука, 1987 – 136 с.
303. Study On Reactive Powder Concrete Used In The Sidewalk System Of The Qinghai-Tibet Railway Bridge / Ji Wen-Yu, An Ming-Zhe, Yangui-Ping, Wang Jun-Min // *The International Workshop On Sustainable Development And Concrete Technology*, 2004: Proc. – Beijing (Chine), 2004. – P. 333-338.
304. Бетони з високими експлуатаційними властивостями для підводного та надводного ремонту / Н.М. Руденко, А.М. Таран, В.О. Герасименко, І.І. Колесніченко//Автомобільні дороги та дорожнє будівництво. – Київ. – 2000. – Вип. 59. – С. 197-199.
305. Изотов, В. С. Химические добавки для модификации бетона / В. С. Изотов, Ю. А. Соколова. – М. Палеотип, 2006. – 244 с.
306. Plank, J. Impact Of Zeta Potential Of Early Cement Hydration Phases On Super-Plasticizer Adsorption // *Johann Plank, Christian Hirsch // Cement And Concrete Research*. – 2007 – Vol. 37. – No 4. – P. 537-542.
307. Пшинько, А. Н. Проблема восстановления искусственных транспортных сооружений / А. Н. Пшинько, Н. Н. Руденко // Сб. науч. тр. «Строительство, материаловедение, машиностроение». – Днепропетровск: GAUDEAMUS. – 2000. – Вып. 10. – С. 328-331.
308. Microcracking of Plain Concrete and the Shape of the Stress Strain Curve / T.T.C. Hsu, F.O. Slate, G. Sturman, G. Winter // *J. Amer. Conc. Inst.* – 2003. – N 2. – Proc. 60. – P. 209-224.
309. Хердтл, Р. Долговечность бетонов на основе многокомпонентных цементов / Р. Хердтл, М. Дитерманн, К. Шмидт // Цемент и его применение. – 2011 – № 1 – С. 76-80.
310. Collepardi, M. Innovative Concretes for Civil Engineering Structures: SCC, HPC and RPC / M. Collepardi // *Workshop on New Technologies and Materials in Civil Engineering*: Proc. – Milan (Italy), 2003. – P. 1-8.
311. Sontige, C. D. Fracture Mechanism of Concrete Under Compressive Loads / C. D. Sontige, H. Hilsdorf // *Cem. and Concr. Res.* – 2003. – V.3. – N4. – P. 363-388.
312. Руденко, Д. В. Відновлення експлуатаційних властивостей конструкцій транспортних споруд / Д. В. Руденко // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. акад. В.Лазаряна. – 2009. – Вип. 26. – С. 137-140.

313. Пирадов, К. А. Механика разрушения железобетона / К. А. Пирадов, Е. А. Гүзеев. – Москва: Новый век, 1998. – 190 с.
314. Hanehara S. Rheology and early age properties of cement systems / Shun-suke Hanehara, Kazuo Yamada // Cement and Concrete Research. – 2008. – Vol. 38, No 1. – P. 175-195.
315. Willis J. R. Elasticity Theory of Composites / J. R. Willis // Mechanics of Solids / Ed. H. G. Hopkins and M. J. Sewell: Pergamon Press. – 1982. – P. 653-686.
316. Берг, О. Я. Физические основы теории прочности бетона / О. Я. Берг – М.: Стройиздат, 1981 – 290 с.
317. Баженов, Ю. М. Модифицированные высококачественные бетоны: [науч. изд-е] / Баженов Ю. М., В. С. Демьянова, В. И. Калашников. – М.: Изд-во АСВ, 2006. – 368 с.
318. Пшінько, О. М. Визначення ступеня пошкоджень залізобетонних прогонових будов залізничних мостів / О. М. Пшінько, І. В. Сальнікова // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2012. – Вип. 41. – С. 170-174.
319. Hughes B.P., Gregory R. Concrete Subjected to High Rates of Loading in Compression // Mag. Concr. Res. – 1982. – V. 24. – N 78. – P. 25-36.
320. Прочность, структурные изменения и деформации бетона / Под ред. А. А. Гвоздева. – НИИЖБ Госстроя СССР – М.: Стройиздат, 1987 – 299 с.
321. Александровский С. В. Особенности усадки бетона без ухода / С. В. Александровский // Бетон и железобетон. – 1981. – № 6. – С. 8-12.
322. Александровский С. В. Эффективность термосной технологии тепловой обработки изделий / С. В. Александровский // Бетон и железобетон. – 1992. – № 3. – С. 15-16.
323. Улицкий И. И. Приближенный способ определения собственных напряжений в бетоне с учетом переменности его деформативных свойств / И. И. Улицкий // Гидротехническое строительство. – 1988. – № 8. – С. 23-27.
324. Москвин В. И. О расчете структурных напряжений в бетоне при усадке / В. И. Москвин, А. М. Подвальный, Ю. В. Осетинский // Проблемы ползучести и усадки бетона. – М.: Стройиздат. – 1984 – С. 37-41.
325. Баженов Ю. М. Бетон при динамическом нагружении / Баженов Ю. М. – М.: Стройиздат, 1980. – 169 с.
326. Саталкин А. В. Раннее нагружение бетона и железобетона в мостостроении / А. В. Саталкин, Б. А. Сенченко. – М.: Автотрансиздат, 1976. – 201 с.
327. Улицкий И. И. Определение величин деформаций ползучести и усадки бетонов / Улицкий И. И. – Киев: Госстройиздат УССР, 1963. – 132 с.
328. Горчаков Г. И. Коэффициенты температурного расширения и температурные деформации строительных материалов / Горчаков Г. И., Лифанов И. И., Терехин М. Н. – М.: Стройиздат, 1988. – 168 с.
329. Стольников В. В. Трещиностойкость бетона / В. В. Стольников, Р. Е. Литвинова – Л.: Энергия, 1982. – 88 с.
330. Иосилевский Л. И. Долговечность предварительно напряженных железобетонных балочных пролетных строений мостов / Иосилевский Л. И. – М.: Транспорт, 1987 – 288 с.
331. Заседателев Н. Б. Развитие трещин в цементном камне и бетоне при кратковременном и длительном сжатии / Н. Б. Заседателев, Е. И. Богачев // Бетон и железобетон. – 1982. – № 11. – С. 23-25.
332. Антипов А. С. Поля усадочных напряжений в балочных предварительно напряженных пролетных строениях мостов / А. С. Антипов // Труды МИИТ – М. – 1986. – Вып. 219. – С. 5-41.
333. Ганин В. П. Расчет нарастания прочности бетона при различных температурах выдерживания / В. П. Ганин // Бетон и железобетон. – 1994. – № 8. – С. 14-17.
334. Красильников Г. К. Физико-химическая природа влажностных деформаций цементного камня / Г. К. Красильников, Н. Н. Скоблинская // Ползучесть и усадка. – М.: НИИЖБ. – 1989. – С. 129-142.
335. Зазимко В. Г. Оптимизация свойств строительных материалов. – М.: Транспорт, 1981. – 103 с.
336. Гордон С. С. Структура и свойства тяжелых бетонов на различных заполнителях / Гордон С. С. – М.: Стройиздат, 1989. – 151 с.
337. Пшінько А. Н. Проблемы долговечности бетонов // Ресурсосберегающие технологии бетонов в транспортном и гидротехническом строительстве. – Вып. 3. – Днепропетровск: ДИИТ – 1997 – С. 17-18.
338. Долговечность железобетона в агрессивных средах / Алексеев С. Н., Иванов Ф. М., Модры С., Шисль П. – М.: Стройиздат, 1990. – 316 с.
339. Гагарин В. Г. Теория перемещения влаги в материале при капиллярном всасывании воды /

- В. Г. Гагарин // Долговечность и защита конструкций от коррозии: Материалы международной конференции 25-27 мая 1999 г. – М., 1999. – С. 166-176.
340. Власов О. Е. Физические основы повышения долговечности конструкций / О. Е. Власов // Изв. АСИА СССР – 1982. – № 2. – С. 47-62.
341. Грушко И. М. Структура и плотность дорожного цементного бетона / И. М. Грушко, М. Ф. Глушенко // Труды ХГУ – Харьков. – 1985. – Вып. 13. – С. 34-48.
342. Еременко В. В. К расчету допустимой скорости нагревания или охлаждения при тепловой обработке строительных изделий / В. В. Еременко // Тр. Западно-Сиб. филиала АСИА СССР – 1961 – Вып. 6. – С. 29-32.
343. Лермит Р. Изменения объема бетона / Р. Лермит // Тр. Четвертого международного конгресса по химии цемента. – М., Стройиздат, 1964. – С. 68-74.
344. Осидзе В. И. О коэффициенте пластичности бетонов / В. И. Осидзе // Тр. Тбил. НИСГЭИ им. А. В. Винтера. – 1964. – Т. 15. – С. 48-52.
345. Столяров Я. В. Введение в теорию железобетона / Столяров Я. В. – М., Госстройиздат, 1961. – 216 с.
346. Пунагин, В. Н. Технология бетона в условиях сухого жаркого климата / Пунагин В. Н. – Ташкент: ФАН, 1977 – 246 с.
347. Цилосани З. Н. Усадка и ползучесть бетона / Цилосани З. Н. – Тбилиси: Изд. АН ГрузССР, 1973. – 187 с.
348. Бабаев Ш. Т. Энергосберегающая технология железобетонных конструкций из высокопрочного бетона с химическими добавками / Ш. Т. Бабаев, А. А. Комар – М., Стройиздат, 1987 – 240 с.
349. Васильев В. М. Режим движения бетонной смеси по бетоноводу / В. М. Васильев // Строительная промышленность. – 1983. – № 7. – С. 42-44.
350. Чирков Ю. Б. Безвибрационные методы бетонирования монолитных конструкций и сооружений / Ю. Б. Чирков // Бетон и железобетон. – 1985. – № 12. – С. 9-10.
351. Перекачивание бетонных смесей. Технология товарной бетонной смеси / Юханссон А., Тутти К., Петерсон М. – М., Стройиздат, 1991. – 156 с.
352. Мэрдок Л. Д. Бетонные работы / Мэрдок Л. Д. – М., Стройиздат, 1976. – 208 с.
353. Руководство по производству бетонных работ. – М., Стройиздат, 1995. – 47 с.
354. Коротков С. Н. О формировании структуры бетона, укладываемого в условиях сухого жаркого климата / С. Н. Коротков, Р. И. Аронов // Строительство и архитектура Узбекистана. – 1990. – № 1. – С. 8-11.
355. Штоль Г. М. Строительство зданий и сооружений в условиях жаркого климата / Г. М. Штоль, Г. И. Евстратов – М., Стройиздат, 1984. – 198 с.
356. Бурба Р. П. Влияние климатических факторов на технологию производства бетонных работ в летних условиях Средней Азии / Р. П. Бурба, Н. В. Свечин // Материалы по производительным силам Узбекистана. – Ташкент. – 1977 – С. 112-119.
357. Пластифицирующие композиции для цементных систем различного назначения / И. А. Беспроскурный, Л. Д. Левенец, В. Н. Пунагин. – М., 1989. – 35 с. – Деп. в ВНИИЭСМ 04.05.89, № 1785 // Аннот. в ред. сб. ВНИИЭСМ.
358. Henk B. Betrachtung uber Gefuhnespannungen im Beton / B. Henk // Zement – Kalk – Gips. – 1976. – №3. – S. 76-79.
359. Mechanical Properties of Modified Reactive Powder Concrete/S. Collepardi, L. Coppola, R. Troli, M. Collepardi//the Fifth Conf. on Superplasticizers and Other Chemical Admixtures in Concrete: ACI Publication SP-173, 1997. Proc. – Roma (Italy), 1997. – P. 1-21.
360. Hughes B.P. Gregory R. Concrete Subjected to High Rates of Loading in Compression//Mag. Concr. Res. – 1982. – V. 24 – N 78. – P. 25-36.
361. Holland T.C. High-Performance Concrete: As High as It Gets/T.C. Holland // The Concrete Producer. – 1998. – Vol. 16, No 7, July. – P. 501-505.
362. Руденко, Д.В. Фізико-хімічні закономірності зчеплення між модифікованим бетоном і ковзною опалубкою при зведенні споруд спеціального призначення / Д.В. Руденко // Матеріали II Міжнародної науково-технічної конференції “Ефективні технології в будівництві” – Київ. – 2017. – С. 170-171.
363. Анпилов С. М. Опалубочные системы для монолитного строительства / Анпилов С. М. – М., АСВ, 2005. – 280 с.
364. Хаяутин, Ю. Г. Монолитный бетон: технология производства работ / Ю. Г. Хаяутин. – М., Стройиздат, 1991 – 576 с.

365. Hanehara, S. Rheology and early age properties of cement systems / Shunsuke Hanehara, Kazuo Yamada // *Cement and Concrete Research*. – 2008. – Vol. 38. – No 1. – P. 175-195.
366. Collepardi, M. The New Concrete / Collepardi M. – Published by Grafishe Tintoretto. – 2006. – 421 p.
367. Malhotra, V. M. High-Performance, High-Volume Fly Ash Concrete. Supplementary Cementing Materials for Sustainable Development / V. M. Malhotra, P. K. Mehta. – Inc. – Ottawa, 2002. – 101 p.
368. Пшинько, А. Н. Подводное бетонирование и ремонт искусственных сооружений / А. Н. Пшинько. – Днепропетровськ: Пороги, 2000. – 412 с.
369. Баженов Ю. М. Модифицированные высококачественные бетоны: [науч. изд-е] / Баженов Ю. М., В. С. Демьянова, В. И. Калашников. – М.: Изд-во АСВ, 2006. – 368 с.
370. Механика композитных материалов и элементов конструкций: В 3-х томах / под ред. А. Н. Гузя. – Киев: Наукова думка, 1982. Т. 1. – 386 с.
371. Gjorv, O.E. High Strength Concrete. *Advanced in Concrete Technology*. – Canada. – 2007 – P. 21-79
372. Willis J. R. Elasticity Theory of Composites / J. R. Willis // *Mechanics of Solids* / Ed. H. G. Hopkins and M. J. Sewell: Pergamon Press. – 2002. – P. 653-686.
373. Дерягин Б. В. Адгезия твердых тел / Б. В. Дерягин, Н. А. Кротова – М.: Изд. Акад. наук СССР, 1979. – 245 с.
374. Воюцкий С. С. Коллоидная химия / Воюцкий С. С. – Л.: Химия, 1975. – 513 с.
375. Бетонная смесь как биохимическая система / Пшинько А. Н., Савин Л. С., Подгорная Е. О., Савин Ю. Л., Лисняк В. П. // Ресурсосберегающие технологии бетонов в транспортном и гидротехническом строительстве. – Вып. 5. – Днепропетровск: ДИИТ – 1998. – С. 20-23.
376. Plank, J. Impact of zeta potential of early cement hydration phases on super-plasticizer adsorption // Johann Plank, Christian Hirsch // *Cement and Concrete Research*. – 2007. – Vol. 37. – No 4. – P. 537-542
377. Теличенко В. И. Технология возведения зданий и сооружений / Теличенко В. И., Терентьев О. М., Лapidус А. А. – М.: Стройиздат, 2004. – 446 с.
378. Электрокинетические явления при твердении и коррозии цементного камня / Вель Е. И., Жаров Е. Ф., Попов В. В., Голодникова А. Н. // *Строительные материалы, детали и изделия*. – К.: Будівельник, 1975. – Вып. 19. – С. 125-130.
379. Соломатов В. И. Ресурсосберегающая технология бетона / Соломатов В. И., Тахиров М. К., Ханин В. К. – Ташкент: Мехнат, 1990. – 239 с.
380. Александровский С. В. Расчет бетонных и железобетонных конструкций на изменение температуры и влажности с учетом ползучести / Александровский С. В. – М.: Стройиздат, 1993. – 432 с.
381. Венюа Г. Цементы и бетоны в строительстве / Венюа Г. – М.: Стройиздат, 1980. – 415 с.
382. Zollo R. F. Fiber-reinforced Concrete: an Overview after 30 year of Development / R. F. Zollo // *Cem. Concr. Com.* – Vol. 19 – 1997 – S. 107-122.
383. Мухитдинов А. М. О прочности бетона в условиях сухого жаркого климата / А. М. Мухитдинов, В. Н. Пунагин, Ш. А. Хакимов // Тр. ТашЗНИИЭП. «Гражданское строительство и архитектура в IV строительско-климатической зоне». – Ташкент – 1996. – Вып. VII. – С. 32-38.

Наукове видання

Руденко Дмитро Вікторович
Фізико-хімічні основи технології
модифікованого бетону
для споруд спеціального призначення

монографія

Оригінал-макет автора

Формат 64х90/16. Папір офсетний. Гарнітура School Book
Друк цифровий. Ум. друк. арк. 21,7 Тираж 100 прим. Замовлення № 025/18

Видавництво «Герда» 49000, м. Дніпро, пр. Д. Яворницького, 60
Свідчення суб'єкта видавничої справи ДК №397 від 03.04.2001 р.

ISBN 978-617-7097-95-1

