

но армованих залізобетонних елементів прямокутного профілю з одиночним армуванням при згині з крученням на основі деформаційної моделі. Міжвідомчий науково-технічний збірник "Будівельні конструкції", випуск 78, книга 1. — К.: ДП НДІБК — 2013. — 7 с.

12. Бамбура А.Н., Гурковский А.Б. К построению деформационной теории железобетона стержневых систем на экспериментальной основе / Збірник наукових праць. — К.: НДІБК, 2003. — Випуск 59. — Книга 1. — С. 121-130.

АННОТАЦИЯ

Предложен скорректированный метод расчета прочности пространственных сечений обычно армированных железобетонных элементов прямоугольного профиля с одиночным армированием при совместном действии крутящего и изгибающего моментов на основе нелинейной деформационной модели расчета. Учитывая присутствие крутящего момента обоснована необходимость устройства закрытых хомутов поперечной арматуры.

Ключевые слова: изгиб с кручением, прямоугольное сечение, одиночное армирование, деформационная модель.

ANNOTATION

The adjusted method of calculation of durability of spatial cuts of the usually reinforced reinforce-concrete elements of rectangular profile is offered with single re-enforcement at the difficult types of deformation on the basis of nonlinear deformation model of calculation. Given the presence of torque argued the need for placement closed clamps transverse reinforcement.

Keywords: bend with twisting, rectangular profile, single re-enforcement, deformation model

УДК 666.972+544.77

Беліченко О.А., к.т.н., с.н.с., ХНА-ДУ, м Харків

ВЛИВ АКТИВАЦІЇ НА ПРОЦЕСИ СТРУКТУРОУТВОРЕННЯ ЦЕМЕНТНИХ СИСТЕМ

АННОТАЦИЯ

У статті розглянуто активаційні способи впливу на рівні структури цементних бетонів. Виділено і згруповано різні види впливу. Встановлено об'єкти активації і показано, що всі активаційні дії впливають на процеси структуроутворення бетонів. Встановлено, що застосування мінеральних добавок сприяє ущільненню мікро- і мезо- рівнів структури за рахунок зниження пористості. Наводяться дослідження по визначенню впливу хімічних і мінеральних добавок різної природи і дисперсності на процеси структуроутворення цементного тіста.

Ключові слова: активація, структура, мікронаповнювач, дисперсність, структуроутворення, міцність, цементне тісто, цементний камінь.

Актуальність. Все більшого значення в технології сучасних високофункціональних бетонів набуває вдосконалення властивостей бетонних сумішей і бетонів шляхом застосування хімічних і мінеральних добавок. Грамотне застосування комплексних добавок дозволяє вирішити будь-які проблеми, пов'язані з отриманням бетонів із заданими властивостями. Застосування високодисперсних мінеральних наповнювачів в технології цементних бетонів обумовлює підвищення їх фізико-механічних показників, а також забезпечує зменшення витрат дорогого в'язучого. Для забезпечення високої ефективності дії мікронаповнювачів важливі не тільки їх властивості, а і їх кількість, що вводиться та дисперсність. Кількість мінеральних добавок, що вводяться, становить від частки відсотка до декількох десятків відсотків від маси в'язучої речовини [1]. Отримати на практиці високоякісний багатокомпонентний цементний камінь, на основі якого створюються спеціальні високофункціональні бетони, можна шляхом спрямованого структуроутворення. Для спрямованого структуроутворення застосовують різні види активаційних впливів, наприклад, хімічні, фізичні, фізико-хімічні та механічні. Об'єктами

активації можуть бути: для фізичної активації-вода зачинення, цементне тісто; для фізико-хімічної та хімічної вода-зачинення, цементне тісто; для механічної активації - цементне тісто, розчинна і бетонна суміш; для структурної активації - цементне тісто, розчинна і бетонна суміш. Всі дії впливають на характер структуроутворення бетонів.

Останні дослідження. Окремо можна виділити структурну активацію за допомогою тонкоподрібнених макро- і нанонаповнювачів. В першу чергу, вона впливає на мікро- і мезорівень. На сьогодні відсутній повний механізм цього виду активації. Відомо, що застосування мінеральних добавок сприяє ущільненню цих рівнів структури за рахунок зниження пористості [2, 3]. За нашими даними, наповнювачі нанорівня являють собою центри кристалізації та сприяють прискоренню процесів кристалізації, особливо на початковому етапі твердіння, що підтверджують дані про високу ранню міцність бетонів з наномодифікаторами [4].

Ефективність кожного окремого розробленого методу впливу доведена численними дослідженнями і підтверджена на практиці. Однак, кінцева мета активації отримання бетонів з наперед заданими властивостями шляхом спрямованого структуроутворення досягнута не була. Практично відсутні дослідження, в яких були б показані порівняльні дані, що дозволяють судити про ефективність комплексу методів активації, що включає, наприклад, всі види впливів або всі способи активації. Відсутні дані також про результати комплексу одночасних впливів декількох варіантів активації.

Для отримання матеріалів із заданими високими властивостями О.П. Мчедлов-Петросян запропонував "принцип відповідності" або "принцип когерентності" [5], який говорить про те, що активацію необхідно прикладати в потрібний час для певного рівня структури з впливом необхідної величини. В основі принципу лежать фундаментальні закони фізико-хімічної механіки, фізичної хімії та її розділу колоїдної хімії. Практичним додатком принципу є принцип оптимальної дисперсності, що дозволяє зменшити неоднорідність матеріалу і підвищити його міцність. Теорія створення і розвитку дисперсних структур добре описана в роботах П.О. Ребіндера та його учнів [6]. В першу чергу це стосується цементу і далі мікроструктури цементного бетону, тобто цементного тіста, що твердіє або вже затверділо.

Розвиток цих положень для цементного бетону знайшов відображення в дослідженнях відомих

учених, в тому числі: І.М. Ахвердова, Ю.М. Баженова, В.Г. Батракова, Л.І. Дворкіна, В.М. Москвіна, А.М. Пługіна, Р.Ф. Рунової, О.Е. Шейкіна, Л.Г. Шпинової, О.В. Ушєрова-Маршака та їх послідовників. Однак, в цих роботах були розглянуті окремі види активаційних впливів, що стосуються в першу чергу мезо- і макроструктури бетону. Теорія спрямованого структуроутворення на рівні мікроструктури і частково субмікроструктури отримала розвиток в дослідженнях школи А.М. Пługіна [7]. У них показано, що характер мікроструктури бетону, що формується, визначає його властивості.

Розглядаючи питання більш широко, можна відзначити, що всі рівні структури бетону підпорядковані один одному, тобто грубіші і менш однорідні структурні рівні підпорядковані більш дисперсним і впорядкованим. В цьому випадку для формування структури бетону в цілому необхідно застосувати "принцип відповідності" на кожному рівні структури починаючи з субмікрорівня. Якщо в кожному випадку вибрати відповідний вид активації, визначивши при цьому, чи не має він негативного впливу на наступний структурний рівень, то можна створити бетон, що відрізняється високою довговічністю і має заздалегідь задані властивості.

Застосування хімічних і мінеральних добавок, які вводяться в бетонну суміш через рідку фазу, також відноситься до активаційних прийомів. Ефект дії добавок багато в чому визначається їх складом, а також видом в'язучого. Слід зазначити, що бетони, які містять в своєму складі мікронаповнювачі, більш ефективні в порівнянні з бетонами без них. Найбільш ефективним є застосування мікронаповнювачів в сучасних високофункціональних бетонах.

В роботі [8] доведено, що застосування мінеральних добавок дисперсністю, що перевищує дисперсність цементу, впливає на мікроструктуру бетону (ущільнюючи її і заповнюючи порожнечі між зернами частинок цементу). Дослідженнями В.Г. Зазимко і О.Г. Ольгінського показано [9, 10], що застосування мінеральних добавок, дисперсність яких порівнянна з дисперсністю цементу, впливає на мікро- і мезоструктуру бетону.

Явища "ефект мікронаповнювача" автори роботи [11] пояснюють сильним впливом мікронаповнювача на диференціальну пористість цементного каменю, що твердіє, тобто зміцнення реалізується через структурно-механічні фактори. Ефект зміцнення знижується зі зниженням дисперсності

наповнювача і повністю зникає з виходом на дисперсність дрібного заповнювача.

Мета досліджень. Метою досліджень було визначення впливу виду та дисперсності мікронаповнювача на процеси структуроутворення цементного тіста.

Виклад основного матеріалу. У дослідженнях використовували мікронаповнювачі різної природи і дисперсності - мікрокварц (мелений кварцовий пісок) і крейду. Мікронаповнювачі отримували шляхом подрібнення природної сировини в кульовому млині до питомої поверхні 300 м²/кг, 600 м²/кг, 1000 м²/кг. Цемент ПЦ І 500Н Івано-Франківського цементного заводу. В якості добавки суперпластифікатора використовували добавку Sika 20 Gold Швейцарської фірми Sika. Дисперсність мікронаповнювачів оцінювали за допомогою приладу поверхнеміру типу ПСХ-10. Отримані мікронаповнювачі різної дисперсності додавали в цементне тісто і визначали його пластичну міцність за допомогою важільного конічного пластометра. Міцність цементного каменю визначали за стандартною методикою у відповідності з діючими нормативними документами.

Проводили дослідження по визначенню впливу суперпластифікатора і мікронаповнювачів різної природи і дисперсності на нормальну густину та терміни схоплювання цементного тіста (табл. 1). Експерименти показали, що при введенні тільки добавки Sika 20 Gold у кількості 0,05 % від тц початок схоплювання цементу подовжується незначно (на 25 хвилин), але кінець схоплювання скорочується при цьому на 1 годину 20 хвилин. Аналогічні дані отримані при дослідженні пластичної міцності цементного тіста (рис. 1, а). Прискорений набір пластичної міцності (що свідчить про поча-

ток структуроутворення в цементному тісті) для цементу без добавок починається через 3 години 30 хвилин, а в тісті з добавкою Sika 20 Gold 0,05 % від тц через 2 години 30 хвилин. Початок схоплювання тіста з великою кількістю добавки Sika 20 Gold, 0,4 % від тц подовжується на 1 годину (табл. 1). При цьому кінець схоплювання не змінюється.

Пластична міцність цього тіста починає істотно зростати через 4 години (рис. 1, а), що узгоджується з даними термінів схоплювання. Ймовірно, мала кількість добавки Sika 20 Gold (0,05 %) прискорює процеси схоплювання, а підвищена (1,5 %) впливає на процеси твердіння. Введення до складу цементного тіста мікрокварцу приводить до подовження початку схоплювання на 1 годину, але скорочення кінця тужавлення на 20 хвилин (табл. 1). Вплив мікрокварца на прискорення процесів твердіння підтверджується даними на рис. 1, б, крива 4. Структуроутворення в тісті з мікрокварцем починається на 30 хвилин раніше, ніж в тісті на чистому цементі. Введення в цементне тісто комбінації суперпластифікатора (0,05 % від тц) + мікрокварц з $S_{\text{шт}} = 300 \text{ м}^2/\text{кг}$ призвело до того, що початок схоплювання подовжився на 25 хвилин, у порівнянні з тістом без добавок, але скоротилася на 35 хвилин, у порівнянні з тістом, що містить тільки мікрокварц (табл. 1). Кінець схоплювання скоротився на 40 хвилин, у порівнянні з тістом без добавок і на 20 хвилин, у порівнянні з тістом, що містить тільки мікрокварц, але збільшився на 40 хвилин, у порівнянні з тістом, що містить тільки Sika 20 Gold.

Збільшення вмісту суперпластифікатора в такому складі призвело до скорочення початку схоплювання і подовження кінця схоплювання. Аналогічні дані отримані при вимірюванні пластичної

Таблиця 1. Терміни схоплювання цементного тіста з добавками

№ з/п	Мікронаповнювач		Добавка Sika 20 Gold		Нормальна густина, %	Терміни схоплювання	
	Спшт м ² /кг	% від тц	%	% від тц		Початок схоплювання	Кінець схоплювання
1	-	-	-	-	30,5	1 год. 25 хв.	3 год. 55 хв.
2	-	-	0,2	0,05	30	1 год. 50 хв.	2 год. 35 хв.
3	-	-	1,5	0,4	26,3	2 год. 25 хв.	3 год. 45 хв.
4	300	5	-	-	32,5	2 год. 25 хв.	3 год. 35 хв.
5	300	5	0,2	0,05	30,5	1 год. 50 хв.	3 год. 15 хв.
6	300	5	1,5	0,4	27,0	1 год. 35 хв.	3 год. 55 хв.
7	1000	5	-	-	33,0	2 год. 25 хв.	3 год. 35 хв.
8	1000	5	0,2	0,05	32,0	2 год. 00 хв.	3 год. 30 хв.
9	1000	5	1,5	0,4	28,0	1 год. 50 хв.	3 год. 50 хв.

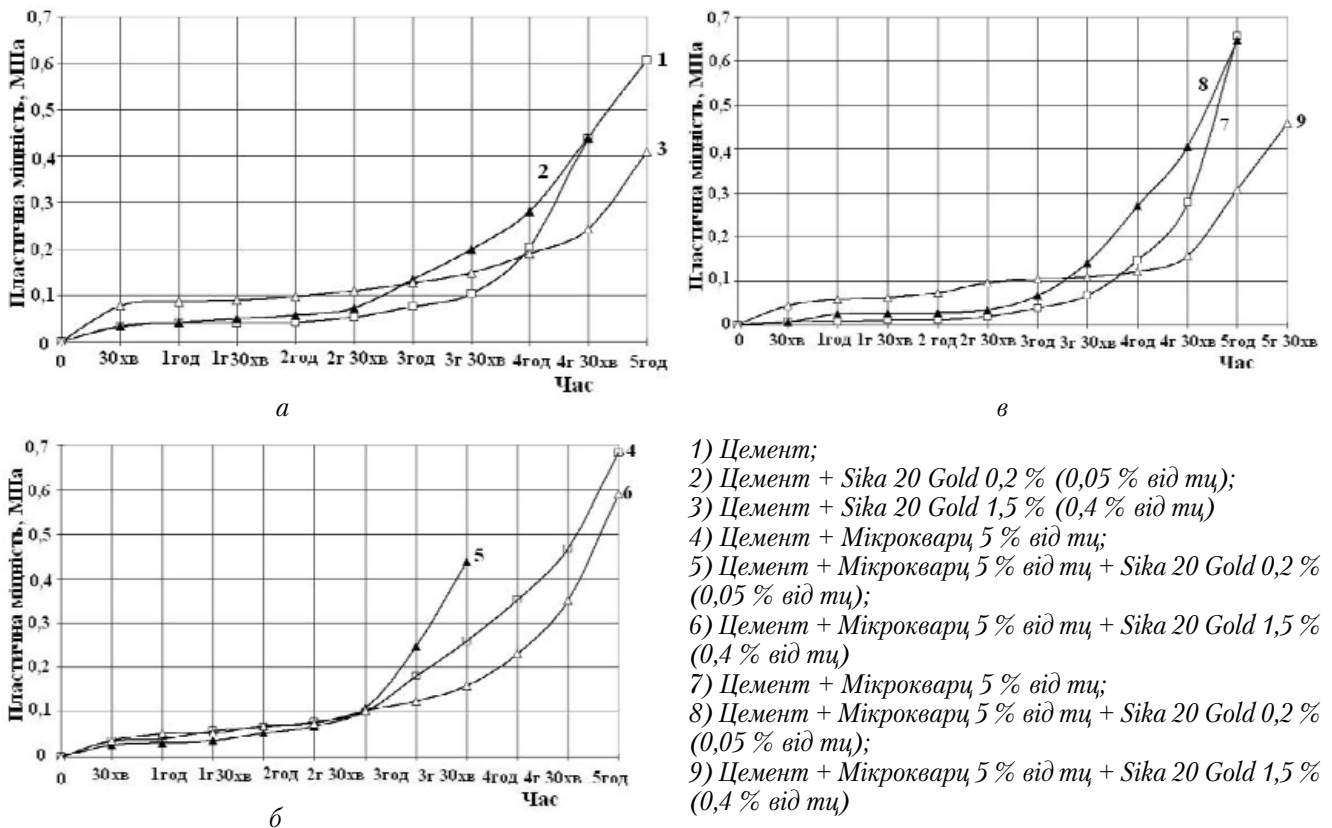


Рис. 1 Пластична міцність цементного тіста з добавками: а) цемент + Sika 20 Gold; б) мікрокварц $S_{\text{мт}} = 300 \text{ м}^2/\text{кг}$ + Sika 20 Gold; в) мікрокварц $S_{\text{мт}} = 1000 \text{ м}^2/\text{кг}$ + Sika 20 Gold

міцності (рис. 1, б). Різке підвищення пластичної міцності (через 3 години) характерно для зразків тіста, що містить тільки мікрокварц або мікрокварц з малою кількістю добавки Sika 20 Gold. Збільшення вмісту Sika 20 Gold уповільнює початок структуроутворення приблизно на 30...45 хвилин. Зміна питомої поверхні мікрокварца до $1000 \text{ м}^2/\text{кг}$ змінило терміни схоплювання тіста і характер кривих пластичної міцності. Початок схоплювання тіста з мікрокварцем подовжився, також, як і в тісті з більш грубодисперсним мікрокварцем (табл. 1). Таким же залишився кінець схоплювання. При введенні 0,05 % від тц Sika 20 Gold + мікрокварц початок схоплювання тіста подовжився, у порівнянні з тістом, що містить грубодисперсний мікрокварц. Кілька подовжився кінець схоплювання. Приблизно зіставні дані по термінах схоплювання отримані при дослідженні тіста, що містить 0,4 % від тц Sika 20 Gold + мікрокварц з $S_{\text{мт}} = 1000 \text{ м}^2/\text{кг}$ (склади 6 і 9, табл. 1). На графіках пластичної міцності час початку інтенсивного структуроутворення в цементному тісті для складу, що містить 0,05 % від тц Sika 20 Gold

+ мікрокварц залишився таким же, а у складів, в яких міститься тільки мікрокварц і мікрокварц + 0,4 % від тц Sika 20 Gold подовжився до 3 годин 30 хвилин і 4 годин відповідно (рис. 1, в).

Дослідження міцності цементного каменю з мікронаповнювачами різної природи і дисперсності (рис. 2) показали, що зі збільшенням дисперсності мікронаповнювача спостерігається зменшення його оптимальної кількості з точки зору приросту міцності. Очевидно, що на фізико-механічні показники впливає не тільки дисперсність мікронаповнювача, але і його природа. При введенні в цементне тісто мікрокварца (рис. 2) дисперсністю $300 \text{ м}^2/\text{кг}$ оптимальний приріст міцності цементного каменю спостерігається при його вмісті 9 % від маси цементу, при дисперсності $600 \text{ м}^2/\text{г}$ оптимум становить 5 % і 9 % від маси цементу, а при $S_{\text{мт}} = 1000 \text{ м}^2/\text{кг}$ — 5 % від маси цементу.

При введенні в цементне тісто крейди (рис. 2) дисперсністю $300 \text{ м}^2/\text{кг}$ оптимум міцності цементного каменю спостерігається при його вмісті 7 % від маси цементу, при $S_{\text{мт}} = 600 \text{ м}^2/\text{кг}$ оптимум

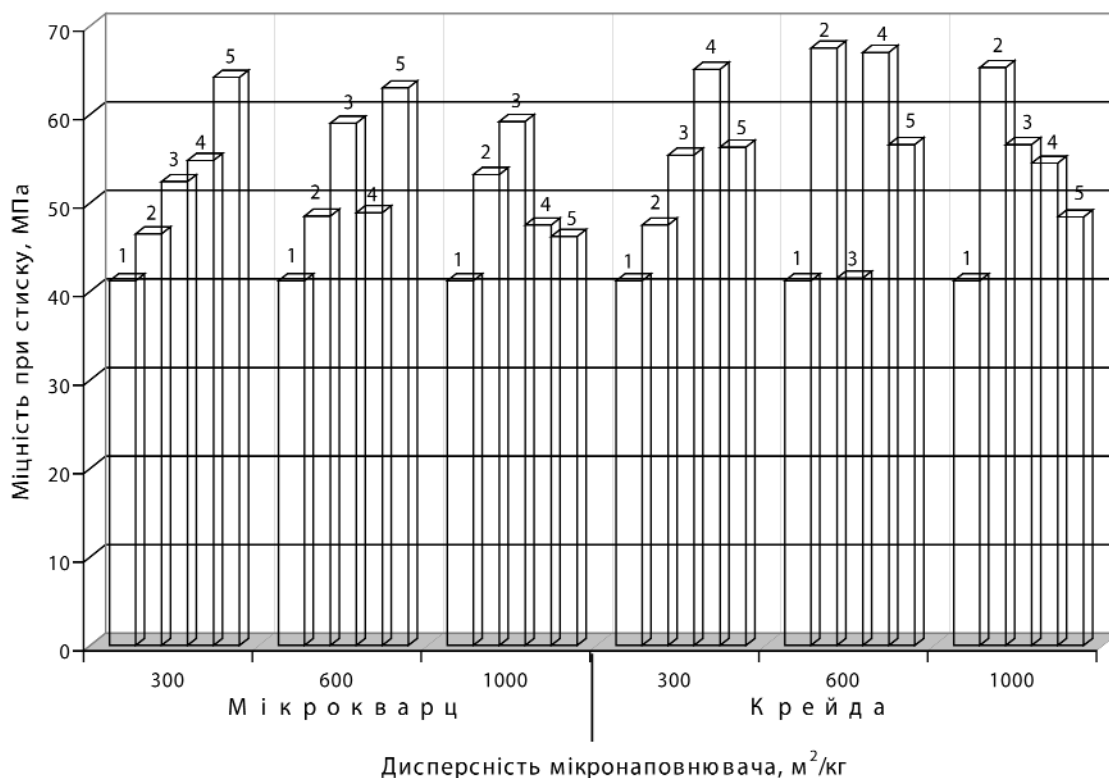


Рис. 2. Міцність цементного каменю в залежності від дисперсності мікронаповнювача:

1) без добавки; 2) 3 % від тц; 3) 5 % від тц; 4) 7 % від тц; 5) 9 % від тц

становить 3 % і 7 % від маси цементу, а при $S_{\text{шт}} = 1000 \text{ м}^2/\text{кг}$ — 3 % від маси цементу.

Можна припустити, що на оптимальну кількість мікронаповнювача в цементних композитах впливає не тільки його дисперсність, а й твердість вихідної речовини, з якої отримано мікронаповнювач.

Висновки.

1. Встановлено, що мінеральні добавки, які вводяться до складу бетонних сумішей, впливають на мікро- і мезо- структури бетону.

2. Показано, що введення до складу цементного тіста мікрокварцу різної дисперсності призводить до подовження початку схоплювання, але скорочення кінця тужавлення у порівнянні з контрольним складом. Введення комбінації добавок мікрокварц дисперсністю $1000 \text{ м}^2/\text{кг}$ та Sika 20 Gold у кількості 0,05 % та 0,4 % від тц призводить до подовження часу початку інтенсивного структуроутворення в цементному тісті до 3 год. 30 хв. і 4 год. відповідно.

3. Показано, що оптимальна кількість мікронаповнювача залежить від його виду і дисперсності. При збільшенні дисперсності мікронаповнювача спостерігається зниження його оптимальної кількості, при якому спостерігається максимум міцності.

4. Встановлено, що на оптимальну кількість мікронаповнювача в цементних композитах впливає твердість вихідної речовини, з якої отримано мікронаповнювач.

ЛІТЕРАТУРА

1. Рамачадран В.С. Добавки в бетон. Справочное пособие: Пер. с англ. / Под ред. В.С. Рамачадрана. — М.: Стройиздат, 1988. — 575 с.
2. Кузнецова Т.В. Физическая химия вяжущих материалов / Т.В. Кузнецова, И.В. Кудряшов, В.В. Тимашев. — М.: Высш. шк., 1989. — 384 с.
3. Теория цемента / Под ред. А.А. Пашенко. — К.: Будівельник, 1991. — 168 с.
4. Толмачев С.Н. Применение углеродных коллоидных наночастиц в мелкозернистых цементных бетонах [Монография] / С.Н. Толмачев, Е.А. Беличенко. — Х.: ХНАДУ, 2014. — 152 с.
5. Мчедлов-Петросян О.П. Химия неорганических строительных материалов / О.П. Мчедлов-Петросян. — М.: Изд-во литературы по строительству, 1971. — 224 с.

6. Ребиндер П.А. Физико-химическая механика дисперсных структур / П.А. Ребиндер. — М.: Стройиздат, 1966. — 400 с.

7. Плугин А.Н. Коллоидно-химические основы прочности, разрушения и долговечности бетона и железобетонных конструкций / А.Н. Плугин, А.А. Плугин, О.А. Калинин // Цемент. — 1997. — № 2. — С. 28 — 32.

8. Величко Е.Г. Рациональное содержание минеральных добавок в бетоне для оптимизации его структуры / Е.Г. Величко, Л.Ф. Вагина, Н.В. Михаэлис // Теория, производство и применение искусственных строительных конгломератов в водохозяйственном строительстве: Всесоюзная научно-техническая конференция. — Ташкент: "Узгипрозем". — 1985. — С. 66.

9. Зазимко В.Г. Мелкозернистый бетон роликового формования с тонкомолотыми минеральными добавками / В.Г. Зазимко, А.Ф. Масляев, А.М. Кагитин // Ресурсосберегающие технологии, структура и свойства дорожных бетонов: тезисы докладов республиканской конференции (г. Харьков). — Харьков: Изд-во ХАДИ. — 1989. С. 130 — 131.

10. Ольгинский А.Г. Структурообразование в системе цемент — шлак — пластификатор / А.Г. Ольгинский, Э.В. Омеляненко, М.Р. Халатова // Ресурсосберегающие технологии, структура и свойства дорожных бетонов: тезисы докладов республиканской конференции (г. Харьков). — Харьков: Изд-во ХАДИ. — 1989. — С. 158 — 159.

11. Бабков В.В. "Эффект микронаполнителя" в технологии цементных бетонов и его природа / В.В. Бабков, С.М. Капитонов, И.В. Онищенко, А.Ф. Полак // Проблемы материаловедения и совершенствования технологии производства строитель-

ных изделий: сб. научн. трудов. — Белгород: БТИСМ, 1990. — С. 29 — 33.

АННОТАЦИЯ

В статье рассмотрены активационные способы воздействий на уровни структуры цементных бетонов. Выделены и сгруппированы различные виды воздействий. Установлены объекты активации и показано, что все активационные воздействия влияют на процессы структурообразования бетонов. Установлено, что применение минеральных добавок способствует уплотнению микро- и мезо-уровней структуры за счет снижения пористости. Приводятся исследования по определению влияния химических и минеральных добавок различной природы и дисперсности на процессы структурообразования цементного теста.

Ключевые слова: активация, структура, микро-наполнитель, дисперсность, структурообразование, прочность, цементное тесто, цементный камень.

ANNOTATION

The article discusses ways of activation effects on the levels of structure of cement concrete. Isolated and grouped different types of impacts. Installed activation objects and shows that all activation effects influence the processes of structure of concrete. It was found that the use of mineral additives contributes to seal the micro- and meso- structure levels by reducing porosity. The results of studies to determine the effect of chemical and mineral admixtures different dispersion processes of structure of cement paste.

Keywords: activation, structure, microfill, dispersion, structure, strength, cement paste, cement stone.