

## **ВЛИЯНИЕ АКТИВНЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ КОМПОНЕНТОВ СЫРЬЕВОЙ СМЕСИ И ДОБАВОК ЭЛЕКТРОЛИТОВ НА ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ БЕТОНА**

**Шабанов Д.Н.**, канд. техн. наук, **Терехов С.А.**, преподаватель-стажер,  
(Полоцкий государственный университет)

**Аннотация.** Выполнен анализ влияния на композиционные строительные изделия добавок электролитов и активных минеральных добавок, в качестве которых применяют техногенные отходы литейного производства (литейный шлак и отработанная формовочная смесь). Целью исследования было изучение влияния этих добавок на долговечность и структурных характеристик строительных композиционных материалах. Для этих целей был реализован шестифакторный эксперимент по плану Рентшафнера.

Анализ накопленных экспериментальных данных, указывает на связь между отдельными интегральными и дифференциальными характеристиками, капиллярно-пористой структуры и прочностью, сорбционной влажностью, скоростью капиллярного водонасыщения и коэффициентом капиллярной диффузии, водопоглощением.

Согласно современным представлениям строительные материалы представляют собой сложные композиционные материалы (КСМ), изучать структуру и оптимизировать свойства которых целесообразно в рамках полиструктурной теории [1,2,3], представляющий строительные материалы сложноорганизованными по типу «структура в структуре» или «композит в композите». При этом выделяют микро- и макроструктурные уровни по качественному отличию, физико-механических процессов их организации [1, 4, 5]. Структурообразование конструкционных строительных материалов происходит не только в результате физико-механических превращений вяжущего, но также в результате механических явлений взаимодействия отдельных компонентов и целых структур [6]. Стремясь к термодинамическому равновесию, такие системы могут уменьшать внутреннюю поверхностную энергию за счет объединения частиц дисперсной фазы в структурные агрегаты-кластеры [7].

Известно, что прочность материалов определяется видом, ориентированием и структурных дефектов. Накопленный опыт показывает, что дефекты зарождаются в материале еще при его получении [8]. Для материалов, состоящих из полидисперсных компонентов, существует набор дефектов, способных прорасти с одного в другой масштабный уровень материала. Доказано, что особое внимание следует уделять генезису структуры, так как заложенные в ней дефекты предопределяют в большинстве случаев начало и последующую интенсивность разрушения материала под действием эксплуатационных нагрузок [9]. Известно [10, 11],

что реологическое поведение дисперсии в значительной мере определяется интенсивностью контактных взаимодействий.

Активное влияния на процессы структурообразования и морфологию строительных изделий на минеральном вяжущем, независимо от их твердения, оказывает применение активных минеральных добавок, таких как отходы литейного производства, и химических добавок таких как добавки электролиты [12, 13].

Основным функциональным назначением добавок электролитов считается интенсификация набора прочности бетона и влияние на ход процессов гидратации цемента, характер фазового состава гидратных новообразований и порового пространства.

Для анализа влияния добавок электролитов на структуру бетона была взята работа [14]. Задачей этой работ явилось выявление особенностей микроструктуры цементного камня с добавками электролитов, его удельной поверхности и распределения в нем влаги по видам связи. Особенности структуры цементного камня были изучены с помощью сорбционного метода [15]. Выполненные исследования позволили построить изотермы десорбции (рис. 1) без добавок и с добавкой электролита  $\text{CaCl}_2$ . Изотерма десорбции для цементного камня без добавок (рис. 1) может быть отнесена к IV типу изотерм физической адсорбции согласно классификации С. Брунауэрэра [15]. Такая форма изотерм характерна для цементного камня, его основного компонента – тоберморита [16].

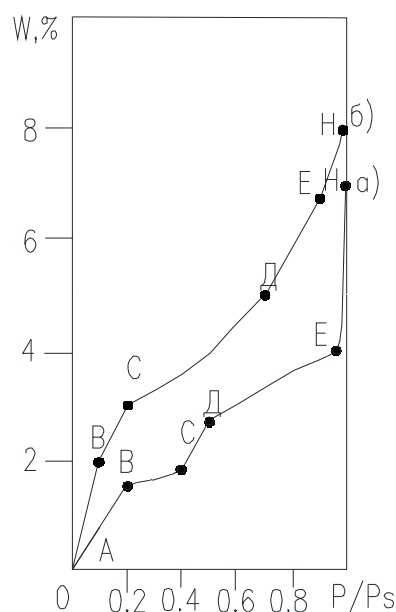


Рисунок 1 – Изотермы десорбции паров воды из цементного камня: а – состав без добавки; б – состав с добавкой  $\text{CaCl}_2$  в количестве 5%.

Автором работы на изотерме были выделены характерные участки (см. рисунок 1), указывающие на изменение процесса удаления влаги из материала в соответствии с механизмом происходящих в поровом пространстве за счет адсорбционных и капиллярных явлений.

Результат работы [14] выявил, что при добавлении электролитов развивается микропористая структура, увеличивается удельная поверхность цементного камня, происходит все более интенсивное связывание влаги адсорбционными силами. Это свидетельствует об уплотнении цементного камня, увеличении непроницаемости бетона и его морозостойкости.

Синтезированные кристаллические структуры, являясь наиболее прочными и водоустойчивыми, возникают в результате сращивания кристалликов новой твердой фазы [17]. Анализируя работы [18, 19] можно заключить, что качественные и количественные различия в соотношениях новообразований оказывают существенное влияние на влажностные изменения в материале. Из более чем 20 синтезированных гидросиликатов кальция наиболее важное практическое значение имеет тоберморит. Анализ вышеизложенного материала позволил сделать вывод о практическом значении тоберморита, для чего были выполнены исследования активных минеральных добавок литейного производства (литейной шлак и отработанная формовочная смесь) на образования тоберморита по его интенсивности по радиограмме. Для этих целей был поставлен шестифакторный планированный [20-23] эксперимент по плану Рентшафнера [24], в котором были выбраны следующие сырьевые и технологические факторы:

X1 – расход вяжущего; X2 – содержание шлака в извести; X3 – водовяжущее отношение; X4 – удельное давление прессования; X5 – время изотермического прогрева; X6 – давление пара в автоклаве, влияющие на интенсивность тоберморита в образцах (таблица 1).

Таблица 1 – Содержание тоберморита в образцах с разными рецептурно-технологическими факторами

X1	X2	X3	X4	X5	X6	№ образца	Содержание тоберморита
1	2	3	4	5	6	7	8
-	-	-	-	-	-	1	98
-	+	+	+	+	+	2	69
+	-	+	+	+	+	3	185
+	+	-	+	+	+	4	40
+	+	+	-	+	+	5	79
+	+	+	+	-	+	6	96
+	+	+	+	+	-	7	105
+	+	-	-	-	-	8	81
+	-	+	-	-	-	9	205
+	-	-	+	-	-	10	194
+	-	-	-	+	-	11	165
+	-	-	-	-	+	12	152
-	+	+	-	-	-	13	52
-	+	-	+	-	-	14	51
-	+	-	-	+	-	15	40
-	+	-	-	-	+	16	58
-	-	+	+	-	-	17	106
-	-	+	+	-	-	18	105
-	-	+	-	+	-	19	75

-	-	-	+	+	-	20	106
-	-	-	+	-	+	21	117
-	-	-	-	+	+	22	105
+	0	0	0	0	0	23	140
0	+	0	0	0	0	24	72
0	0	+	0	0	0	25	105
0	0	0	+	0	0	26	91
0	0	0	0	+	0	27	75
0	0	0	0	0	+	28	81
0	0	0	0	0	0	29	101

Из полученных данных была составлена математическая модель:

$$94,9 + 25x_1 + 22x_1^2 - 13,1x_1x_2 + 8,4x_1x_3 + 4,6x_1z_6 - 7,5x_1z_6 - 37,3x_2 + 16,3x_2^2 + 3,4x_2x_3 - 2,7x_2z_4 - 2,6x_2z_5 + 2,3x_2z_6 + 8,6x_3 + 4,1x_3z_5 - 3x_3z_6 + 4,6z_4 - 6,6z_4^2 - 1,5z_4z_5 + 1,7z_4z_6 - 2,5z_5 - 15,5z_5^2 + 1,5z_5z_6 - 5,2z_6 - 6,8z_6^2.$$

Адекватность полученных уравнений проверялась по критерию Фишера. По математическим моделям получены графики влияния различных факторов на содержание тоберморита (рис. 2).

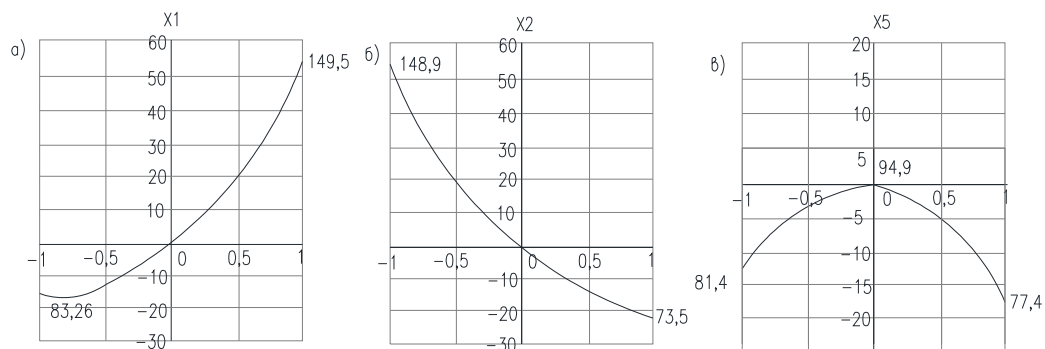


Рисунок 2 – График изменения содержания тоберморита в зависимости от расхода вяжущего (а), содержания шлака (б), времени изотермической обработки (в)

Из рисунка 2 следует, что увеличение количества вяжущего способствует увеличению содержания тоберморита. С ростом расхода шлака происходит снижение тоберморита. Анализ влияния технологических факторов на содержание тоберморита позволяет оптимизировать время гидротермального синтеза

Для оценки коэффициента влагопроводности КСМ, содержащие активные минеральные добавки, были выполнены исследования [24] и получены данные о кинетике одномерного водопоглощения. Была установлена зависимость коэффициента влагопроводности от функции распределения пор по радиусам (рис. 3).

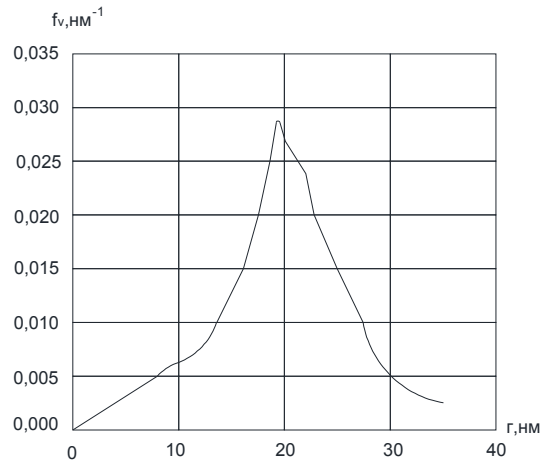


Рисунок 3 – Функция распределения объема пор по радиусам для образца из автоклавированного материала

Из рисунка 3 следует, что примерно 80% открытой пористости материала имеет поры размера от 0,01 до 0,03 мкм. Такие показатели характерны для однородного мелкопористого материала. Это означает что минеральными добавками (литейного шлаком и формовочной смесью) можно регулировать структуру бетона, а значит на прямую влиять на долговечность изделия.

**Заключение.** Проведенные исследования показали, введением активных минеральных добавок и добавок электролитов изменяет структуру искусственного камня и качественный и количественный состав гидратных фаз, в том числе и тоберморита, направлено влияет на долговечность дисперсных систем. Оптимизация сырьевых и технологических факторов, а также применение добавок электролитов и активных минеральных добавок является перспективным направлением снижения энергоемкости строительного производства и эффективным способом решения экологических проблем промышленных регионов Беларуси.

**Литература.** 1. Элементы общей теории композитных строительных материалов / В.И. Соломатов // Изв. Вузов. Сер. Строит. и арх. – 1980. – №8 – С.61-70. 2. Соломатов, В.И. Полиструктурная теория композиционных строительных материалов / В.И. Соломатов // Новые композиционные материалы в строительстве: науч. Тр. / Саратов. политех. ин-та; под ред. В.И. Соломатова. – Саратов, 1981. – С. 5-9. 3. Штальберг, Д.И. Термодинамика структурообразования водносиликатных дисперсных материалов / Д.И. Штальберг. – Рига: Зинатне, 1984. – 198 с. 4. Ричардсон, М. Промышленные полимерные композиционные материалы / М. Ричардсон; пер. с англ. – М.: Химия, 1980. – 472 с. 5. Гусев, Б.В. Бетон: Яким йому бути? / Б.В. Гусев, В.Г. Зазимко, Н.А. Нетеса; под ред. Б.В. Гусева. – Киев: Знання, 1978. – 48 с. 6. Моделирование и оптимизация процессов структурообразования композиционных материалов / РДЭНТП УССР, отд. хим. и хим. техн.; сост.: В.И. Выровой, А.Б. Абдыкалыков. – Киев, 1985. – 15 с. 7. Современные методы оптимизации материалов. / В.А. Вознисенский [и др.]; под общ. ред.

В.А. Вознисенского. – Киев: Будивельник, 1983. – 144 с. 8. Соломатов, В.И. Бетон как композиционный материал / В.И. Соломатов, В.И. Выровой, Н.А. Аббасханов; под. ред. В.И. Соломатова. – Ташкент: УЗИНТИ, 1985. – 32 с. 9. Армополимербетон в транспортном строительстве / В.И. Соломатов; под общ. ред. В.И. Соломатова. – М: Транспорт, 1979. – 232 с. 10. Панасюк, В.В. Оценка трещиностойкости цементного бетона по вязкости разрушения / В.В. Панасюк [и др.] // Бетон и железобетон. – 1981. – №2. – С. 19-20. 11. Гриценко, В.Ф. Агрегативная устойчивость и кинетика структурообразования водных дисперсий полигорскита и кремнезема: автореф. дис. ...канд. хим. наук / В.Ф.Гриценко – Киев, 1978. – 20 с. 12. Дворкин, Л.И. Строительные материалы из отходов промышленности: учеб.-справ. пособие / Л.И. Дворкин, О.Л. Дворкин. – М.: Феникс, 2007. – 368 с. 13. Хилажев, Д.Р. Исследование влияния активных минеральных добавок и поверхностно-активных веществ на особенности формирования структуры мелкозернистого бетона / Д.Р. Хилажев, С.П. Горбунов // КиберЛенинка [Электронный ресурс]. – 2013. – Режим доступа: <http://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-vliyaniya-aktivnyh-mineralnyh-dobavok-i-poverhnostno-aktivnyh-veschestv-na-osobennosti-formirovaniya-struktury>. - Дата доступа: 21.042016. 14. Грапп, В.Б. Влияние добавок электролитов на удельную поверхность цементного камня и распределения влаги по видам связи / В.Б. Грапп // Сб. науч. тр. / Латвийский НИИ строительства госстоя латвийского ССР – Рига, 1982. – Вып. 9: Конструкции и материалы в строительстве. – С. 33-41. 15. Адсорбция газов и паров: в 2 т. / С. Брунауэр. – М.: Иностранная литература, 1948. – Т.1: Физическая адсорбция / С. Брунауэр. – 1948. – 784 с. 16. Скоблинская, Н.Н. механизм действия сорбированной воды на структуру цементного камня / Н.Н. Скоблинская // Проблемы ползучести и усадки бетона / Н.Н. Скоблинская. – М.,1974 – С.175-185. 17. Модифицированные высокопрочные мелкозернистые бетоны с улучшенными деформационными характеристиками / С.С. Каприелов [и др.] // Бетон и железобетон. – 2006. – №2. – С. 2-7. 18. Donath/ Die chemische Bewertung des Mörtelsandes; Tonindustrie-Zeitung 1900, №3 и №6. 19. Michaëlis, d. Ä., der Kalkmörtel; Zentralblatt der Bauverwaltung, 1908, №17. 20. Вознесенский, В.А. Статические решения в технологических задачах / В.А. Вознесенский. – Кишинев: Картя Молдовеняскэ, 1968. – 232 с. 21. Вознесенский, В.А. Статический метод планирования эксперимента / В.А. Вознесенский. – М.: Финансы и статистика, 1981. – 263 с. 22. Вознесенский, В.А. Оптимизация состава многокомпонентных добавок в композиты / В.А. Вознесенский. – Киев: О-во Знание, 1981. – 20 с. 23. Вознесенский, В.А. Принятие решений по статическим моделям / В.А. Вознесенский, А.Ф. Ковальчук. – М.: Статистика, 1978. – 192 с. 24. Шабанов, Д.Н. Состав и свойства силикатного кирпича с использованием продуктов литейного производства: автореф. дис. ... канд. тех. наук: 05.23.05 / Д.Н. Шабанов; Брест. гос. тех. ун-т – Брест, 2007. – 23с.