

4. Трамбицкий, Е.А. Определение напряженно-деформированного состояния бетонного образца с помощью глубинных датчиков / Е.А. Трамбицкий, В.А. Хватынец, Д.Н. Шабанов // Электронный сборник трудов молодых специалистов Полоцкого государственного университета. – 2018. – Вып. 20 (90).
5. Хватынец, В.А. Создание высокопрочных оснований за счёт дисперсного армирования цементной матрицы / В.А. Хватынец, Е.А. Трамбицкий, Д.Н. Шабанов // Вестн. Полоцк. гос. ун-та. Сер. Ф, Строительство. Прикладные науки. – 2018. – С. 56–59.
6. Фомица, Л.Н. Полупроводниковые преобразователи для измерения механических напряжений / Л.Н. Фомица. – Минск : Выш. шк., 1983. – 123 с., ил.
7. Красновский, Р.О. О методике испытания железобетонных балок на действие поперечных сил / Р.О. Красновский // Методика лабораторных исследований деформаций и прочности бетона, арматуры и железобетонных конструкций. – М. : Госстройиздат, 1962. – С. 160–173.
8. Пресс испытательный гидравлический малогабаритный ПГМ-500МГ4 [Электронный ресурс]. – 2017. – Режим доступа: <http://belavalon.by/katalog/product/view/5/336>. – Дата доступа: 01.10.18.

COMPUTER MODELLING OF STRESSED-DEFORMED CONDITION OF CONCRETE

E. TRAMBITSKY, V. KHVATYNETS, D. SHABANOV

To obtain reliable information about the residual life of structures, the initial data must be determined from the results of field tests. However, for most structures, obtaining reliable source data is difficult, which naturally reduces the accuracy of calculations. Values of stresses arising in structures, as a rule, are taken based on the results of formalized calculations, which does not reflect the actual operation of the structure. In this regard, there is a need for reliable operational methods for obtaining baseline data for calculations. In this case, it is advisable to apply computer modeling of the stress-strain state of concrete.

Keywords: concrete, computer modeling, stress-deformed state, deep sensor.

УДК 691.3

СОВРЕМЕННЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О ПРИМЕНЕНИИ ПОЛИМЕРОВ В БЕТОНЕ

*канд. техн. наук, доц. Л.М. ПАРФЁНОВА, Сати Рабих
(Полоцкий государственный университет)*

Представлен краткий обзор современных направлений исследований полимеров в бетоне. Отмечается, что наряду с полимербетонами и бетонополимерами, эффективно использование полимеров в качестве химических добавок в бетон. В качестве полимерных добавок могут применяться акриловые дисперсии, предназначенные для лакокрасочной промышленности. Акриловые дисперсии способствуют формированию плотной структуры бетона, уменьшая количество и размеры макропор. Комплексные добавки на основе акриловой эмульсии значительно повышают прочность на растяжение при изгибе, адгезию к бетону конструкции, морозостойкость.

Ключевые слова: полимербетоны, полимерные добавки, акриловая дисперсия, водонепроницаемость, прочность, гидрофобизирующие добавки

Бетоны на основе портландцемента являются основным материалом несущих и ограждающих конструкций, применяемых в современном промышленном и гражданском строительстве. Комплекс неблагоприятных воздействий: попеременное увлажнение – высушивание, замораживание – оттаивание, контакт с коррозионно активными по отношению к цементному камню веществами, приводит к коррозии бетона, выражающейся в уменьшении прочности материала и ухудшении эксплуатационных характеристик изделия [1–3]. Определено [3], что коррозионная стойкость бетонов определяется двумя главными показателями – проницаемостью для агрессивных сред и способностью цементного камня и заполнителя вступать в химическое взаимодействие с компонентами агрессивных сред. В исследованиях [1, 2] также указано на связь процессов коррозии цементного камня с интенсивным массопереносом в структуре материала. Установлена зависимость: чем ниже скорость массопереноса, тем выше коррозионная стойкость цементного камня.

Одним из эффективных способов снижения интенсивности массопереноса и, соответственно, получения бетонов высокой коррозионной стойкости является применение полимеров в цементных бетонах. Полимеры могут частично или полностью заменять минеральное вяжущее (полимербетоны), пропитывать бетон после затвердевания (бетонополимер) либо полимерные эмульсии используются в качестве добавок в бетон. Подробный анализ структурообразования и свойств полимербетонов выполнен Патуровым В.В. [4]. Отмечается, что полимербетон – разновидность бетона, в котором вместо минерального вяжущего используют преимущественно термореактивные полимеры (эпоксидные, полиэфирные, фенолформальдегидные, фурановые и др.). Для изготовления полимербетонов применяют около 10 типов различных мономеров или олигомеров, которые в комбинациях с модифицирующими добавками позволяют получить более 30 разновидностей полимербетонов. Заполнители для полимербетонов выбираются в зависимости от вида агрессивной среды. Для кислых сред изготавливают полимербетоны на кислотоустойчивых заполнителях - кварцевом песке и щебне из кварцита базальта или гранита. Используют также бой кислотоупорного кирпича, кокс, антрацит, графит. Полимербетоны отличаются высокой химической стойкостью в различных активных средах (кислоты, щелочи и пр.), механической прочностью при сжатии 120 МПа, на изгиб 20-40 МПа, морозостойкость – до 300 циклов. Несмотря на их высокую стоимость они широко применяются для изготовления конструкций в условиях высокой химической агрессии, для ремонта каменных и железобетонных конструкций. При этом высокая степень наполнения позволяет резко снизить усадку, которая становится равной усадке цементных бетонов, и существенно повысить модуль упругости, что позволяет применять такие бетоны в несущих и ответственных конструкциях, так полимербетоны плотностью 2200-2400 кг/м³, имеют предел прочности на сжатие: на основе фенолоформальдегидных смол 40-60 МПа, карбамидных 50-80 МПа, полиэфирных 80-120 МПа и фураново-эпоксидных до 160 МПа [4].

Отрицательным свойством полимербетонов является их хрупкость, большая ползучесть, усадка, низкая термостойкость. Поэтому полимербетонные смеси имеют многокомпонентные составы. Для уменьшения хрупкости полимербетона в состав включают фибру – асбестовые, стеклянные и другие волокна. Для регулирования жизнеспособности в полимербетонную смесь на основе карбамидной смолы, предложено [5] включить хлорное железо и минеральный наполнитель (фарфоровую муку, кварцевый песок, фарфоровый бой). Снижение горючести при сохранении значений физико-механических характеристик при повышенных температурах достигнуто при использовании в составе полимербетонной смеси на основе низкомолекулярного полибутадиена серы, тиурама, каптакса, оксида цинка, оксида кальция, кварцевого песка, гранитного щебня и антипирена – гидрооксида алюминия [6].

Отдельную группу представляют собой бетонополимеры. Бетонополимеры – это цементные бетоны, пропитанные после затвердевания низковязкими мономерами или жидкими олигомерами: например, стиролом, метилметакрилатом. После тепловой обработки эти мономеры переходят в полимеры, заполняя поры и другие дефекты бетона твердым полистиролом или полиметилметакрилатом. Такая обработка способствует резкому повышению прочности (до 100 МПа), морозостойкости, износостойкости, практически не водопроницаемы [4].

В отличие от бетонополимеров и полимербетонов новый класс бетонов изготавливают по более традиционной технологии, при которой полимеры используются в качестве химических добавок. Полимерные добавки значительно улучшают физико-механические характеристики бетона. Так, при модификации растворов и бетонов стандартной эпоксидной смолой без отвердителя, что существенно снижает ее токсичность, полимеризация смолы происходит в ходе гидратации цемента, а в случае ее ускорения за счет прогрева отмечается [7] заметный рост прочности бетона. Конструкции из такого бетона и раствора проявляют эффект самозалечивания образующихся микротрещин.

В качестве полимерной добавки могут также применяться эпоксидсодержащие отходы. Исследования [8] показали, что мелкозернистый бетон, модифицированный эпоксидсодержащим отходом, имеет плотную, однородную структуру. Полимерная добавка равномерно обволакивает продукты гидратации, уплотняя структуру, заполняя поры и упрочняя контакт между зёрнами заполнителя. Повышается прочность, морозостойкость, истираемость и коррозионная стойкость бетона.

В настоящее время большое внимание уделяется исследованию полимеров, которые производятся на региональных химических предприятиях. Например, низкомолекулярный полиэтилен является побочным продуктом многотоннажного производства синтеза полиэтилена высокого давления. В работе [9] выполнены исследования по разработке полимерных добавок на основе водных дисперсий (мет)акриловых полимеров – полиметакрилатов (ПМА), полиакрилатов (ПА), продуктов термической деструкции полиамида-6 в среде растительных масел и низкомолекулярного полиэтилена (НМПЭ). Полученную смесь низкомолекулярных полиамидов (НМПА) со средней молекулярной массой 3400...8600 использовали в качестве самостоятельной и в составе комплексной добавки для бетонной смеси. На основании полученных в ходе исследований данных [9] было установлено, что полимерные добавки явля-

ются пластифицирующими добавками, они замедляют твердение бетонных смесей и снижают водоцементное отношение на 6,5 % –19,4 % . Добавки в количестве 0,5...0,7 % увеличивают прочность образцов бетона В22,5 на 28 сут в условиях воздушно-сухого твердения по сравнению с эталоном до 28,2 %. Полимерные добавки увеличивают водонепроницаемость бетона В22,5 по сравнению с эталоном до 195 раз. Оптимальной комплексной добавкой, увеличивающей сроки схватывания цементного теста, водонепроницаемость и прочность бетона на сжатие, является композиция из смеси полиакрилатов и полиметакрилатов (ПА и ПМА), продуктов термической деструкции полиамида-6 (НМПА) и низкомолекулярного полиэтилена (НМПЭ) в соотношении 1:1:0,5 (масс.) [9].

В работе [10] в качестве добавки в мелкозернистый бетон предложено использовать акриловую дисперсию марки ВДСМ-КИ-02-04, предназначенную для лакокрасочной промышленности, которая представляет собой сополимер стирола и акриловых мономеров, полученный эмульсионным методом. Акриловая дисперсия применяется в качестве пленкообразователя для получения высоконаполненных красок общего назначения, а также в качестве основы пропитывающих составов для закрепления поверхностей. Обладает высокой эластичностью и адгезией к различным поверхностям, дисперсия рекомендована к использованию как связующее. Хорошо совмещается со многими современными наполнителями, добавками и компонентами. Отмечается [10], что гидрофобизирующие свойства акриловой дисперсии марки ВДСМ-КИ-02-04 проявляются в формировании плотной и однородной структуры модифицированной композиции бетона. Уменьшается количество и размеры макропор. Система равномерно распределенных пор с гидрофобизированной поверхностью в затвердевшем модифицированном бетоне снижает капиллярный подсос, уменьшает проницаемость бетона. При контакте с продуктами гидратации цемента ВДСМ-КИ осаждается в виде мельчайших капелек на стенках мелких пор и капилляров, образуя гидрофобные покрытия, в результате возникает контакт, имеющий обратный угол, при котором силы поверхностного натяжения выталкивают воду из пор. Эффективно введение акриловой дисперсии в количестве 0,5 до 0,75 % латекса ВДСМ-КИ по массе цемента.

Установлено, что введение гидрофобизирующих добавок при помоле цемента или с водой затворения приводит к снижению скорости диффузии воды к частицам цемента. Замедлению процессов гидратации и резкому падению прочности цементного раствора или бетона на начальных этапах твердения. С целью снижения негативного действия гидрофобизирующих добавок на процессы гидратации цемента на начальных этапах твердения предложено [11] регулировать во времени процессы гидрофобизации цементного камня путем модифицирования гидрофобизирующих добавок. Модификацию предложено [11] выполнять путем предварительной адсорбции добавок на минеральном носителе с последующей десорбцией в среде твердеющего цемента или путем капсулирования гидрофобизирующих добавок в оболочку на основе органического полимера с её последующим растворением или разрушением. В качестве гидрофобизирующих добавок в работе [11] использовали полиметилсиликат калия (ПМСК) и полиэтиленгидроксисилоксан (ПЭГС), которые предварительно адсорбировали на мелкодисперсных носителях - микрокальците, тальке, микрокремнеземе, опоке. Средний размер частиц минеральных носителей составил 15-30 мкм. Роль капсулирующей оболочки заключается в экранировании гидрофобизированного минерального носителя в начальные сроки твердения и обеспечении регулируемого поступления гидрофобизатора в твердеющее вяжущее. После прохождения начального этапа процесса гидратации происходит разрушение или растворение капсулирующей оболочки, и материал приобретает водоотталкивающие свойства. Отмечается, что используемый для создания такой оболочки капсулирующий агент не должен оказывать существенного влияния на ход процессов гидратации цемента. В качестве капсулирующих агентов использовали дешевые и доступные материалы - желатин, крахмал, эфир целлюлозы и битум в виде водно-битумной эмульсии.

Установлено [11], что применение модифицированной гидрофобизирующей добавки не вызывает заметного замедления скорости гидратации и нарастания прочности цемента, но позволяет снизить значение коэффициента капиллярного водопоглощения материала в возрасте 28 суток в 2,5 раза, что приводит к повышению коэффициента коррозионной стойкости цементного камня после 120 суток хранения в сульфатном растворе с 0,39 до 0,88 и повышает стойкость по отношению к различным коррозионно-активным растворам, а также снижаются усадочные деформации и повышается морозостойкость.

Тестирование водных акриловых дисперсий Liocryl XAM 4373 и Liocryl AM 432 компании Synthopol Chemie (Германия) на предмет использования в качестве добавок в цементные растворы и бетоны показало, что модифицированные добавками образцы имели более низкий показатель водопоглощения и хрупкости по сравнению с немодифицированными образцами [12].

Одним из путей дальнейшего развития технологии бетонов, модифицированных полимерами, является создание на основе полимеров комплексных добавок. Установлено [13], что комплексная добавка состоящая из акриловой эмульсии, кремнийорганической жидкости и смолы нейтральной воздухововлекающей не изменяя характер новообразований, увеличивает содержание гидросиликатов и порт-

ландита в виде плоских кристаллов, пронизанных ионами металлов, что делает их нерастворимыми, и создаёт повышенную эксплуатационную стойкость структуре мелкозернистого бетона. Мелкозернистый бетон с комплексной добавкой имеет более высокие эксплуатационные свойства: величина усадочных деформаций меньше в 1,3 раза; динамический модуль упругости ниже в 1,8 раза; прочность на сжатие выше в 1,2 раза; прочность на растяжение при изгибе выше в 3 раза; прочность на растяжение при раскалывании выше в 2,2 раза; условной предельной растяжимости выше в 4 раза, истираемость ниже в 10 раз; адгезия к бетону конструкции выше в 3 раза; морозостойкость в солях выше более чем в 2 раза по сравнению с контрольным бетоном.

Разработка и исследование бетонов, модифицированных полимерами, является активно развивающимся направлением исследований во всем мире. В апреле 2018 года прошел очередной 16-й Международный конгресс по полимерам в бетоне, на котором присутствовали ученые из 29 стран [14]. Международный конгресс по полимерам в бетоне проводится каждые три года в течение последних 40 лет с целью достижения прогресса в области полимеров и их использования в бетоне и строительстве. Итоги конгресса показывают, что актуальными направлениями исследований являются применение наноматериалов в полимерных композициях, применение полимербетонов при ремонте и реконструкции сооружений, полимербетоны с использованием промышленных отходов, фиброармированные полимербетоны, геополимеры, исследование механизмов модификации полимеров, разработка составов бетонов, модифицированных полимерами, с высокими физико-механическими характеристиками.

ЛИТЕРАТУРА

1. Главина, С.Ш. Цементные растворы и бетоны с добавками модифицированных парафиновых дисперсий : автореферат дис. ... канд. техн. наук : 03.17.11 / С.Ш. Главина. – М., 2012. – 22 с.
2. Косинов, Е.А. Регулирование свойств цемента модифицированной гидрофобизирующей добавкой : автореферат дис. ... канд. техн. наук: 05.17.11. – М., 2010. – 25 с.
3. Розенталь, Н.К. Бетоны высокой коррозионной стойкости и нормирование их характеристик / Н.К. Розенталь, В.Ф. Степанова, Г.В. Чехний // Строительные материалы, оборудование и технологии XXI века. – 2017. – № 3-4. – С. 14–19.
4. Патуроев, В.В. Полимербетоны / В.В. Патуроев. – М. : Стройиздат, 1987. – 286 с.
5. Полимербетонная смесь [Электронный ресурс] : пат. 2032637 РФ ; МПК С04В26/12 / Е.М. Музлов, В.Е. Музлов, В.А. Серебряков ; заявитель Е.М. Музлов; № 4888291/05 ; заявл. 30.10.1990 ; дата публ. 10.04.1995 // Патентный поиск в РФ. – Режим доступа: <http://www.freepatent.ru>.
6. Полимербетонная смесь [Электронный ресурс] : пат. 2394786 РФ ; МПК С04В28/36 С04В26/04 / Ю.М. Борисов, Ю.Б. Потапов, Д.Е. Барабаш, Д.В. Панфилов, С.А. Гошев ; заявл. 14.09.2009 ; дата публ. 20.07.2010 // Патентный поиск в РФ. – Режим доступа: <http://www.freepatent.ru>.
7. Максимов, Ю.В. Полимеры помогают усовершенствовать бетон / Ю.В. Максимов, Г.К. Соколов, В.П. Трамбовецкий // Строительный эксперт. – 2004. – № 16.
8. Майорова, Л.С. Модифицирование мелкозернистых цементных бетонов минерально-полимерными отходами : автореферат дис. ... канд. техн. наук : 05.23.05 / Л.С. Майорова. – Волгоград, 2007. – 20 с.
9. Поляков, В.С. Комплексные полимерные добавки для бетонных смесей на основе полиакрилатов, продуктов термической деструкции полиамида-6 и низкомолекулярного полиэтилена / В.С. Поляков, В.А. Падохин, М.В. Акулова // Вестн. МГСУ. Строительное материаловедение. – 2012. – №. 4. – С. 149–154
10. Крисман, А.Е. Модифицирование бетонной смеси дисперсией акриловой, ее влияние на эксплуатационные характеристики бетона [Электронный ресурс] / А.Е. Крисман, Е.А. Левченко // Современные научные исследования и инновации. – 2017. – № 5. – Режим доступа: <http://web.snauka.ru/issues/2017/05/82692>. – Дата доступа: 23.09.2018.
11. Косинов, Е.А. Повышение непроницаемости цементного камня при введении гидрофобизирующих добавок на носителе / Е.А. Косинов // Техника и технология силикатов. – 2010. – № 17. – С. 19–22.
12. Куликова, Н.Г. Добавки к бетонам и цементным смесям / Н.Г. Куликова // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. – 2016. – № 9-10. – С. 15–16.
13. Олейников, В.В. Модифицированный мелкозернистый бетон с повышенными эксплуатационными свойствами : автореферат дис. ... канд. техн. наук : 05.23.05 / В.В. Олейников. – М., 2004. – 23 с.
14. International Congress on Polymers in Concrete [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://taha.unm.edu/16th-international-congress-on-polymers-in-concrete-2018-icpic-2018/>. – Дата доступа: 29.04.2018.

MODERN VIEWS ON THE APPLICATION OF POLYMERS IN CONCRETE

L. PARFENOVA, Sati Rabih

The article presents a brief review of modern research directions of polymers in concrete. It is noted that along with polymer concrete and polymer concrete, the use of polymers as chemical additives in concrete is effective. Acrylic dispersions for the paint industry can be used as polymer additives. Acrylic dispersions contribute to the formation of a dense concrete structure, reducing the number and size of macropores. Complex additives based on acrylic emulsion significantly increase the tensile strength in bending, adhesion to concrete structures, and frost resistance.

Keywords: polymer concrete, polymer additives, acrylic dispersion, water tightness, strength, water repellent additives

УДК 691.322.7

ЭФФЕКТИВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ФИБРОВОГО АРМИРОВАНИЯ БЕТОНОВ

В.А. ХВАТЫНЕЦ, канд. техн. наук, доц. Л.М. ПАРФЁНОВА
(Полоцкий государственный университет)

Исследованы параметры эффективного фибрового армирования бетона, используемого в строительстве и при реконструкции железобетонных сооружений. Экспериментальным методом найдено оптимальное процентное содержание отходов щелочестойкой стеклосетки относительно массы цемента и длина этой фибры. Установлено, что дисперсное армирование увеличивает прочность на сжатие и прочность на растяжение при изгибе.

Ключевые слова: бетон, фибровое армирование, отходы производства стеклосетки, процентное содержание, плотность, прочность на сжатие, прочность на растяжение при изгибе.

Анализ научной литературы показал, что использование дисперсного армирования, позволяет выпускать строительные конструкции с повышенной прочностью, но меньшей массой. Кроме экономических соображений, выбор волокна обуславливается тем, какими свойствами должна обладать конструкция для соответствия заданным требованиям [1, 2]. Ранние исследования о возможности замены отходами стеклосетки других волокон в бетоне показали, что получаемый прочный бетон является перспективным строительным материалом [3, 4].

Отходами производства ОАО «Полоцкстеловолокно» являются обрезки щелочестойкой стеклосетки ССШ-160(100)-1800/1800 (рис. 1). Основные характеристики волокна представлены в таблице 1.



Рисунок 1. – Отходы производства щелочестойкой стеклосетки ССШ-160(100)-1800/1800