

По результатам испытаний можно сделать вывод о том, что признаки неравномерности изменения объёма начали проявляться в составах 4, 5, 10 (добавление более 15 % пылеватых гранитных отсевов). На лепешках из этих составов наблюдаются трещины усадки, а также заметно разрушение по краям.

По результатам выполненных исследований можно сделать вывод о том, что гранитные отсевы РУПП «Гранит» можно разделить на 3 фракции: пыль (частицы менее 0,14 мм), песок (частицы от 0,14 до 5 мм), щебень (частицы крупнее 5 мм). Для преобладающей в отсеве фракции 0,14 – 5 мм (82,92 % от общей массы отсева) выполнены исследования, в результате которых было установлено, что данную фракцию по модулю крупности можно отнести к крупным пескам. Поверхность частиц гранитного отсева имеет более развитую структуру, что способствует лучшему сцеплению с цементным камнем и получению цементных материалов с улучшенными прочностными характеристиками.

The results of the study it can be concluded that the granite waste of company "Granite" can be divided into 3 fractions: dust (particles less than 0.14 mm), sand (particles from 0.14 to 5 mm), gravel (particle larger than 5 mm). For a predominant fraction waste (particles from 0.14 to 5 mm) performed studies which resulted it was found that this size fraction modulus can be attributed to the large sand.

Список литературы

1. Бусел, А. В. Активация крупного заполнителя — резерв экономии цемента и повышения прочности тяжелого бетона / А. В. Бусел, Т. А. Чистова, В. В. Киселев // Технология бетонов. – 2010. – № 11(12). – С. 31 – 33.
2. Щебень и гравий из плотных горных пород и отходов промышленного производства для строительных работ. Методы физико-механических испытаний: ГОСТ 8269.0 – 97. – Введ. 22.04.1998 (с отменой ГОСТ 8269 – 87). – Минск: Министерство архитектуры и строительства, 1998. – 64 с.
3. Породы горные скальные для производства щебня для строительных работ. Технические требования и методы испытаний: ГОСТ 31436 – 2011. – Введ. 01.10.2012. – Москва : Стандартинформ, 2012. – 16 с.
4. Горностаева, Т. А. Мелкозернистые бетоны с использованием отсевов дробления щебня изверженных горных пород: дис. канд. техн. наук. – Москва, 2005. – 236 с.
5. Методы испытания цемента. Часть 3. Определение сроков схватывания и равномерности изменения объема : СТБ ЕН 196 – 3 – 2007. – Введ. 27.02.2007 (с отменой СТБ ЕН 196 – 3 – 2000). – Минск : Беларус. гос. ин – т стандартизации и сертификации, 2007. – 14 с.
6. Федорович, П. Л. Эффективность использования технологических гранитных отсевов РУПП «Гранит» в цементных бетонах / П. Л. Федорович, А. В. Смоляков, Э. И. Батыновский. – Брест: БрГТУ, 2014. – Ч. 2. – С. 195–203.
7. Песок для строительных работ. Технические условия: ГОСТ 8736 – 93 – Введ. 01.07.95 – Москва: Межгосударственная научно – техническая комиссия по стандартизации и техническому нормированию в строительстве, 1995. – 24 с.

УДК 691.544: 666.97:546

М. В. ВАСИЛЕВСКАЯ, Н. В. ЛЕВЧУК

ВЛИЯНИЯ ФИБРЫ НА ФОРМИРОВАНИЕ ПОРОВОЙ СТРУКТУРЫ ЦЕМЕНТНОГО КАМНЯ В БЕТОНЕ

В статье представлен краткий литературный анализ процессов формирования структуры порового пространства цементного камня, влияния высокодисперсных волокнистых наполнителей (фибры) на процессы структурообразования, проницаемость и прочностные характеристики бетона. Рассмотрен механизм переноса воды и растворенных в ней агрессивных электролитов вглубь цементной матрицы. Выполнены испытания на пористость бетонных образцов на основе напрягающего цемента трех составов. Анализ результатов испытаний позволил выявить наиболее важные параметры структуры бетона для дальнейшего изучения коррозионных процессов цементных и бетонных образцов с модифицирующими добавками в моделируемых сульфатных средах.

Введение. В настоящее время новые химические и биологические технологии, внедряемые в производственные процессы в зарубежной и отечественной промышленности, приводят к росту числа предприятий с агрессивными технологическими средами. Значительная часть возведенных из бетона и железобетона зданий и сооружений подвергается в период эксплуатации действию агрессивных сред, которые могут вызвать коррозионные повреждения в связи с неточностью проектирования, использованием неправильно подобранных материалов, ошибок в выборе количественного состава и т.д. В связи с этим актуальной остается проблема структурообразования и долговечности бетона на основе полимерных вяжущих материалов.

Процессы структурообразования цементных композитов и бетонов на их основе. Бетон классифицируется как многокомпонентный, искусственно полученный камень, свойства которого

формируются в процессе его изготовления и твердения. Устойчивость бетона к компонентам окружающей среды в процессе эксплуатации во многом зависит от состава бетона и свойств материалов, из которых он изготовлен. Большое внимание уделяется свойствам цемента, образующего в процессе гидратации цементного камня.

Цементный камень представляет собой полиминеральный сросток с высокой степенью химической активности и развитой внутренней поверхностью. Капиллярно-пористая структура цементного камня в бетоне определяет интенсивность взаимодействия между внешней средой и бетоном. Коррозионные процессы начинаются на поверхности раздела внешней среды и бетона и развиваются в глубине материала – в порах и капиллярах. Пористая структура цементного камня способствует проникновению жидкостей или газов в бетон, поэтому характер и размер коррозионных повреждений будет зависеть от проницаемости бетона. Проницаемость бетона является функцией его структуры [1].

Предложено [2] рассматривать следующие уровни сложности структуры бетона.

Первичный – атомно-молекулярный уровень структуры компонентов составляющих бетон. На этом уровне проявляются такие свойства, как растворимость в воде, способность реагировать с водой, реакционная способность по отношению к различным химическим соединениям.

Второй уровень – уровень первичных частиц (микросталлов), или аморфных частиц. На этом уровне появляется поверхность раздела фаз и проявляется такое свойство как адсорбционная способность поверхности. Поверхностная энергия частиц цементного камня влияет на их поведение по отношению к жидкостям различной полярности, т.е. возникает представление о водостойкости компонентов структуры цементного камня.

Третий уровень сложности структуры бетона характеризуется появлением новообразований и порового пространства. В свою очередь пористость – важная характеристика стойкости цементных материалов, поскольку именно в поровом пространстве развиваются коррозионные процессы.

Четвёртый уровень – уровень элементов конструкций. На этом уровне сложности в их поведении в агрессивных средах проявляется влияние таких факторов, как размеры конструкции, образование неравномерного поля напряжений из-за различной скорости коррозионных процессов в разных частях конструкций. На данном этапе на развитие коррозии влияет совместная работа бетона и арматуры, силовые воздействия на конструкцию и условия контакта поверхности конструкции с окружающей средой.

В структуре порового пространства бетона в зависимости от локализации выделяют три вида пор: поры цементного камня, поры заполнителя и контактные поры на поверхности раздела цементного камня и заполнителя. Кроме пор, образующихся при затворении цемента, могут появиться поры из – за вовлечения воздуха при перемешивании смесей и недостаточного уплотнения [1, 2]. Такая структура цементного камня позволила В. Н. Юнгу образно назвать его «микробетоном». По представлениям И. А. Рыбьева [3], подобные структуры являются конгломератными.

Чрезвычайно широк диапазон размеров пор. При этом группы пор различают по состоянию и проведению в них воды.

1. Ультрамикропоры с радиусом меньше 50 ангстрем (Å). В таких порах вода находится под действием молекулярных поверхностных сил твердой фазы.

2. Переходные – микропоры с радиусом 50 – 1000 Å . Проницаемость порового пространства при различных физико-химических воздействиях зависит от количества воды в порах. Объем воды, содержащейся за счет поверхностных сил твердой фазы, соизмерим с объемом воды, заполняющей поры.

3. Микропоры с радиусом более 0,1 мкм, в которых основное количество воды, за исключением адсорбционного слоя, свободно. Такие поры являются основными путями перемещения жидкой и газообразной фаз в бетоне [4].

В бетоне необходимо учитывать распределение пор не только по размерам, но и по характеру пористости: замкнутая, капиллярная, сквозная.

Имеющиеся многочисленные результаты исследований по взаимосвязи прочность – пористость по – разному классифицируют ранги пор. Для оценки отдельных рангов пор в формирование свойств цементного камня принята классификация, предложенная В.С.Данюшевским и К.А. Джабаровым, с дополнением по А.В. Лыкову и М.М. Дубинину – делением рангов капиллярных пор на микрокапиллярные с радиусом до 100 нм (0,1 мкм) и макрокапиллярные с радиусом больше 100 нм (таблица 1) [5].

Формирование структуры цементных композитов и бетонов на их основе происходит на всех этапах жизненного цикла от материала до конструкции. Для достижения гарантированных прочностных и эксплуатационных показателей необходимо учитывать физико-химические и механические факторы на стадии гидратации и твердения цемента.

Процесс формирования цементного камня является сложным и многообразным. В настоящее время нет общепризнанной научной теории, которая исчерпывающе объясняла бы механизм образования новых соединений и твердение растворов из вяжущих при их взаимодействии с водой.

Теории твердения и формирования прочности цементного камня получили развитие в работах М.М. Сычева, А.А. Байкова, О.П. Мчедлова – Петросяна, В.В. Тимашева, И.П. Выродова, Д. Джеффри, Р. Кондо,

В.Б. Рагинова, Ю.М. Бутга, А.Ф. Полака, Е.Д. Щукина, О.И. Лукьяновой, В.В. Капранова, А.Ф. Щурова, М.А. Сорочкина др.

Таблица 1 – Классификация пор в цементном камне

Вид пор в цементном камне	Интервал по диаметру, нм	Характерные диаметры, нм	Природа образования
гелевые	до 20	4	между гидросиликатами кальция ГСК (С – S – Н)
промежуточные	20÷50	30 – 40	между крупно – кристаллическими продуктами
капиллярные:	50÷2000		не заполненные поризованными продуктами гидратации
– микро	50÷200	60 – 80	
– макро	200÷2000	300, 1400	
макропоры	$(100\div 1000)\cdot 10^3$		вовлечённый воздух

Академик П.А. Ребиндер в зависимости от характера связей контактируемых частиц, составляющих матричную часть структуры конгломерата (бетонного композита) выделяет индукционный (коагуляционный), конденсационный и кристаллизационный процессы структурообразования. В индукционный период действуют сравнительно слабые силы молекулярного взаимодействия – ванн-дер-ваальсовы силы молекулярного сцепления отдельных зерен матричного вещества. Характерной особенностью коагуляционной структуры цементного теста является ее тиксотропность, т. е. способность обратимо разрушаться (разжижаться) при механических воздействиях (перемешивание, встряхивание и т. д.). Конденсационная структура возникает при непосредственном химическом взаимодействии частиц матрицы под влиянием ионных и ковалентных связей. В кристаллизационный период происходит рост зародышей новой фазы и увеличение количества взаимных контактов срастания кристаллов в прочный агрегат под влиянием химических связей. Не исключено образование смешанных структур, как совокупности двух или трех однородных, например кристаллизационно – коагуляционной структуры и т.п. [3].

Существуют разные точки зрения на механизм реакций образующихся кристаллов в цементной матрице с водой. Не имеется, в частности, общего взгляда на особенности «сквозьрастворного» и «топохимического» механизма твердения. А.В. Волженский считает, что процессы гидратации могут протекать как топохимически, так и через водную среду путем растворения клинкерных фаз. Большое значение он придает не только степени гидратации, но и дисперсности гидратных новообразований и их концентрации в единице объема, как факторам, определяющим прочность цементного камня.

Общая пористость цементного камня во многом будет зависеть от водоцементного значения В/Ц. С увеличением В/Ц от 0,35 до 0,7 пористость будет занимать от 25 до 50 % общего объема образовавшегося цементного камня. В первые минуты гидратации цементного материала в электронном микроскопе можно наблюдать образование цементного геля. Цементный гель, состоящий из гидросиликатов кальция с исключительно высокой дисперсностью, имеет удельную поверхность примерно в 1000 раз больше удельной поверхности исходного цементного материала. Объем, занимаемый цементным гелем, почти в 2,2 раза больше объема исходного цементного материала; его пористость достигает 28 % при размере пор 20 – 40А° и толщине стенок около 100А°. Пористость геля объясняется ростом частиц в случайных направлениях из произвольно расположенных исходных точек.

В цементном камне кроме геля с характерными для него порами есть и капиллярные поры, которые при твердении в нормальных влажностных условиях заполнены водой. Капилляры преимущественно связаны между собой порами геля. В цементном камне имеются и воздушные поры [6].

Обобщая теории твердения многочисленных исследователей, можно представить следующий механизм твердения цемента.

При смешении цемента с водой (процесс затворения), на начальной стадии протекают реакции гидратации. Гидратация цемента является частным случаем сольватации и представляет собой процесс взаимодействия веществ с водой, при котором молекулы воды, присоединяются к веществу, не разрушая кристаллическую структуру последних. В реакцию гидратации интенсивно вступают алюминаты и алюмоферриты кальция, благодаря более высокой константе скорости растворения по сравнению с силикатными составляющими цемента: алитом C_3Si белитом C_2S . Раствор становится пересыщенным по отношению к конечному продукту и из него на поверхности зерен клинкера и в объеме раствора образуются иглообразные кристаллы в виде гексагонально усеченных пирамид гидроалюминатов и гидроферритов кальция различного состава $xCaO \cdot yAl_2O_3 \cdot mH_2O$ и $xCaO \cdot yFe_2O_3 \cdot mH_2O$.

Через некоторое время в системе накапливается достаточно много кристаллогидратов и образуются «стесненные» условия, приводящие к образованию коагуляционной структуры, которая по мере накопления гидроалюминатов переходит в кристаллизационную. Новообразования появляются, как

правила, в поровом пространстве цементного камня. Цементный раствор, бывший до этого пластичным, начинает терять подвижность и набирать прочность.

Продукт гидратации алюмината и алюмоферрита кальция –шестиводный гидроалюминат кальция в присутствии гипса образует гидросульфалоюминат кальция трехсульфатной формы по реакции:



Это соединение называется этtringитом и для него характерно сильное приращение объема и высокая удельная поверхность. Быстрообразующийся этtringит покрывает зерна клинкерных минералов, затрудняя к ним доступ воды. Процесс гидратации замедляется. После того, как весь гипс израсходуется на химическую реакцию и концентрация ионов в растворе понижается этtringит становится термодинамически неустойчивым и переходит в моносльфатную форму гидросульфалоюмината кальция. Доступ воды к минералам клинкера открывается и процесс гидратации интенсифицируется.

В оставшемся объеме одновременно с алюминатной, но со значительно меньшей скоростью, возникают продукты гидратации силикатных клинкерных минералов алита и белита, называемые гидросиликатами кальция. Последние образуют чрезвычайно тонкопористый ворс из очень малых кристаллов, так называемую силикатную структуру. В общей гелевидной массе размещаются также непрореагировавшие остатки цементных зерен и относительно крупные кристаллы гидроксида кальция $\text{Ca}(\text{OH})_2$ некоторых других новообразований.

Влияние силикатной структуры на прочность твердеющего цементного камня со временем все более увеличивается. Она уже является собственно носителем прочности цементного камня и приблизительно через сутки начинает преобладать над алюминатной. Через месяц в цементном камне обнаруживается практически только силикатная структура. К этому времени процесс гидратации не заканчивается и в ряде случаев может продолжаться годами за счет неиспользованного клинкерного фонда цемента [7].

Большое влияние при формировании структуры порового пространства оказывают не только результаты внутренних процессов, но и изменения влажности и температуры внешней среды.

Капиллярно – пористая структура цементного камня способствует пропусканию жидкостей и газов в бетон под действием различных факторов. Показателем интенсивности переноса является коэффициент проницаемости – количество жидкости или газа, которое проникает через единицу сечения материала за единицу времени при градиенте (отношении напора метра водяного столба к длине пути, см/сек), равном единице. В зависимости от размера проникающих частиц и порового пространства выделяют три механизма переноса флюида (таблица 2).

Таблица 2 – Влияние радиуса пор на механизм переноса

Радиус пор, см	Коэффициент проницаемости, см/сек	Механизм переноса
Менее 10^{-5}	Менее 10^{-8}	Молекулярная диффузия
$10^{-5} - 10^{-3}$	$10^{-8} - 10^{-7}$	Молекулярный поток
Более 10^{-3}	Более 10^{-7}	Вязкостный поток

В цементном камне, растворе или бетоне механизм переноса будет комбинированный.

Цементный камень как капиллярно – пористое тело, соприкасаясь с водным раствором, насыщается жидкостью в результате действия капиллярных сил. При этом устанавливается равновесие между жидкостью, находящейся в порах и окружающей твердое тело. Если водный раствор содержит в растворенном состоянии агрессивные по отношению к цементному камню соединения, т.е. соединения, способные к взаимодействию с составляющими цементного камня с нарушением прочности последнего, то происходит нарушение равновесия из-за процессов адсорбции внутри порового пространства и химического взаимодействия с материалом стенок пор.

Диффузионные явления играют важную роль в процессах коррозионного разрушения бетона и железобетона, омываемых грунтовыми или поверхностными природными водами, или при насыщении водой. Суммарный процесс проникновения агрессивных ионов внутрь цементного камня и скорость накопления в них соединений цементных минералов с этими ионами будет зависеть от процессов внешней диффузии – подвод и отвод к поверхности агрессивной среды, и внутренней диффузии ионов электролита в порах цементного камня. Как правило, определяющим фактором скорости коррозионных процессов в бетоне является скорость внутренней диффузии.

За последние десятилетия закономерности протекания коррозионных процессов, а также кинетические параметры разрушений при взаимодействии жидких агрессивных сред и бетона были установлены, такими учеными – исследователями, например, как Т.В. Рубецкая, Г.В. Любарская, А.Ф. Полак [1]. Но на практике расчет интенсивности коррозионных процессов следует проводить на основе анализа цементного материала, пористости бетона и размера пор, механизма переноса агрессивной среды, условий окружающей среды, концентраций и длительности действия растворов, соприкасающихся с поверхностью бетона.

Кроме того, на процессы структурообразования цементных композитов и бетонов на их основе оказывают влияние различные модифицирующие добавки. Особое внимание в настоящее время уделяется добавкам из микрофибры. Высокодисперсные волокнистые наполнители, в качестве которых используется в основном полимерная, стальная или базальтовая фибра, в цементных композициях оказывают положительное влияние на процессы структурообразования, прочность наполненных бетонов и другие физико – механические и эксплуатационные свойства бетона.

Микрофибра при участии в процессах гидратации цементного камня имеет способность частично занимать внутриволокнистые пространства и тем самым, уменьшая количество отверстий, контролировать перемещение свободной воды в бетоне. Каждое отдельное волокно фибры в процессе созревания бетона «разрастается» в преимущественном направлении расположения конкретного волокна, усиливая эффекты дисперсного армирования. При этом возникновение кристаллического сростка цементного камня в стесненных условиях на границе раздела между матрицей и волокнами может привести также [8] к трансформации конфигурации этого сростка, в том числе к направленной геометрии распределения кристаллов (направленной кристаллизации) в структуре сростка и, как следствие, к возникновению «эффекта самоармирования» бетонной матрицы.

Способность фибры контролировать перемещение свободной воды в бетонной смеси уменьшает возможность сегрегации мелких частиц цементного вяжущего и заполнителя в период затворения, а также обеспечивает более эффективное сцепление цементного раствора, тем самым снижая проницаемость бетонов для водорастворимых агрессивных ионов.

С применением фиброармированных смесей на цементном вяжущем повышается трещиностойкость бетонных композитов. Повышенная трещиностойкость связана с поверхностью раздела фаз в структуре композиционных материалов. Установлено, чем меньше диаметр волокон, чем больше их объемное содержание, тем больше поверхность их контакта с бетонной матрицей, что способствует сохранению большей внутренней прочности бетона [5].

Важнейшими характеристиками волокон фибры является повышенная прочность на разрыв, а также низкий модуль упругости по сравнению с модулем упругости цементной матрицы бетона. Низкомодульные волокна снижают внутренние напряжения, возникающие в композиции в процессе твердения массы бетона, что в свою очередь приводит к существенному снижению образования усадочных микротрещин, которые со временем имеют тенденцию перерастать в макротрещины.

Исследования, проводимые многими учеными в различных странах, убедительно доказывают, что бетоны, армированные волокнами различного происхождения, имеют более высокие физико – механические характеристики.

В лабораторных условиях проводились испытания на пористость бетонных образцов размерами 5×5×5, приготовленных на основе напрягающего цемента трех составов:

- 1) портландцемент марки М500 Д0 (75 %), метакалин (13 %), гипс (12 %), вода (33,5 %);
- 2) портландцемент марки М500 Д0 (75 %), метакалин (13 %), гипс (12 %), вода (33,5 %); базальтовая фибра из расчета 1,5 кг на 1 м³ бетонной смеси;
- 3) портландцемент марки М500 Д0 (75 %), метакалин (13 %), гипс (12 %), вода (33,5 %); базальтовая фибра из расчета 1,5 кг на 1 м³ бетонной смеси. Образцы данного состава пребывали в сульфатной агрессивной среде с концентрацией сульфат-ионов не более 2000 мг/л в течение 5 месяцев.

Для этого экспериментальным путем определялись масса и объем бетонных образцов в естественном состоянии, масса и объем бетонных образцов в абсолютно плотном состоянии и соответственно математическим путем вычислялись средняя и истинная плотность материала. Пористость бетонных образцов рассчитывалась как зависимость средней плотности от истинной по формуле 1:

$$\Pi = \left(1 - \frac{\rho_c}{\rho}\right) \cdot 100\%, \quad (1)$$

где Π – пористость, %; ρ_c – средняя плотность материала, г/см³; ρ – истинная плотность материала, г/см³.

Результаты испытаний представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Определение пористости бетонных образцов

Состав бетонного образца	Истинная плотность, г/см ³	Средняя плотность, г/см ³	Пористость, %
Первый состав	2,755	2,270	17,6
Второй состав	2,225	2,433	8,50
Третий состав	2,120	2,250	5,62

Анализируя полученные результаты можно сделать следующие выводы:

1. При добавлении армирующей добавки уменьшается пористость цементного камня бетона.

2. Пористость уменьшается у образцов, выдержанных в агрессивной сульфатной среде в течение 5 месяцев. Можно предположить, что в поровом пространстве, занимаемом микрофиброй, замедлятся процесс накопления крупных кристаллов гидроксида кальция, гипса и некоторых других новообразований.

Заключение. Анализ экспериментального материала и результатов исследований пористости цементных материалов позволил выделить основные параметры, влияющие на прочностные характеристики бетонов. Транспортировка и распределение жидких агрессивных ионов в бетонной конструкции во многом зависят от условий окружающей среды, в основном от концентрации и длительности действия растворов, соприкасающихся с поверхностью бетона. Кроме этого уровень и количество поглощения жидкостей и растворенных в них газообразных веществ связаны с градиентами влажности, присутствующими в бетонной матрице, с пористостью бетона и размером пор, а также с химическими свойствами затвердевшего цемента.

Высокодисперсные волокнистые наполнители (фибра) в цементных композициях оказывают положительное влияние на процессы структурообразования, прочность наполненных бетонов и другие физико – механические и эксплуатационные свойства бетона.

The article presents a brief literary analysis of the processes of formation of structure of pore space of cement paste, the influence of fine fiber fillers (fiber) on the processes of structure formation, permeability and strength characteristics of concrete. The mechanism of transport of water and dissolved aggressive electrolyte into a cement matrix. Executed tests on porosity of concrete samples on the basis of straining cement three compositions. Analysis of test results allowed to identify the most important parameters of the concrete structure for further study of corrosion processes of cement and concrete samples with modifying additives of sulfate in simulated environments.

Список литературы

1. Коррозия бетона и железобетона, методы их защиты / В.М. Москвин [и др.]. – М.: Стройиздат, 1980. – 536 с.
2. Иванов, Ф.М., Солнцева, В.Л. Структура и свойства цементного раствора // Бетон и железобетон. – 1962, № 5. – С. 233 – 237.
3. Материаловедение в строительстве: учебное пособие для студентов высших учебных заведений / И.А. Рыбьев [и др.]. – 2 – е изд. испр. – М.: Издательский центр «Академия», 2007. – 528 с.
4. Волженский, А.В. Минеральные вяжущие вещества: технология и свойства. Учебник для вузов / А.В. Волженский, Ю.С. Буров, В.С. Колокольников. – 3 – е изд. перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1979. – 476 с.
5. Сахибгореев, Р.Р. Управление процессами структурообразования модифицированных цементных бетонов [Электронный ресурс] // URL: <http://tekhnosfera.com/view/338475/a/#?page=5> (дата обращения 09.01.2016)
6. Рояк, С.М. Специальные цементы. Учебное пособие для вузов. 2 – е изд. перераб. и доп. / С.М. Рояк, Г.С. Рояк. – М.: Стройиздат, 1983. – 279 с.
7. Строительное материаловедение: учеб. пособие / В.А. Невский [и др.]. – Ростов н/Д: Феникс, 2010. – 588с.
8. Технология дисперсного армирования дисперсных композитов [Электронный ресурс] // URL: <http://www.volokno.su/department/technology-reinforcing/?template=85> (дата обращения 12.12.2015).

УДК 624.012.45/46

А. А. ВАСИЛЬЕВ

КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ И КОНСТРУКЦИЙ С УЧЕТОМ КАРБОНИЗАЦИИ БЕТОНА

На основании результатов многолетних исследований карбонизации лабораторных образцов бетона и образцов, отобранных из эксплуатируемых длительные сроки в различных атмосферных средах, железобетонных элементов (ЖБЭ) и конструкций (ЖБК) получены зависимости изменения защитных свойств бетона по отношению к стальной арматуры от степени карбонизации бетона и предложены количественные критерии качественной оценки состояния бетона, его защитных свойств и технического состояния ЖБЭ и ЖБК с учетом карбонизации бетона.

Основную долю конструкций зданий и сооружений, эксплуатируемых в настоящее время, составляют железобетонные элементы и конструкции различных типов. Никакой другой материал так широко не используется во всех отраслях, как бетон и железобетон. Так, в индустриально развитых странах на одного жителя затрачивается в год до 2 м³ бетона и железобетона [1]. Массовость, значимость, экономичность этих материалов, изделий и конструкций из них позволили реализовать стремление прогрессивных архитекторов создать как массовое производство жилых и промышленных зданий, так и индивидуальных зданий и сооружений. И именно, состояние бетона и железобетона, определяет, в первую очередь, техническое состояние и долговечность в целом подавляющего большинства эксплуатируемых зданий и сооружений.