

необходимые параметры бетона в раннем возрасте. Эта модель включает воздействие температуры окружающей среды и также время твердения и тип твердения бетона. Математическую модель для расчета коэффициента K по модели De Sitter, можно применять при $V/C = 0,39-0,6$. Сравнение результатов глубины карбонизации бетона автодорожных мостов и путепроводов в Беларуси с течением времени с математическими моделями согласно Schiessel, De Sitter, Boba, Papadakis, показало, что экспериментальные значения не выходят за границы расчетных моделей, что говорит о возможности использования этих математических моделей.

Сравнение расчетных значений с измеренной глубиной карбонизации подтверждает возможность использования формулы для расчета глубины карбонизации, выведенной из уравнения, описывающего полный вероятностный расчетный метод для коррозии карбонизации в бетоне без трещин.

Выведено уравнение для расчета скорости карбонизации бетона за время t из уравнения, описывающего полный вероятностный расчетный метод для коррозии карбонизации в бетоне без трещин. Рассчитана продолжительность периода распространения до разрушения конструкции.

Reinforcement corrosion leading to cracking, spalling and collapse depend to a high extent on the environment at the concrete surface. In the article the process of reinforcement corrosion divided into two time periods: initiation periods and propagation period. Assessing corrosion rate of carbonation.

Список литературы

1. Найчук, А.Я. Подходы к формированию концепции нормативных документов, регламентирующих вопросы долговечности в строительстве / А.Я. Найчук, С.Н. Леонович, Б.Г. Холодарь, В.Н. Деркач // Перспективы развития новых технологий в строительстве и подготовке инженерных кадров Республики Беларусь: сб. тр. 6-го международного научно-методического семинара; под ред. Н.П. Блещика, А.А. Борисевича, Т.М. Пецольда. – Минск: Технопринт, 2000.
2. DuraCrete - Probabilistic Performance Based Durability Design of Concrete Structures: Statistical Quantification of the Variables in the Limit State Functions. Report No.: BE 95-1347, pp. 62-63, 2000.
3. DARTS - Durable and Reliable Tunnel Structures: Deterioration Modelling, European Commission, Growths 2000, Contract GIRD-CT-2000-00467, Project GrDI-25633, 2004.
4. DARTS - Durable and Reliable Tunnel Structures: Data, European Commission, Growths 2000, Contract GIRD-CT-2000-00467, Project GrDI-25633, 2004.
5. Schiessel, P.: Zur Frage der zulässigen Rissbreite und der erforderlichen Betondeckung im Stahlbetonbau unter besonderer Berücksichtigung der Karbonatisierung des Betons. Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, Heft 255, Berlin, 1976.
6. Siemens, A/ - Vrouwenvelder, A. – Beukel, A. Van den.: Durability of buildings and reliability analysis. Heron 30, 1985.
7. Bob, C.: Some Aspects Concerning Corrosion of Reinforcement. Proceedings: The Protection of Concrete. Dundee, 1990.
8. Papadakis, V.G. – Fardis, M. N. – Vayenas, G. G.: Effect of composition, Environmental Factors and Cement-line Mortar Coating on Concrete Carbonation. Materials and Structures, Vol. 25, 1992.
9. Чернякевич, О.Ю. Долговечность железобетонных конструкций в условиях коррозии карбонизации в бетоне без трещин / О.Ю. Чернякевич, С.Н. Леонович // Проблемы современного бетона и железобетона. Сборник 2. Технология бетона. – Минск: НП ООО «Стринко», 2007. – С. 316 – 326.
10. Tuutti, K.: Corrosion of Steel in Concrete. Stockholm: Swedish Cement and Concrete Research Institute. In: CBI Research № Fo 4:82, 1982.
11. ISO 2394, таблица E.1. – 1998.
12. Eurocode 0. Basis of structural design: EN 1990:2001. – Brussels: European Committee for Standardization, 2001.
13. Petersson, P.E. :(2004) A service life model for scaling resistance of concrete – reflections. Contribution to fib task group 5.6, Lund, October, 2004.
14. Bamforth, P.B.: Enhancing reinforced concrete durability /З.В. Bamforth // Technical Report no 61: 2004, published by the Concrete Society, www.concrete.org.uk.

УДК 666.97; 693.54

С. ЭГБАЛНИК, Э.И. БАТЯНОВСКИЙ, В.И. КОВАЖЕНКОВА, А.А. ШМАКОВ

ЗАЩИТА ТВЕРДЕЮЩЕГО БЕТОНА УПЛОТНЯЮЩИМИ СТРУКТУРУ СОСТАВАМИ

В статье приведены данные исследований эффективности первичной защиты бетона, твердеющего в воздушно-сухих условиях, путем уплотнения структуры его поверхностного слоя за счет использования химических реагентов, нанесенных на поверхность после формирования.

Введение. Физико-технические свойства тяжелого цементного бетона: прочностные, упруго-деформативные, эксплуатационные (соле-, морозостойкость, истираемость и др.), непосредственно зависят от

качества формирующейся в процессе твердения структуры цементного камня в начальный период твердения бетона. В частности, от условий влагообмена поверхности конструкций с окружающей средой. Особенно, если последняя характеризуется пониженной влажностью при высокой положительной температуре в сочетании с наличием (и ростом) скорости движения воздуха (ветра). Эта проблема существенна как для варианта тепловой обработки сборных изделий с использованием «сухих» теплоносителей, так и для монолитного строительства в летний период года, а также в любой иной, если для ускорения твердения бетона используют разнообразные варианты обогрева, исключая паропрогрев. Среди приемов технологической защиты неопалубленных поверхностей свежееотформованного бетона или после снятия с конструкций опалубки (полив, разнообразные увлажняемые посыпки и гидроизолирующие укрытия, пленкообразующие составы и пр.) практически не получил развития вариант естественной первичной защиты путем уплотнения структуры наружного слоя бетона. Вместе с тем снижение его проницаемости (за счет формирования плотного внешнего слоя цементного камня) не усложняет ведения дальнейших работ (в частности, отделки), не ухудшает сцепления с последующими слоями бетона и может быть достаточно просто реализован путем нанесения (например, распылением) соответствующих химических реагентов на защищаемые поверхности.

Физико-химические основы первичной защиты бетона базируются на физических явлениях массо- или влагопереноса, сопровождающих начальный период твердения цементного бетона, и химическом взаимодействии наносимых на его поверхность веществ с продуктами гидролиза и гидратации клинкерных минералов цемента, в результате которого образуются новые соединения, уплотняющие структуру цементного камня на некоторую глубину. В результате сужаются или коагулируются (закупориваются) «каналы» движения жидкости [1 – 6], снижается или предотвращается испарение воды затворения, чем обеспечиваются условия, благоприятные для твердения цемента и, соответственно, для формирования более плотной и непроницаемой структуры цементного камня и бетона в целом.

Свежееотформованный бетон представляет собой систему, проницаемость которой для химических реагентов связана с наличием объема воды затворения и в частности, той ее части, которая образует пленку некоторой толщины на поверхности бетона в первоначальный период после его укладки. Данное явление связано как с избыточным количеством жидкости по условиям формования, так и с развитием контракционно-седиментационных эффектов во времени [7]. В случае продолжительного сохранения жидкофазной пленки на поверхности бетона возможно нанесение порошкообразных водорастворимых реагентов, с последующим растворением их в воде и диффузией по ее объему вглубь внешнего слоя бетона (точнее, цементного теста). При отсутствии «поверхностной» воды (низкое водоцементное отношение за счет применения качественных пластифицирующих добавок, схватившийся свежееотформованный или после снятия опалубки бетон) целесообразно нанесение химических реагентов в виде водных растворов. Проникновение их в объем формирующейся структуры внешнего слоя цементного камня (бетона) во всех случаях связано как с диффузией ионов растворенных в воде веществ, так и с массопереносом раствора в пористой среде, которую представляет собой цементное тесто, трансформирующееся в цементный камень.

Количественная оценка эффективности обработки бетона, периодичность нанесения и количество химического реагента, глубина и время «пропитки» может быть получена с учетом фильтрационной проницаемости свежееотформованного бетона.

Фильтрационная проницаемость поверхностного слоя свежееотформованного бетона для раствора химических реагентов будет зависеть как от его свойств, как фильтрата, так и от свойств фильтрационной среды, т.е. контактного слоя бетона. Точнее – слоя цементного теста, поскольку при использовании заполнителей плотных горных пород проницаемой (фильтрационной) средой для жидкости и растворенной в ней веществ будет объем, занимаемый цементным тестом, включая его поверхностный слой и слой бетона с включениями зерен заполнителей на некоторую глубину, доступную для распространения ионов (молекул) уплотняющего структуру химического реагента.

В материалах статей авторов [11, 12] на основе фундаментальных представлений фильтрационной гидравлики [8 – 10] предложены зависимости для отражения фильтрационно-диффузионного процесса проникновения раствора (вещества) уплотняющей структуру добавки вглубь контактного слоя обрабатываемого бетона.

На основании закономерностей фильтрационной гидравлики и ряда допущений, в частности, что для фильтрации жидкости без избыточного давления (как это будет иметь место при сорбции твердеющим цементным камнем раствора реагентов в виде уплотняющих структуру добавок) градиент давления (dP/dl) будет иметь «пренебрежительно» малую величину (P_c ; давление, создаваемое силами сорбции); а, кроме этого, приняв условие, при котором раствор реагента, нанесенный на поверхность бетона, при средней скорости движения в порах « W » будет проникать на глубину « l » за время « τ », то есть: $\tau = l/W$, получили зависимость

$$\tau = \frac{1}{\beta} \cdot \frac{\rho_{ж} \cdot \mu_d \cdot l^2}{P_c} \cdot \left(\frac{1 - m_3}{m_3 \cdot d_3} \right)^2, \text{ с, или:} \quad (1)$$

$$\ell = \frac{m_3 \cdot d_3}{1 - m_3} \cdot \sqrt{\frac{\beta \cdot P_c \cdot \tau}{\rho_{жс} \cdot \mu_0}}, \text{ м.} \quad (2)$$

Используя данные работы [11] и результатами исследований Н.П. Блещика и А.Я. Барташевич [12, 13] об усредненном размере (эффективном диаметре частиц (флокул) цемента, $d_3 \sim 11,5$ мкм, толщинах сольватных оболочек жидкости вокруг зерен (флокул) цемента и их взаимосвязи, а также значением эмпирического (экспериментально установленного для цементносодержащих систем) коэффициента $\beta \sim 11,4$, и пренебрегая величиной P_c , формула (2) представлена в следующем виде:

$$\ell \sim 0,04 \varepsilon_{ц.т.} \cdot \sqrt{\frac{\tau}{\rho_{жс} \cdot \mu_0}}, \text{ мм,} \quad (3)$$

где $\varepsilon_{ц.т.}$ – коэффициент «пористости» цементного теста, $\varepsilon_{ц.т.} = m_3 / (1 - m_3)$, дол. ед.

Таким образом, с учетом сделанных допущений глубина проникновения вещества уплотняющей добавки вглубь объема цементного теста связана прямой зависимостью с коэффициентом его пористости и временем, а также обратной – с плотностью и динамической вязкостью раствора-фильтрата, что не противоречит физико-химической сути явления массопереноса. В настоящее время выполняются эксперименты для подтверждения справедливости полученной эмпирико-теоретической зависимости в целом, а также влияния на глубину проникновения химических реагентов характеристик «пористости» цементного теста, времени, свойств фильтрата и применяемых химических веществ, способных вступать в реакции с продуктами гидролиза-гидратации цемента с эффектом уплотнения структуры цементного камня.

Прочность цементного камня. Экспериментальные исследования влияния ряда уплотняющих структуру химических добавок, примененных в варианте защитных составов и наносимых в виде водных растворов различной концентрации на поверхность защищаемого материала, находятся в стадии выполнения.

Направления исследований включают установление закономерностей роста прочности и изменений пористости (проницаемости) цементного камня и тяжелого бетона под влиянием вида химической добавки (ее химического и вещественного состава); концентрации растворов; способа и времени его нанесения; температурных условий твердения бетона; влажности среды твердения; скорости движения воздуха (ветра) и ряда других факторов.

В исследованиях используются традиционно применяемые уплотняющие структуру бетона добавки (например, сульфат алюминия ($Al_2(SO_4)_3$), а также новая отечественная кольматирующая добавка «Сифтом» на основе $MgSiF_6$ (разработка БГТУ, г. Минск, проф. Кузьменков М.И., к.т.н. Хотянович О.Е.) и разрабатываемое вещество «А», которое проходит апробацию в процессе исследований.

На рисунках 1...4 частично представлены результаты экспериментальных исследований, отражающих наиболее характерные и общие закономерности изменений прочности цементного камня и его водопоглощения по массе, в зависимости от ряда факторов. Данные приведены для ПЦ М500-Д20, удовлетворяющего стандартным требованиям. Образцы цементного камня (20x20x20 мм) были изготовлены из теста нормальной густоты ($K_{нг} \sim 0,28$); во всех случаях данные приведены для добавки «Сифтом» (№ 1).

Данные рисунок 1 и рисунок 2 относятся к оценке прочности и пористости (открытой, капиллярной, сообщающейся), определяемой по величине водопоглощения для начального периода твердения цементного камня. На рисунках 1 и 2 отражена тенденция изменений прочности и водопоглощения цементного камня твердевшего 24 ч при температуре 40...50°C, относительной влажности воздуха $\phi \sim 45...50$ % при скорости ветра: $V_v = 0$, м/с.

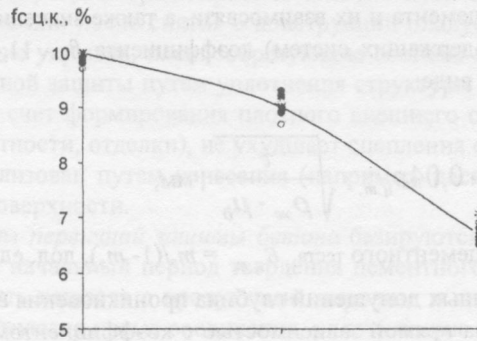
На рисунках 3 и 4 приведены данные, относящиеся к образцам цементного камня, твердевшего 28 сут в воздушно-сухих условиях при температуре 20 ± 3 °C и $\phi \sim 60...65$ %, при прочих равных (с данными рисунок 1 и 2) условиях.

Анализ приведенных результатов исследований (относящихся к одному из проверяемых в качестве уплотняющей добавки веществ – «Сифтом») свидетельствует о наличии общего положительного эффекта от варианта защиты твердеющего цементного камня (бетона) путем уплотнения его поверхностного слоя.

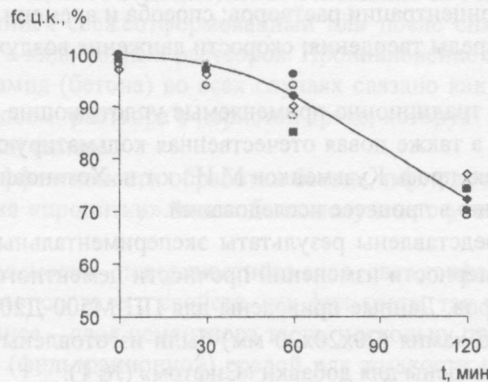
При этом прослеживается тенденция роста прочности цементного камня (снижения его пористости) в зависимости от периода времени до нанесения защитного состава и от "качества" обработки (в частности, количества раз нанесения). Этот эффект проявляется в начальные (1...3 сут.) сроки твердения бетона, сохраняется в промежуточном возрасте (7...14 сут.), а также в проектном (28 сут.) и более позднем возрасте (до 80...180 сут.). Среди проверяемых составов для обработки бетона наиболее эффективным оказался разрабатываемое вещество "А". Сохраняя общие закономерности влияния на свойства твердеющего цементного камня, характерные для

приведенных данных по "Сифтому", уровень роста прочности (снижения водопоглощения) цементного камня значительно выше. Установлено, что эффективность роста рассматриваемого варианта защиты бетона сохраняется и при воздействии "сухого" ветра (проверено до скорости движения воздуха ≤ 20 м/с).

а)



б)



а) – от наличия и «качества» гидроизоляции;

б) – в зависимости от времени нанесения защитного состава

Рисунок 1 – Тенденция изменений прочности цементного камня при сухом прогреве ($t=40...50$ °С 24 часа

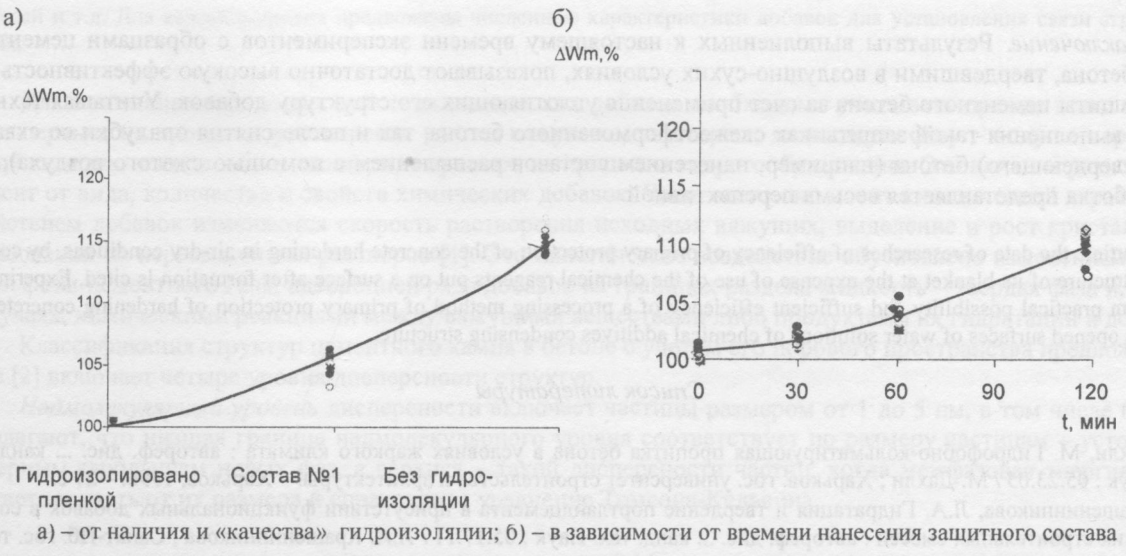


Рисунок 2 – Тенденция изменений водопоглощения цементного камня при сухом прогреве ($t=40\dots50$) $^{\circ}\text{C}$ 24 часа

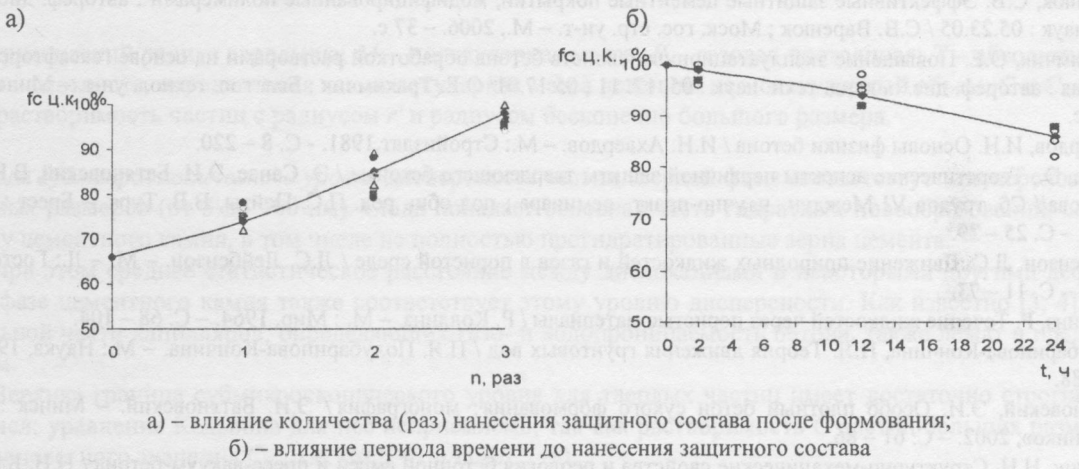


Рисунок 3 – Тенденция изменений прочности цементного камня в возрасте 28 суток воздушно-сухого твердения

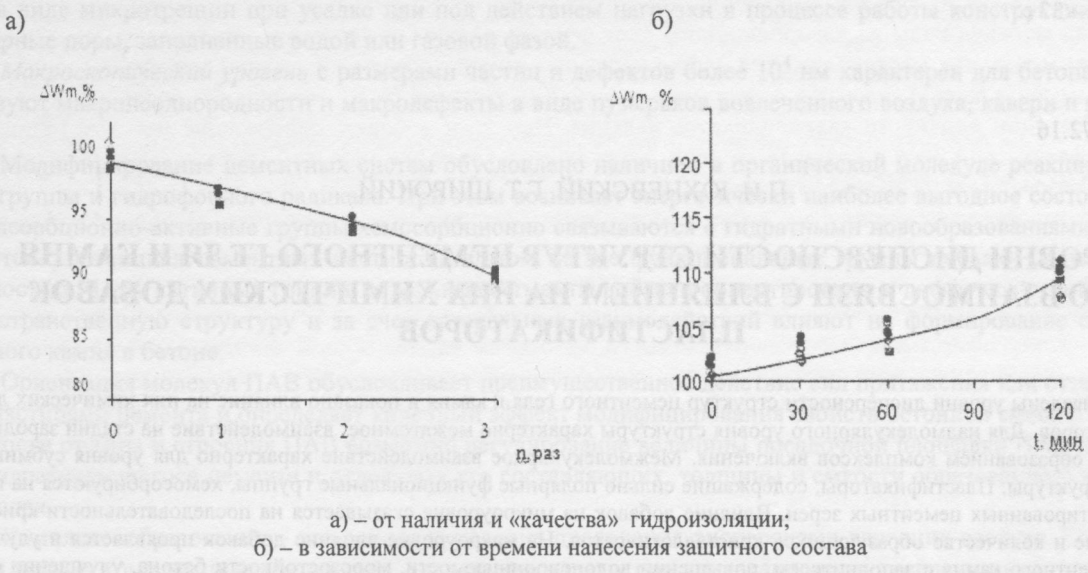


Рисунок 4 – Тенденция изменений водопоглощения цементного камня при сухом прогреве ($t=40\dots50$) $^{\circ}\text{C}$ 24 часа

Заключение. Результаты выполненных к настоящему времени экспериментов с образцами цементного камня и бетона, твердевшими в воздушно-сухих условиях, показывают достаточно высокую эффективность первичной защиты цементного бетона за счет применения уплотняющих его структуру добавок. Учитывая технологичность выполнения такой защиты как свежетоформованного бетона, так и после снятия опалубки со схватившегося (твердеющего) бетона (например, нанесением составов распылением с помощью сжатого воздуха), данная разработка представляется весьма перспективной.

In article the data of researches of efficiency of primary protection of the concrete hardening in air-dry conditions, by consolidation of structure of its blanket at the expense of use of the chemical reagents put on a surface after formation is cited. Experimental data confirm practical possibility and sufficient efficiency of a processing method of primary protection of hardening concrete with drawing on opened surfaces of water solutions of chemical additives condensing structure.

Список литературы

1. Дахли, М. Гидрофобно-кольматирующая пропитка бетона в условиях жаркого климата : автореф. дис. ... канд. тех. Наук : 05.23.05 / М. Дахли ; Харьков. гос. университет строительства и архитектуры. – Харьков, 1996. – 21 с.
2. Крашенинникова, Л.А. Гидратация и твердение портландцемента в присутствии функциональных добавок в составе сухих строительных смесей : автореф. дис. ... канд. тех. Наук : 05.17.11 / Л.А. Крашенинникова ; Санкт-Пб. гос. технол. институт. – Спб., 1999. – 18 с.
3. CPI - Concrete Plant International = CPI - Международное бетонное производство: журнал: рус. Изд. - 2008, август, № 4. - с. 40.
4. Варенюк, С.В. Эффективные защитные цементные покрытия, модифицированные полимерами : автореф. дис. ... док. тех. наук : 05.23.05 / С.В. Варенюк ; Моск. гос. стр. ун-т. – М., 2006. – 37 с.
5. Трахимчик, О.Е. Повышение эксплуатационных свойств бетона обработкой растворами на основе гексафторсиликата магния : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05. 17. 11 ; 05.17.01/ О.Е. Трахимчик ; Бел. гос. технол. ун-т. – Минск, 2006. – 19 с.
6. Ахвердов, И.Н. Основы физики бетона / И.Н. Ахвердов. – М.: Стройиздат, 1981. - С. 8 – 220.
7. Саназ, Э., Теоретические аспекты первичной защиты твердеющего бетонам / Э. Санас, Э.И. Батяновский, В.И. Коваженова// Сб. трудов VI Междун. научно-практ. семинара ; под общ. ред. П.С. Пейты, В.В. Тура. – Брест : БрГТУ, 2009. – С. 25 – 29.
8. Лейбензон, Л.С. Движение природных жидкостей и газов в пористой среде / Л.С. Лейбензон. – М. – Л.: Гостехиздат, 1947. – С. 11 – 73.
9. Коллинз, Р. Течение жидкостей через пористые материалы / Р. Коллинз. – М. : Мир, 1964. – С. 68 – 104.
10. Полубаринова-Кончина, П.Я. Теория движения грунтовых вод / П.Я. Полубаринова-Кончина. – М.: Наука, 1977. – С. 17 – 88.
11. Батяновский, Э.И. Особо плотный бетон сухого формования: монография / Э.И. Батяновский. – Минск : НП000 «Стринко», 2002. – С. 61 – 86.
12. Блещик, Н.Н. Структурно-механические свойства и реология бетонной смеси и пресс-вакуум-бетона / Н.Н. Блещик. – Минск : Наука и техника, 1977. – 230 с.
13. Барташевич, А.Я. Исследование структурно-технических свойств бетонной смеси, уплотненной прессованием и вакуумированием : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.23.05 / А.Я. Барташевич ; ИСиА Госстрой БССР. – Минск, 1973. – 37 с.

УДК 666.972.16

П.И. ЮХНЕВСКИЙ, Г.Т. ШИРОКИЙ

УРОВНИ ДИСПЕРСНОСТИ СТРУКТУР ЦЕМЕНТНОГО ГЕЛЯ И КАМНЯ ВО ВЗАИМОСВЯЗИ С ВЛИЯНИЕМ НА НИХ ХИМИЧЕСКИХ ДОБАВОК ПЛАСТИФИКАТОРОВ

Приведены уровни дисперсности структур цементного геля и камня и показано влияние на них химических добавок пластификаторов. Для надмолекулярного уровня структуры характерно межатомное взаимодействие на стадии зародышеобразования с образованием комплексов включения. Межмолекулярное взаимодействие характерно для уровня субмикроскопической структуры. Пластификаторы, содержащие сильно полярные функциональные группы, хемосорбируются на поверхности гидратированных цементных зерен. Влияние добавок на микроуровне сказывается на последовательности кристаллизации, форме и количестве образующихся кристаллогидратов. На макроуровне влияние добавок проявляется в улучшении адгезии цементного камня с заполнителем, повышении водонепроницаемости, морозостойкости бетона, улучшении связно-