

Саназ Эгбалник, инженер, аспирант, Батяновский Э. И., доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой, Коваженкова В. И., инженер, ст. преподаватель, Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь.

## **ПЕРВИЧНАЯ ЗАЩИТА ТВЕРДЕЮЩЕГО БЕТОНА ПУТЕМ УПЛОТНЕНИЯ СТРУКТУРЫ ЕГО ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ**

### **PRIMARY PROTECTION OF THE HARDENING CONCRETE BY PACKING THE STRUCTURE OF ITS SURFACE LAYER**

*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.*

*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.*

### **ВВЕДЕНИЕ**

Среди разнообразных приемов ухода за неопалубленной поверхностью бетона в процессе монолитного строительства, твердения бетона сборных конструкций в среде с пониженной влажностью или после распалубки бетона на начальной стадии твердения (гидроизолирующие укрытия, пленкообразующие составы, полив, разнообразные увлажняемые посыпки и пр.) не получил развития вариант его естественной первичной защиты путем уплотнения структуры наружного слоя бетона. Вместе с тем данный технологический прием позволяет снизить проницаемость бетона за счет формирования плотного внешнего слоя цементного камня, что не усложняет ведения последующих работ (в частности, отделки), не ухудшает сцепления между слоями бетона и может

быть реализован путем нанесения соответствующих химических реагентов на защищаемые поверхности.

Следует отметить, что прием вторичной защиты затвердевшего бетона строительных конструкций кольматирующими (органическими и неорганическими) веществами активно разрабатывается и широко практикуется (1-5 и др.), чего нельзя сказать о защите свежееотформованного бетона.

## ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПЕРВИЧНОЙ ЗАЩИТЫ

*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 кольматируются (закупориваются) «каналы» движения жидкости, сокращается 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 с поверхности для химических реагентов связана с перераспределением воды затворения и в частности, с развитием процессов гидролиза – гидратации цемента и контракционного эффекта во времени [6]. В результате в объеме цементного теста, постепенно трансформирующегося в цементный камень, возникает явление вакуума, первичное проявление которого отражается в эффекте капиллярного подсоса. Кроме этого растворенное в воде вещество добавки проникает вглубь цементного теста благодаря диффузии, что в совокупности обеспечивает необходимые условия химического взаимодействия его с продуктами гидролиза-гидратации цемента и сопровождается образованием новых соединений, способствующих уплотнению структуры цементного теста (камня) контактного слоя бетона.

*Фильтрационная проницаемость* поверхностного слоя свежеотформованного 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 материале статьи авторов [7] сделана попытка привлечения фундаментальных представлений фильтрационной гидравлики [8-10], нашедших прикладное применение для отражения процесса влагонасыщения сухих бетонных смесей в технологии бетона сухого формования [11], для теоретического описания фильтрационно-диффузионного процесса проникновения раствора (вещества) уплотняющей структуру добавки, нанесенного на поверхность, вглубь контактного слоя обрабатываемого бетона.

В работе [7] 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 « $\ell$ » за время « $\tau$ », то есть:  $\tau = \ell/W$ , получили зависимость

$$\tau = \frac{1}{\beta} \times \frac{\rho_{ж} \times \mu_0 \times l^2}{P_c} \times \left( \frac{1 - m_2}{m_2 \times d_2} \right), \text{ или:} \quad (1)$$

$$\ell = \frac{m_2 \cdot d_2}{1 - m_2} \cdot \sqrt{\frac{\beta \cdot P_c \cdot \tau}{\rho_{ж} \cdot \mu_0}}, \text{ м.} \quad (2)$$

Полученные формулы учитывают взаимосвязь времени и «глубины» проникновения фильтра в зависимости от его свойств (вязкости и плотности) и характеристик фильтрационной среды (пористости и дисперсности (крупности) ее частиц) и могут быть основой для оценки процесса фильтрационного массопереноса при обработке поверхности бетона растворами уплотняющих его структуру химических добавок после их упрочнения.

Воспользовавшись данными 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  $P_c$ , формулу (2) можно представить в следующем виде:

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

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

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-фильтра, что не противоречит физико-химической сути явления массопереноса. Экспериментальное подтверждение справедливости полученной эмпирико-теоретической зависимости в целом и влияния на глубину проникновения химических реагентов характеристик «пористости» цементного теста, времени и свойств фильтра является одной из задач выполняемых исследований.



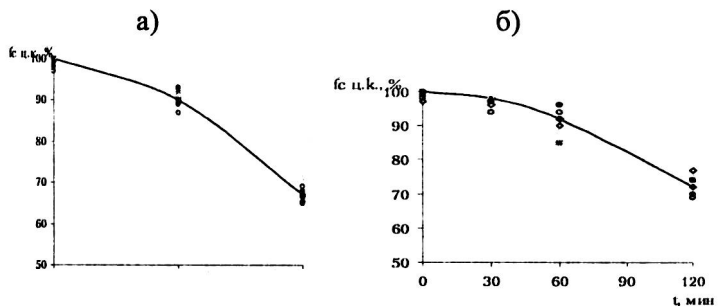
## ПРОЧНОСТЬ ЦЕМЕНТНОГО КАМНЯ

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 и № 2 частично представлены результаты экспериментальных исследований, отражающих наиболее характерные и общие закономерности изменений прочности цементного камня, 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).



Гидроизолировано пленкой

Состав №1

Без гидроизоляции

Рис. 1. Тенденция изменений прочности цементного камня при сухом прогреве ( $t=40\dots50$ )°С 24 часа.

а) – от наличия и «качества» гидроизоляции;

б) – в зависимости от времени нанесения защитного состава;

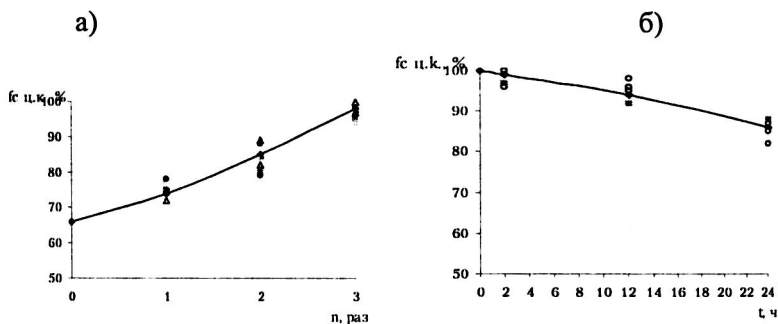


Рис. 2. Тенденция изменений прочности цементного камня в возрасте 28 суток воздушно-сухого твердения.

а) – влияние количества (раз) нанесения защитного состава после формирования;

б) – влияние периода времени до нанесения защитного состава.

На рис. 1 отражена тенденция изменений прочности цементного камня твердевшего 24 ч при температуре  $40\dots50$ °С, относительной влажности воздуха  $\phi \sim 45\dots50$  % при скорости ветра:  $V_B = 0$ , м/с.

На рис. 2 приведены данные, относящиеся к образцам цементного камня, твердевшего 28 сут в воздушно-сухих условиях при температуре  $20\pm 3$  °С и  $\phi \sim 60\dots65$  %, при прочих равных с данными рис. 1 условиях.

Приведенные на рис. 1 и 2 данные и 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 (например, нанесением составов распылением с помощью сжатого воздуха) свежееотформованного бетона, а также схватившегося (твердеющего) бетона после снятия опалубки, данная разработка представляется весьма перспективной.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Приведенные в статье результаты теоретических исследований обосновывают возможность разработки математической зависимости для оценки влияния свойств растворов уплотняющих добавок и характеристики «пористости» цементного теста (содержания в нем жидкой фазы) на глубину проникновения их вещества в свежееотформованный бетон.

Экспериментальные данные подтверждают практическую возможность и достаточную эффективность технологического приема первичной защиты твердеющего бетона нанесением на открытые (неопалубленные) поверхности водных растворов уплотняющих структуру химических добавок.

### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Дахли, М. Гидрофобно-кольматирующая пропитка бетона в условиях жаркого климата: автореф. дис...канд. тех. наук: 05.23.05. / Дахли Мохамед; Харьков. гос. Ун-т стр-ва и арх-ры.- Харьков,1996.- 21 с.
2. Крашенинникова, Л.А. Гидратация и твердение портланд-цемента в присутствии функциональных добавок в составе сухих строительных смесей: автореф. дис...канд. тех. наук: 05.17.11: / Крашенинникова Лариса Алексеевна; С.-Петерб. гос. технолог. ин-т.- СПб, 1999. - 18 с.
3. CPI - Concrete Plant International = CPI - Международное бетонное производство: журнал: рус. изд. – 2008.- № 4. - С. 40.
4. Варенюк, С.В. Эффективные защитные цементные покры-

- тии, модифицированные полимерами: автореф. дис...док. Тех. наук: 05.23.05: Варенюк Светлана Викторовна; Моск. Гос. 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/ Трахимчик Оксана Евгеньевна; Бел. гос. технол. ун-т.- Минск, 2006. - 19 с.
  6. Ахвердов, И.Н. Основы физики бетона. – М.: Стройиздат, 1981. - С. 8 – 220.
  7. Саназ, Эгбалник, Батяновский, Э.И., Коваженкова, В.И. Теоретические аспекты первичной защиты твердеющего бетона// Сб. трудов VI Междун. Научно-практ. семинара/ Под общ. ред. П.С. Пойты, В.В. Тура. – Брест, БрГТУ, 2009. – С. 25-29.
  8. Лейбензон, Л.С. Движение природных жидкостей и газов в пористой среде. – М. – Л.: Гостехиздат, 1947. – С. 11-73.
  9. Коллинз, Р. Течение жидкостей через пористые материалы. – М.: Мир, 1964. – С. 68-104.
  10. Полубаринова-Кончина, П.Я. Теория движения грунтовых вод. – 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.П. Структурно-механические свойства и реология бетонной смеси и пресс-вакуум-бетона. – 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; ИСиА Госстроя БССР. – Минск, 1973. – 37 с.