

УДК 544.77:66.063.6(063)

В. Б. ДИСТАНОВ, М. Н. ТОКАРЕВ, Т. Т. НАЛИВАЙКО**ФИЗИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ИНТЕНСИВНОЙ ПРОПИТКИ СТЕКЛОБЕТОНА**

Проведено аналіз існуючих методів просочення фібробетону. Розроблено фізичну модель інтенсивного просочення склобетону твердіючою рідиною. Структура капілярів, що підлягають просочуванню, підрозділяється на два класи: наскрізні капіляри і тупикові капіляри. Сили, що діють в процесі заповнення капілярів рідиною, можуть бути зведені до двох рівнодіюча: рушійна сила P_{mv} і реактивна сила P_R . Показано поліпшення фізико-механічних характеристик склобетону.

Ключові слова: бетон, міцність бетону, дисперсне армування, волокнисті матеріали, просочення, склобетон.

Проведен анализ существующих методов пропитки фибробетона. Разработана физическая модель интенсивной пропитки стеклобетона твердеющей жидкостью. Структура капилляров, подлежащих пропитке, подразделяется на два класса: сквозные капилляры и тупиковые капилляры. Силы, действующие в процессе заполнения капилляров жидкостью, могут быть сведены к двум равнодействующим: движущая сила P_{mv} и реактивная сила P_R . Показано улучшение физико-механических характеристик стеклобетона.

Ключевые слова: бетон, прочность бетона, дисперсное армирование, волокнистые материалы, пропитка.

Analysis of existing methods of impregnating fiber-reinforced concrete. The physical model of intensive impregnation glass-concrete hardening liquid. Structure of the capillaries to be impregnated, is divided into two classes: the blind through capillaries and capillaries. The forces acting in the process of filling the capillaries with liquid can be reduced to two resultant: the driving force P_{mv} and the reactive force P_R . The improvement of physical and mechanical descriptions of glass-concrete is retined. Impregnation method, presented in this article, is effective in comparison with methods, proposed previously. This penetration method intensifies saturation process of impregnated product's pore space. Due to preliminary vacuumization and maintaining the vacuum in cellular space up to saturation of impregnating solidifying fluid.

Keywords: concrete, concrete strength, disperse reinforcement, fibrous materials, impregnation, glass-concrete.

Вступлення. В строительстве находят все большее применение бетоны, армированные волокнами, что связано с положительным влиянием волокон на структуру бетона и его физико-механические характеристики. Сдерживающим фактором широкого применения стекловолокнутой арматуры является низкая коррозионная стойкость волокон к воздействию щелочной среды бетона. Поскольку процесс коррозии стекловолокна в значительной степени зависит от пористости композиции, нами разработана технология пропитки стеклоцемента путем заполнения его порового пространства твердеющими жидкостями. Предпосылками разработки предложенной технологии стали ранее выполненные исследования [1, 2].

Постановка проблемы. Процесс заполнения пор композиционных материалов при существующем способе пропитки – капиллярном – является длительным (10–20 часов) и затухающим во времени. Пористое пространство заполняется только на 50–55%. Применяемые в настоящее время режимы пропитки [3] не обеспечили возможность полного заполнения пористого пространства. Для решения проблемы повышения полноты пропитки построена физическая модель процесса заполнения капилляров с учетом всех сил, действующих на жидкость.

Результаты исследований. В качестве пропитки композиционных материалов применяют жидкости, которые после отверждения обладают достаточно высокой прочностью.

Для достижения возможности проведения

полной пропитки композиционного материала и получения расчетной прочности пропитанного изделия детально изучен процесс насыщения пористого пространства композита твердеющей жидкостью.

Капиллярная пропитка – процесс, при котором композиционный материал соприкасается одной стороной с пропитывающей жидкостью при атмосферном давлении.

Капиллярная пропитка см. рис. 1 происходит за счет силового потенциала Ψ на границе твердая фаза – жидкости, высота hc подъема жидкости по капилляру зависит от радиуса капилляра r и приближенно может быть определена по зависимости, рекомендуемой М. Н. Гольдштейном для грунтов: $hc = 0,15 : r$ (мм).

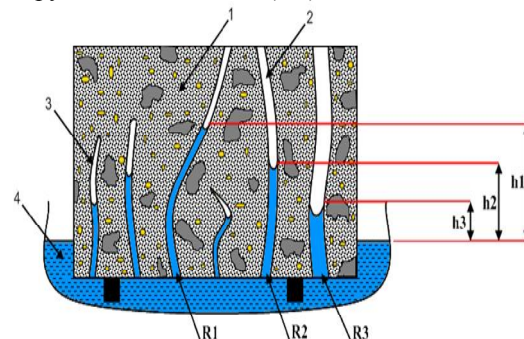


Рис. 1. Капиллярная односторонняя пропитка бетонного образца: 1 – бетонное изделие; 2 – сквозной капилляр; 3 – тупиковый капилляр; 4 – пропитывающая жидкость.

Пропитка полным погружением образца в жидкость при атмосферном давлении, либо с

избыточным давлением в пропитывающей жидкости на рис. 2. При полном погружении происходит защемление воздуха в центре порового пространства, что препятствует полному протеканию процесса пропитки.

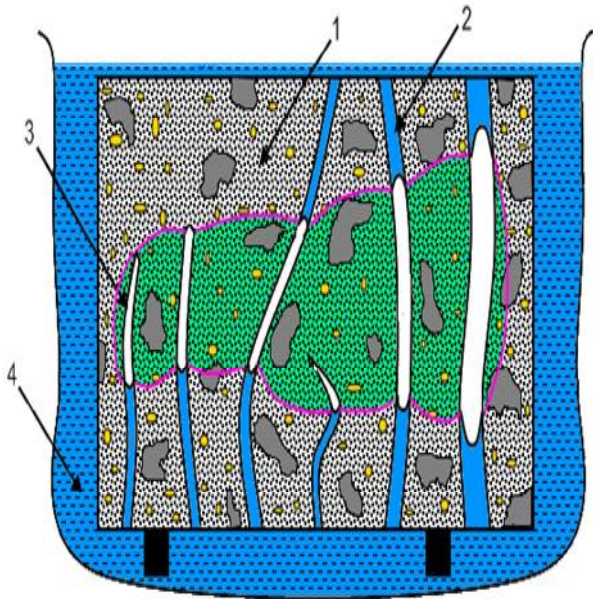


Рис. 2. Полное погружение бетонного образца в жидкость : 1 – бетонное изделие; 2 – сквозной капилляр; 3 – тупиковый капилляр; 4 – пропитывающая жидкость.

Односторонняя подача пропитывающей жидкости при избыточном давлении, а так же при создании вакуума с противоположной стороны бетонного образца см. рис. 3.

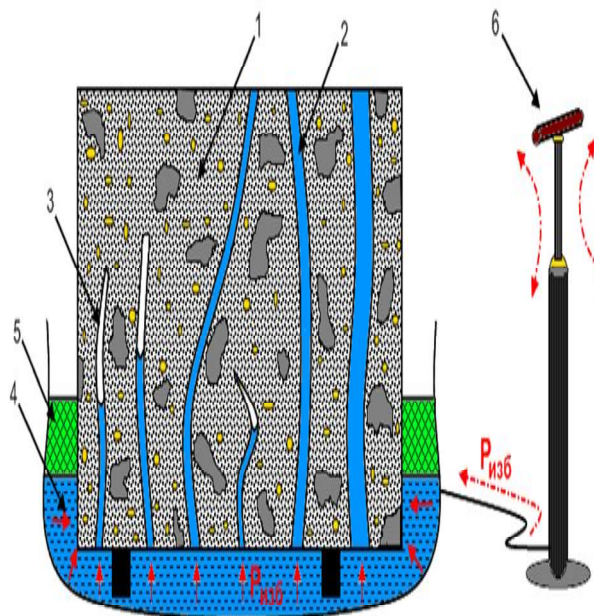


Рис. 3. Односторонняя подача жидкости под давлением : 1 – бетонное изделие; 2 – сквозной капилляр; 3 – тупиковый капилляр; 4 – пропитывающая жидкость; 5 – гидроизоляция; 6 – насос.

Для более точного определения закономерностей пропитки капилляра рассмотрен

баланс всех сил, действующих на жидкость с учетом типов капилляров: сквозных и тупиковых.

Возможны случаи, когда сквозные капилляры ведут себя как тупиковые (например, когда кусок пористого материала полностью погружен в жидкость).

Проникновению смачивающих жидкостей в такие капилляры будет препятствовать находящийся в них воздух, который будет сжиматься в процессе заполнения капилляра жидкостью тем больше, чем больше величина капиллярного поднятия.

Это явление может серьезно влиять на ход технологических процессов пропитки, модификации природы поверхности сорбентов.

Смачивание внутренних поверхностей материалов будет определяться законами капиллярной пропитки тупиковых капилляров. Ускорение этого процесса смачивания может быть достигнуто путем уменьшения противодействующего давления сжатого в капиллярах воздуха.

Влияние же тупиковых пор на капиллярную пропитку и другие процессы не изучено. В тоже время можно указать ряд процессов и явлений, где важную роль играют не сквозные капилляры, а тупиковые.

Слабый интерес к указанному вопросу объясняется отсутствием методов, позволяющих количественно определять тупиковые капилляры, отличать их от сквозных, находить функцию распределения их объемов по радиусам.

Действительно, существующие методы позволяют определять либо «средний» гидравлический радиус сквозных пор по фильтрационным измерениям, либо находить характеристическую функцию пористого материала методами адсорбции, вдавливания жидкостей и электронной микроскопии.

Использовать же эти методы для раздельного определения характеристических функций сквозных и тупиковых пор не удается. Лишь удельную поверхность сквозных и тупиковых пор можно приблизительно оценить в отдельности методами стационарной и нестационарной фильтрации разреженного воздуха.

Сложность ситуации с учетом различных типов структуры капилляров определяет задачу: построение физической модели процесса насыщения капилляров жидкостью.

Процесс заполнения капилляров жидкостью представлен на рис. 4, где показаны силы, действующие на жидкость внутри капилляра.

Для сквозных капилляров атмосферное давление уравнивается, и остаются две силы: P_c и P_g , для тупиковых сжимающийся газ давит на фронт жидкости с силой P_{ai} , причем $P_{ai} > P_a$.

Капиллярная сила в точке А возникает от действия энергии Гиббса (G), которая будучи отнесена к единице является поверхностным натяжением $\sigma = G:S$ (Дж/м²). Если принять

энергетическое воздействие в виде приповерхностного усилия f (г/см²), которое является проекцией потенциала Ψ на ось капилляра, то при подъеме на высоту h :

$$P_c = 2 \times \pi \times r \times h \times f \tag{1}$$

Продвижению (подъему) жидкости препятствует P_g вес жидкости:

$$P_g = \pi \times r^2 \times h \times \gamma, \tag{2}$$

где γ – объемная масса жидкости (г/см³).

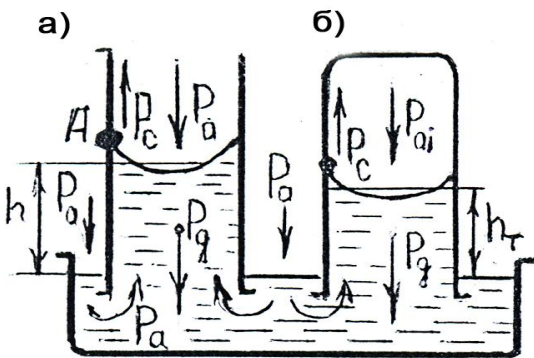


Рис. 4. Действующие силы при пропитке капилляров: а – сквозной капилляр; б – тупиковый капилляр, где P_a – атмосферное давление; P_c – капиллярное притяжение; P_g – вес жидкости; P_{ai} – противодействие газа в тупиковых порах

При анализе процесса пропитки необходимо отметить, что часть сил (P_{mv}) способствует продвижению жидкости вглубь капилляра, а другая часть (P_R) – препятствует ее продвижению: P_{mv} – движущая сила и P_R – реактивная сила, направленная противоположно движущей силе.

Движущая сила по схеме (рис. 1):

$$P_{mv} = P_c - P_g$$

Подставив соответствующие значения из формул (1) и (2) получаем выражение для движущей силы:

$$P_{mv} = 2 \times \pi \times r \times h \times f - \pi \times r^2 \times h \times \gamma$$

Для сквозных капилляров $P_R = P_g$, поскольку атмосферное давление P_a уравновешивается. Для тупиковых капилляров реактивная сила P_R имеет более сложную зависимость от действующих сил.

В связи с тем, что давление P_{ai} является переменной величиной, причем большей P_a , для тупикового капилляра уравнение усложняется, движущая сила P_{mv} :

$$P_{mv} = (P_a + P_c) - (P_{ai} + P_g)$$

Подставляя соответствующие значения P_c , P_{ai} и P_g окончательно определяем величину движущей силы в тупиковом капилляре:

$$P_{mv} = P_a + 2 \times \pi \times r \times h \times f - \frac{P_a \times V_0}{V_0 - \pi \times r^2 \times h} - \pi \times r^2 \times h \times \gamma \tag{3}$$

На основании полученных зависимостей составлены два вида физической модели пропитки капилляров – сквозных и тупиковых (рис. 5).

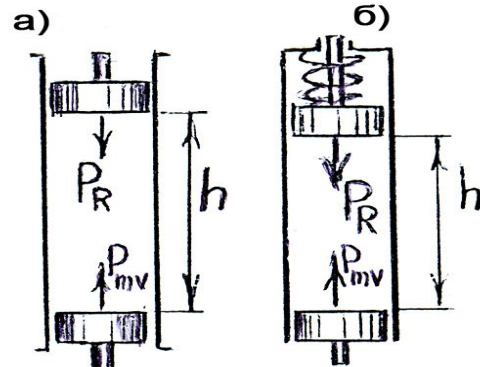


Рис. 5. Физическая модель пропитки : а – сквозной капилляр, б – тупиковый капилляр, где P_{mv} – движущая сила; P_R – реактивная сила.

Продвижение жидкости в капилляре возможно при условии, что движущая сила $P_{mv} > 0$. Из уравнения (3) следует, что капиллярная сила пропорциональна r , а противодействие (вес жидкости P_g) пропорционально r^2 , в связи с этим процесс пропитки затухает.

Согласно составленной физической модели процесс заполнения характеризуется наличием двух сил: движущая сила (P_{mv}) и реактивная сила (P_R). Повышение полноты пропитки возможно при условии, что реактивное сопротивление (P_R) равно нулю. Технологическое решение, обеспечивающее сохранение условия $P_R = 0$ и $P_{mv} = \max$ в течение всего процесса пропитки достигается путем создания и сохранения вакуума в капиллярах, причем это обеспечивает одинаковые условия пропитки как сквозных, так и тупиковых капилляров.

Для проведения испытаний при пропитке образцов стеклобетона разных составов применялись пропитывающие составы на основе натриевого жидкого стекла (Na_2OSiO_2), с включением водного раствора кремнефторида натрия (Na_2SiF_6), который необходим для иницирования процесса твердения жидкости в пористом пространстве стеклобетона. Количество введенного Na_2SiF_6 в пропитывающем составе определено опытным путем по скорости твердения $\text{Na}_2\text{OSiO}_2 + \text{Na}_2\text{SiF}_6$ в массе. Оптимальным установлен следующий пропитывающий состав: 6 г кремнефторида натрия растворяется в 100 мл воды при температуре 80–100 °С, затем полученный раствор вводится в 250 мл натриевого жидкого стекла (модуль 2,8).

Прочностная характеристика после пропитки образцов стеклобетона и отверждения жидкого стекла установлена по показателю – коэффициенту

упрочнения $K_y = R_{\text{прон.}} / R_{\text{контр.}}$, который зависит от степени заполнения пористого пространства (прироста массы жидкого стекла). Максимальные значения: K_y при растяжении = 3,38 и K_y при сжатии = 2,33.

Характеристикой структуры стеклобетона после пропитки являются показатели: средняя плотность ρ_c , которая составила для полностью пропитанных образцов $\rho_{c \text{ прон.}} = 2,26\text{--}2,45 \text{ г/см}^3$, и водопоглощение $W_{\text{min}} = 1,15\text{--}1,27 \%$ для полностью пропитанных образцов. Время процесса насыщения образцов стеклобетона при разработанном (интенсивном) режиме пропитки составляет: вакуумирование – несколько минут (в зависимости от применяемого вакуумного насоса); насыщение пропитывающим составом – до 5 мин. Суммарное время пропитки до 10–15 мин. Время пропитки при разработанном режиме сокращается на 12 часов, в отличие от метода капиллярной пропитки.

Вывод. Разработанная физическая модель интенсивной пропитки стеклоцемента твердеющей жидкостью позволяет заключить, что, как достижение полного заполнения пористого пространства, так и ускорение темпа пропитки возможно при условии удаления воздуха из капиллярно-пористого тела. Заполнения пустот стеклофибробетона твердеющими веществами способствуют созданию композитного

конгломерата с улучшенными физико-механическими характеристиками. Дальнейшими исследованиями является определение коррозионной стойкости и долговечности стекловолокна в агрессивно-щелочной среде бетона.

Список литературы: 1. Баженов Ю. М. Бетонполимерные материалы и изделия – Библиотека строителя, 1978. – 92 с. 2. Рабинович Ф.Н. Композиты на основе дисперсно-армированных бетонов – М.: Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2004. – 560 с. 3. Вандоловський О.Г. Підвищення міцності композиційних будівельних матеріалів. // Всеукраїнський науково-технічний і виробничий журнал Будівельні матеріали та вироб. 2008. – № 2 (49). – С. 11–13.

Bibliography (transliterated): 1. Bazhenov Y.M. Betonopolimernye materialy i izdeliya [Concrete-polymer materials and products]. – Biblioteka stroitelya [Library of builder Publ.], 1978. – 92 p. 2. Rabinovich F.N. Kompozity na osnovi dyspersno - armirovanykh betonov [Composites based on fibre-reinforced concrete]. Izd-vo Assotsiatsii stroitel'nykh vuzov [Publishing house of Building Institutes Association] – Moscow : 2004. – 560 p. 3. Vandalovskiy O.G. Pidvishennya micnosti kompozitsinykh bydivel'nykh materialiv [Increasing durability of composite building materials] // Vseukrayins'kyy naukovo-tekhnichnyy i vyrobnychy zhurnal: Budivel'ni materialy ta vyroby. [Ukrainian scientific-technical and production journal Building materials and products] 2008. – no. 2 (49). – pp. 11–13.

Поступила (received) 24.07.2016

Библиографические описания / Бібліографічні описи / Bibliographic descriptions

Физическая модель интенсивной пропитки стеклобетона / В. Б. Дистанов, М. М. Токарев, Т. Т. Наливайко // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Інноваційні дослідження у наукових роботах студентів. – Х. : НТУ «ХПІ», 2016. – № 19 (1191). – С. 92–95. – Бібліогр.: 3 назв. – ISSN 2220-4784.

Физическая модель интенсивной пропитки стеклобетона / В. Б. Дистанов, М. Н. Токарев, Т. Т. Наливайко // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Інноваційні дослідження у наукових роботах студентів. – Х. : НТУ «ХПІ», 2016. – № 19 (1191). – С. 92–95. – Бібліогр.: 3 назв. – ISSN 2220-4784.

The physical model of intensive impregnation of glass-concrete / V. B. Distanov, M. N. Tokarev, T. T. Nalivayko // Bulletin of NTU «KhPI». Series: Innovative researches in students scientific works. – Kharkiv. : NTU «KhPI», 2016. – № 19 (1191). – pp. 92–95. – Bibliogr. : 3 names. - ISSN 2220-4784.

Сведения об авторах / Відомості про авторів / About the Authors

Дистанов Виталий Баламирович – кандидат химических наук, старший научный сотрудник, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», тел.: (068) 607-72-31; e-mail: distanov@ukr.net.

Дистанов Віталій Баламирович – кандидат хімічних наук, старший науковий співробітник, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», тел.: (068) 607-72-31; e-mail: distanov@ukr.net.

Distanov Vitaly Balamirovich – Candidate of Chemical Sciences, PhD, senior researcher, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", tel.: (068) 607-72-31; e-mail: distanov@ukr.net.

Токарев Михаил Николаевич – кандидат технических наук, доцент, Харьковский национальный университет строительства и архитектуры, тел. 0982142600; e-mail: Nalivaykot@yandex.ua

Токарев Михайло Миколайович – кандидат технічних наук, доцент, Харківський національний університет будівництва та архітектури, тел. 0982142600; e-mail: Nalivaykot@yandex.ua

Tokarev Mikhail Nikolaevich – candidate of Technical Sciences, PhD, assistant professor, Kharkov National University building and architecture, phone 0982142600; e-mail: Nalivaykot@yandex.ua

Наливайко Татьяна Тарасовна – ассистент, Харьковский национальный университет строительства и архитектуры, тел. 0982142600; e-mail: Nalivaykot@yandex.ua

Наливайко Тетяна Тарасівна – ассистент, Харківський національний університет будівництва та архітектури, тел. 0982142600; e-mail: Nalivaykot@yandex.ua

Nalivayko Tatiana Tarasovna – assistant, Kharkov National University building and architecture, phone 0982142600; e-mail: Nalivaykot@yandex.ua