

УДК: 620; 624.21

*Критов В.О. канд. техн. наук, ГП
«Государственный научно-исследовательский
институт строительных конструкций»*

*Кротова О.М. инженер, Национальный
авиационный университет, Киев*

*Токарев М.Н. канд. техн. наук, Харьковский
государственный технический университет
строительства и архитектуры, Харьков*

ПОВЫШЕНИЕ ПЛОТНОСТИ И ПРОЧНОСТИ БЕТОНА И ЖЕЛЕЗОБЕТОНА ПРОПИТКОЙ ЖИДКИМ СТЕКЛОМ ПУТЕМ ВНУТРЕННЕГО ВАКУУМИРОВАНИЯ

В настоящее время при строительстве различных объектов промышленного и гражданского назначения возникает необходимость возведения зданий и сооружений, подверженных действию повышенных эксплуатационных воздействий, в результате чего возрастают требования к качеству используемых строительных материалов, в частности прочности и плотности. Одним из наиболее распространенных строительных материалов является бетон и изготовленные из него детали и конструкции. Из практики известны случаи довольно быстрого выхода из строя таких деталей, как плиты покрытия дорог, бордюрные камни, люки смотровых колодцев, балконы, железобетонные шпалы магистральных трасс, а также трамвайных путей в городах и др. Эти изделия могут рассматриваться как конструкции, в отношении материала которых задача повышения плотности, а соответственно и водонепроницаемости, является актуальной.

На основе выполненного анализа литературных источников, а также основных положений известных теоретических и прикладных аспектов создания новых строительных материалов с улучшенными качественными показателями разработана технология увеличения прочности и водостойкости изделий из бетона, что достигается путем заполнения порового пространства тела бетона твердеющими жидкостями. При этом степень повышения этих свойств зависит от полноты заполнения порового пространства вводимыми твердеющими составами. Предпосылками разработки предложенной технологии стали [1] ранее выполненные исследования, проведенные под руководством Ю.М. Баженова с сотрудниками в Москве. Продолженные работы в Харькове Д.А. Угинчусом, И.Д. Омельченко и в несколько ином направлении – под руководством Ю.И. Орловского показали возможность значительного улучшения физико-механических свойств бетона путем пропитки пористого пространства мономерами либо расплавом серы, которые после полимеризации или остывания заменяют систему пор твердым каркасом [2]. Однако, как показано Д.А. Угинчусом, существующие технологические приемы пропитки смогли обеспечить заполнение только 50–60 % пористого пространства [3].

Разработана принципиально новая технология интенсивного насыщения пористого пространства бетона или железобетона, которая позволяет значительно повысить степень заполнения пор и, следовательно, в большей мере повысить прочность и плотность насыщаемого материала твердеющей жидкостью. Это достигается путем создания внутреннего вакуума в цементной матрице, т.е. предварительная деаэрация пор при вакуумировании конгломерата [4], а затем приведением его в контакт с пропитывающей жидкостью, в которой создается избыточное давление.

Весьма важным новым решением является установление возможности применения для заполнения пористого пространства бетона менее дефицитного и более удобного в технологическом аспекте вещества – жидкого стекла, что открывает перспективы более широкого применения упрочненных пропиткой бетонов.

Для экспериментальной проверки предложенной технологии пропитки на кафедре строительных материалов и изделий ХГТУСА разработано лабораторное оборудование: ЛПУ (рис. 1). При проведения экспериментальной проверки бетонные кубы (4x4x4см) разного водоцементного соотношения пропитали составом натриевого жидкого стекла с добавлением кремнефторида натрия, который необходим для процесса твердения состава в пористом пространстве бетона.

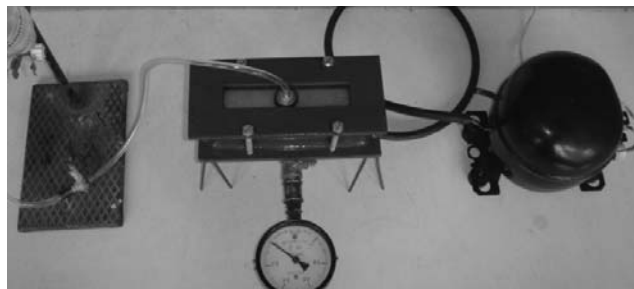


Рисунок 1- Лабораторная пропиточная установка (ЛПУ)

Результаты экспериментов показывают, что прочность бетона увеличилась, показатель водопоглощения значительно снизился (табл. 1).

Таблица 1 - Характеристики исследованных бетонных образцов (кубов 4x4x4см), пропитанных жидким стеклом

Соотношение вода / цемент в бетоне	Прирост массы, %	Водопоглощение, %	Прочность при растяжении при изгибе, МПа	Кэф. упрочнения растяжения при изгибе	Прочность при сжатии, МПа	Кэф. упрочнения при сжатии
В:Ц=0,45	0	5,2	3,5	2,0	12,0	2,1
	5	1,1	7,0		25,2	
В:Ц=0,65	0	5,5	3,2	2,1	10,7	2,2
	5,5	1,3	6,8		23,5	

Длительность проведения режимов вакуумирования и пропитки зависит от габаритов изделия, которое пропитывается, а также от возможностей вакуум насоса. Изменение массы изделия после пропитки показывает, что водоцементное отношение влияет на пористость бетона и дает возможность определить количество пропитывающего вещества, необходимого для его максимального насыщения.

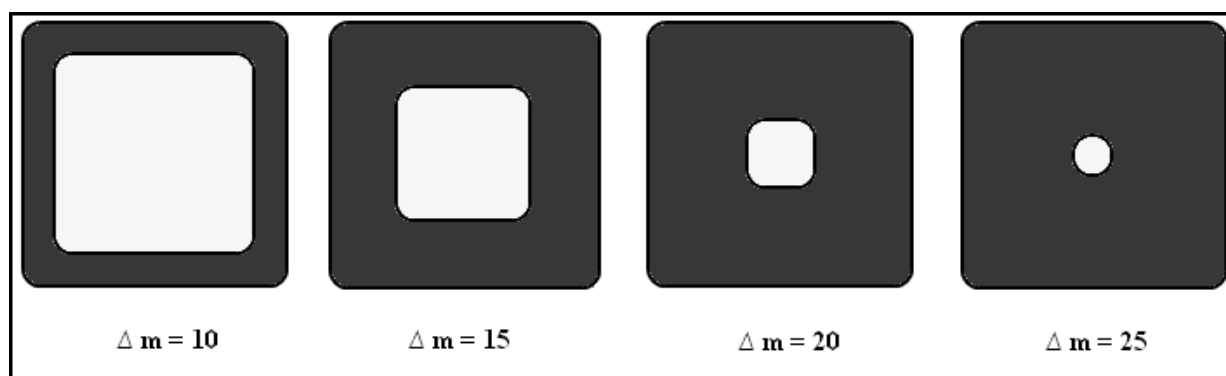


Рисунок 2 - Степень насыщения бетона в зависимости от количества жидкого стекла Δm

Представлены фотографии (рис. 3 и рис. 4), сделанные в период проведения экспериментальных исследований по пропитке образцов из мелкозернистого бетона.

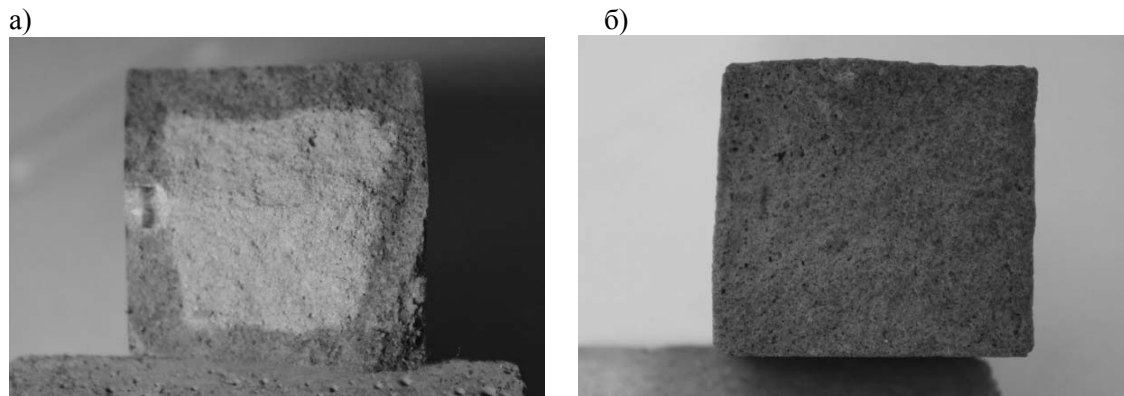


Рисунок 3- Степень насыщения образцов из мелкозернистого бетона жидким натриевым стеклом при создании внутреннего вакуума и без такового:

- а) капиллярная пропитка ($t = 10$ мин), без вакуумирования образца;
 б) пропитка ($t = 10$ мин), с предварительным вакуумированием образца.

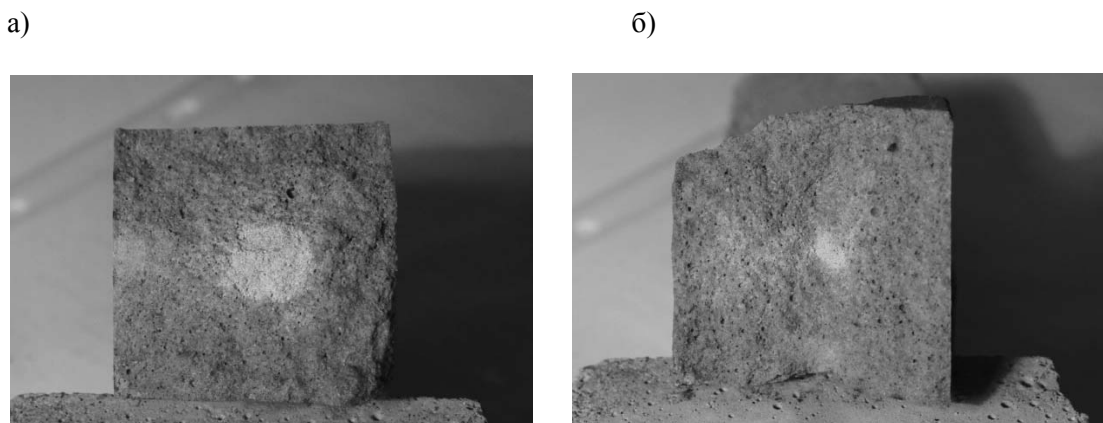


Рисунок 4-Степень насыщения образцов из мелкозернистого бетона жидким натриевым стеклом при различном времени пропитки:

- а) пропитка ($t = 5$ мин), с предварительным вакуумированием образца;
 б) пропитка ($t = 7$ мин), с предварительным вакуумированием образца.

Результаты экспериментальных исследований показаны в таблицах 2 и 3.

Таблица 2 - Характеристики образцов балочек (4x4x16см), состав бетона №1 (Ц:З = 1:4), уплотненных вибрированием, пропитанных жидким стеклом

Номер образца	Плотность образца, г/см ³	Прирост массы после пропитки, г	Прочность при растяжении при изгибе R_{bt} , МПа	Прочность при сжатии R_b , МПа	Водопоглощение, %	Коэф. упрочнения	
						R_{bt}	R_b
1-контр.	2,02	0	2,81	9,28	5,59	1,00	1,00
2	2,18	5	5,54	14,48	4,79	1,97	1,56
3	2,03	10	6,00	15,52	3,75	2,14	1,67
4	2,13	16	6,60	17,92	3,51	2,34	1,93
5	2,14	19	6,86	18,36	3,25	2,44	2,00
6	2,06	20	7,50	18,60	2,34	2,67	1,98
7	2,33	24	8,43	19,36	1,27	3,00	2,09
8	2,45	34	9,50	21,64	1,15	3,38	2,33

Таблица 3 - Характеристики образцов балочек (4x4x16см), состав бетона №2 (Ц:З = 1:5), уплотненных штыкованием, пропитанных жидким стеклом

Номер образца	Плотность бетона, г/см ³	Прирост массы после пропитки, г	Прочность при растяжении при изгибе R_{bt} , МПа	Прочность при сжатии R_b , МПа	Водопоглощение, %	Коэф. упрочнения	
						R_{bt}	R_b
1-контр.	1,88	0	1,22	9,20	7,04	1,00	1,00
2	1,82	5	2,25	9,84	5,45	1,84	1,07
3	1,86	8	2,54	9,90	5,08	2,08	1,08
4	1,99	10	2,75	10,56	4,68	2,25	1,15
5	1,96	30	3,25	10,84	3,65	2,66	1,18
6	1,93	31	3,33	11,20	3,80	2,72	1,22
7	1,98	40	3,75	13,36	2,75	3,07	1,36
8	1,92	42	4,13	14,16	1,85	3,38	1,54

Обработка результатов экспериментов, представленных в таблицах 2 и 3, осуществлена методом регрессионного анализа.

На рис. 5 представлены показатели физико-механических свойств образцов мелкозернистого бетона составов № 1 (Ц : З = 1 : 4) и № 2 (Ц : З = 1 : 5), пропитанных жидким натриевым стеклом, с добавлением крамнефторида натрия в качестве отвердителя.

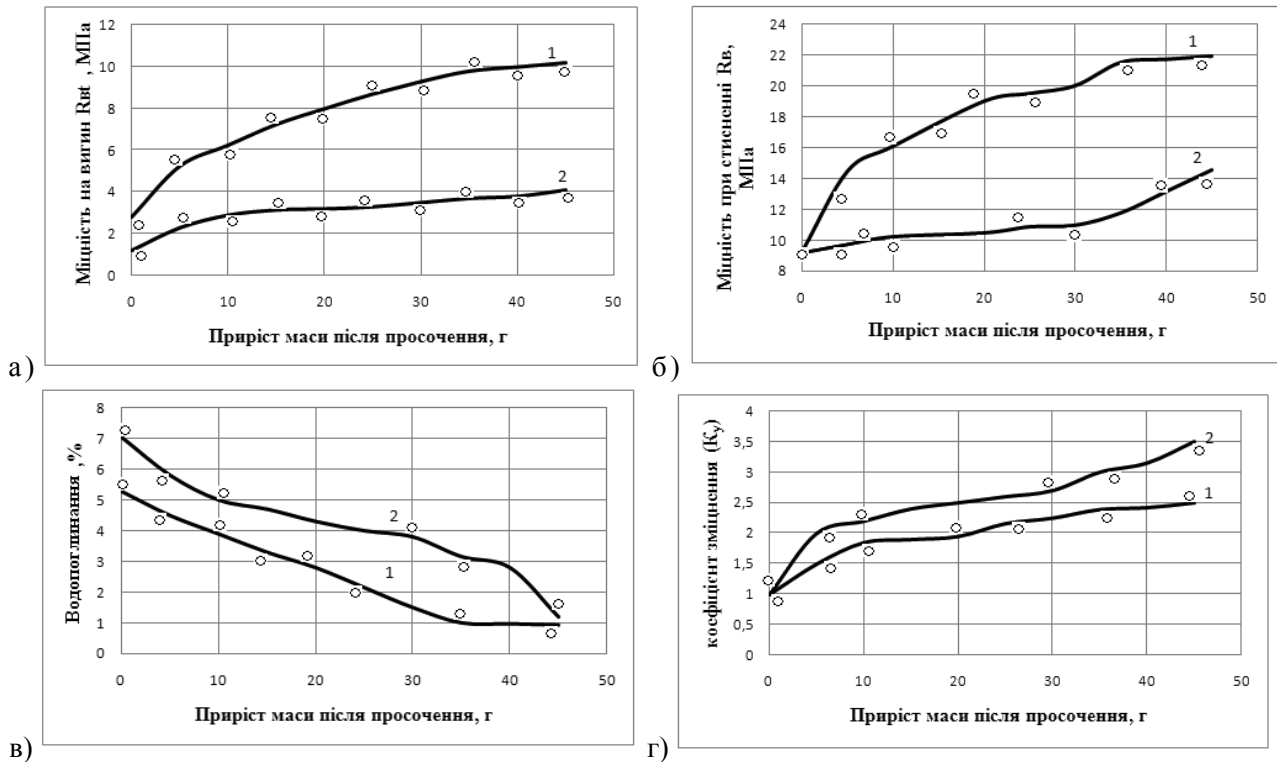


Рисунок 5 - Зависимость свойств бетона от прироста жидкого стекла

- а) прочность при растяжении при изгибе (R_{bt});
 б) прочность при сжатии (R_b); в) водопоглощение (W);
 г) коэффициент упрочнения бетона (K_y).

При насыщении жидким стеклом бетона составов № 1 и № 2, при различных способах уплотнения, получены следующие зависимости влияния количества прироста жидкого стекла (Δm) на:

Прочность при растяжении при изгибе (R_{bt}):

$$R_{bt1} = -0,0086 m^2 + 0,314 m + 3,2762 \quad R_{bt2} = -0,0013 m^2 + 0,1079 m + 1,6001$$

прочность при сжатии (R_b):

$$R_{b1} = -0,0066 m^2 + 0,5403 m + 10,644 \quad R_{b2} = 0,0028 m^2 - 0,0225 m + 9,6493$$

водопоглощение (W):

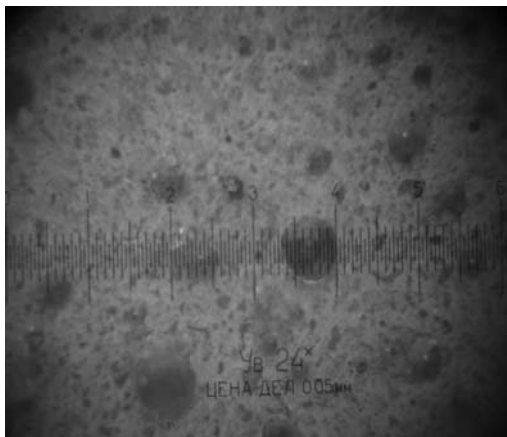
$$W_1 = 0,0014 m^2 - 0,1649 m + 5,3549 \quad W_2 = -0,000003 m^2 - 0,1025 m + 6,5089$$

коэффициент упрочнения бетона (K_y):

$$K_{y1} = -0,0006 m^2 + 0,0582 m + 1,1452 \quad K_{y2} = -0,0005 m^2 + 0,0676 m + 1,3718$$

Результаты проверки на водопоглощение пропитанных образцов свидетельствуют об увеличенной плотности и водонепроницаемости, что обеспечивает увеличение сроков эксплуатации. На рисунке 6 показано изменение структуры бетона после пропитки жидким стеклом.

а)



б)

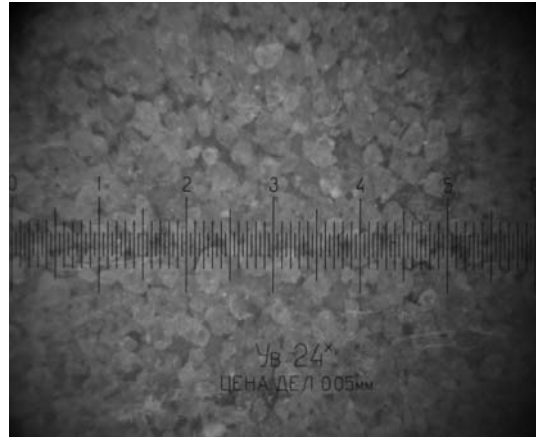


Рисунок 6 - Структура мелкозернистого бетона (24^х):

а) до проведения пропитки; б) после пропитки жидким натриевым стеклом.

Структура пористого пространства бетона после пропитки значительно уплотнилась: капилляры, поры, микротрещины и разные дефекты заполнились жидким стеклом и создали структуру, которая практически не допускает проникновения влаги в тело бетона, значение водопоглощения снизилось до 1,15 %. Повышение прочности и плотности бетона за счет пропитки жидким стеклом позволяет в 2-3 раза улучшить физико-механические характеристики изделий из пропитанного бетона при незначительных затратах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Баженов Ю.М. Технология бетона / Ю.М. Баженов. – М.: АСВ, 2002. – 173 с.
2. Орловский Ю.И. Некоторые вопросы теории композиционных материалов и бетоноведения. Вопросы современного строительного материаловедения и строительства / Орловский Ю.И. – Львов, 1998. – С. 154–161.
3. Вандоловський О.Г. Підвищення експлуатаційних властивостей композиційних будівельних матеріалів / Вандоловський О.Г., Токарев М.М. // Вісник академії. – Одеса: ОДАБА, 2008. – № 28. — С. 58–63.
4. Токарев М.М. Отримання високоміцних бетонних виробів методом просочення шляхом створення в бетоні внутрішнього вакууму / Токарев М.М., Кривога О.М. // Будівельні матеріали, виробництво та санітарна техніка. Науково-технічний збірник. – Київ, 2010. – № 35. С. 75–78.