

УДК 691.587
[https://doi.org/10.37538/2224-9494-2021-3\(30\)-56-65](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2021-3(30)-56-65)

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА УПРОЧНЯЮЩЕЙ ПРОПИТКИ БЕТОННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

EVALUATION OF THE QUALITY OF REINFORCING IMPREGNATION OF CONCRETE SURFACES

В. В. РЕМНЕВ, д-р техн. наук
 Л. И. КОШЕЛЕВА
 Д. Г. РЯЗАНЦЕВ

Анализируются пропиточные составы для повышения прочности бетонных поверхностей, рассматриваются стандартные методы испытания физико-механических свойств бетона после его пропитки. Отмечается необходимость разработки единого классификатора и методики по оценке качества пропитки бетона различными упрочняющими материалами.

The impregnating compositions for increasing the strength of concrete surfaces are analyzed, standard methods for testing the physical and mechanical properties of concrete after its impregnation are considered. The need for a uniform classifier and methodology for assessing the quality of impregnation of concrete with various reinforcing materials has been pointed out.

Ключевые слова:

Бетон, пропитка, пропиточный состав, упрочнение, стандартные методы, физико-механические свойства

Keywords:

Composition, concrete, hardening, impregnation, physical and mechanical properties, standard methods

Бетон как строительный материал имеет значительный резерв для улучшения своих технических характеристик. Его качество является значимым параметром в обеспечении долговечности жизненного цикла бетонных и железобетонных конструкций, а также при оценке конкурентоспособности по отношению к другим материалам. Техническая задача по усовершенствованию и приданию специальных свойств бетону решается путем их модификации и комплексного изменения структуры бетона за счет введения различных добавок [1-5]. Особенность структуры бетона – ее развитая пористость, которая является как отрицательным, так и положительным фактором в зависимости от назначения материала [6-8]. В настоящее время широко распространена пропитка бетона различными компонентами. Пропитанный бетон имеет, кроме высокой прочности, повышенную плотность, что

увеличивает способность материала сопротивляться истиранию, воздействию увлажнения и замерзания, влиянию различных атмосферных факторов и агрессивных сред.

Пропитки для бетона в зависимости от состава делятся на два вида:

- органические (полимерные);
- неорганические (силикатные).

Органические пропитки заполняют собой поры бетона, полимеризуются, происходит сцепление бетона и жидких связующих элементов смеси, и в результате формируется слой полимербетона с высокими эксплуатационными свойствами.

Неорганические пропитки вступают в химическую реакцию с бетоном, изменяя его структуру, и в результате появляются новообразования с повышенной твердостью, поверхность приобретает максимальную прочность и водостойчивость.

В зависимости от функциональных свойств пропитки условно подразделяются на упрочняющие, водоотталкивающие, обеспыливающие, окрашивающие.

На российском рынке строительной отрасли представлен широкий спектр пропиток – упрочнителей бетона. При обработке поверхности упрочняющей пропиткой можно увеличить прочность покрытия в 2-3 раза [9]. Ретроспективный анализ состояния вопроса позволяет выделить четыре поколения упрочняющих составов и представить эволюцию развития жидких упрочнителей для бетона по их химическому составу [9].

Первое поколение: упрочнитель на основе фторсиликата магния известен с 1905 г., он представляет собой белый порошок, требующий разведения водой. Особенности: требует многократного нанесения на поверхность бетона, токсичен, возможно образование высолов на поверхности.

Второе поколение: упрочнитель на основе силикатов натрия и калия, известен с 1930 г. Особенности: вызывает щелоче-силикатную реакцию (ASR), что ведет к внутренним напряжениям, которые могут вызвать разрушение или трещинообразование бетона; крупный размер частиц и быстрое гелеобразование предотвращают глубокое проникновение в бетон.

Третье поколение: упрочнитель на основе силикатов лития, который после высыхания практически не растворяется водой в отличие от силикатов натрия и калия. Особенности: не расширяется и не вызывает щелоче-силикатную реакцию (ASR), нерастворим в воде и не поглощает воду, не образует высолы на поверхности, имеет меньший размер молекул, чем натриевые или калиевые упрочнители; проникая гораздо глубже в плотный бетон, герметизирует, упрочняет и уплотняет бетон.

Четвертое поколение: упрочнитель на основе коллоидных полисиликатов. Создан сравнительно недавно и прекрасно подходит для упрочнения бетона. Вследствие отсутствия щелочи в составе и присутствия наночастиц диоксида кремния не образует высолы. Особенности: не расширяется и не вызывает щелоче-силикатную реакцию (ASR), идеально подходит для упрочнения бетона на стадии подготовки поверхности.

В нашей практике неоднократно возникали вопросы экспертной оценки глубины пропитки и качества бетона, уложенного в конструкции различного назначения, предназначенные для разнообразных условий эксплуатации. В настоящее время отсутствует стандартная методика определения пропиточного раствора в бетоне. Так, определение латекса ВХВД-65 осуществляют на сколе непосредственно по окончании процесса пропитки, а именно, в течение 5-10 мин после извлечения бетонного изделия из пропиточного раствора, когда пропитанный слой бетонного изделия имеет характерный серо-голубой цвет, который ис-

чезает по мере высыхания бетона. Наличие пропиточного состава в количественном отношении определяют по сухому остатку этого раствора в навесках, получаемых послойным спиливанием по высоте скола [11]. ГОСТ 31383-2008 устанавливает визуальный метод оценки качества пропиточных покрытий, для проникающих составов – по показателю водонепроницаемости [12].

Рассмотрим конкретный пример оценки качества нанесенного на бетонную поверхность упрочняющего состава. При устройстве полов производственного складского комплекса завода Хенкель, расположенного в поселке им. Воровского Ногинского района Московской области, возникла необходимость оценки наличия или отсутствия упрочняющего верхнего слоя покрытия бетонного основания пола. Учитывая отсутствие стандартной методики определения пропитки поверхности бетона, поставленную задачу решали на основе комплекса самостоятельно подобранных и проведенных исследований физико-механических характеристик бетона по следующей программе:

1. Проведение визуального обследования поверхности железобетонной плиты пола с оценкой ее технического состояния визуальным методом: цвет, наличие дефектов (трещин, отслоений покрытия, сколов и т. п.).

2. Определение водонепроницаемости в соответствии с ГОСТ 12730.5 с использованием прибора Агама 2Р.

3. Определение прочности в соответствии с ГОСТ 17624 поверхностным прозвучиванием с использованием прибора УК 1401.

4. Определение истираемости в соответствии с ГОСТ 13087 посредством испытаний выбуренных образцов на различных участках пола.

Исследования проводили на участках плиты без снятия ранее нанесенного упрочняющего поверхностного слоя и на участках отфрезерованных, т. е. со снятым покрытием.

Сплошное визуальное обследование железобетонной плиты пола показало, что по внешнему виду поверхность плиты гладкая, лакированная, темно-серого оттенка влажного цемента; на увлажненной поверхности с близкого расстояния видна сетка волосяных трещины (рис. 1), на сухой поверхности эти трещины не видны; трещины усадочного характера, расположены хаотически.



Рис. 1. Фрагмент пола, на поверхности которого видны хаотично расположенные волосяные трещины

Определение с помощью лакмусовой бумажки рН водного раствора верхнего слоя покрытия, измельченного в порошок, показало синюю окраску, что свидетельствует о его щелочной среде – рН около 12 (рис. 2).



Рис. 2. Окрашивание лакмусовой бумажки в синий цвет (рН около 12).

Оценка водонепроницаемости

Плотность бетона оценивали маркой бетона по водонепроницаемости. Для оценки водонепроницаемости применен ускоренный метод определения водонепроницаемости бетона по его воздухопроницаемости. Испытания проводили по подготовленной фрезеровкой (шлифованием) поверхности в соответствии с ГОСТ 12730.5 (рис. 3).



Рис. 3. Фрагмент пола для испытания водонепроницаемости

Оценка воздухопроницаемости

В табл. 1 приведены показатели воздухопроницаемости поверхности бетонного основания пола на различных участках.

Таблица 1

Показатели воздухопроницаемости поверхности бетонного основания пола

№ п/п	Местоположение, оси	Сопротивление прониканию воздуха m_e , $с/см^3$	Марка по водонепроницаемости, W
1	K/6-7	48,6	16
2	Y/2	16,0	10
3	F-G/6-7	8,6	6
4	D-E/10	15,5	10
5	D-E/11-12	38,8	14
6	D-E/13-14	13,1	8
7	D-E/13-14	9,6	8
8	H-Y/12-13	17,2	10

Примечание: Участки 1 - 6 – без снятия поверхностного слоя; участки 7 и 8 – со снятым поверхностным слоем.

Как видно из приведенных данных, водонепроницаемость колеблется от марки W6 до W16. Разброс показателя водонепроницаемости на участках 1 - 6 объясняется наличием усадочных волосяных трещин на поверхности слоя. Тем не менее, водонепроницаемость на этих участках выше, чем на участках 7 и 8 примерно на 40%, что подтверждает эффективность пропитки поверхности, несмотря на образование усадочных деформаций верхнего слоя.

Оценка прочности бетона

Прочность бетона определяли методом поверхностного прозвучивания с использованием прибора УК 1401 с учетом данных, полученных путем параллельных испытаний по методу отрыва со скалыванием. Измерение скорости ультразвука на каждом участке проводилось в 6 точках. В каждой точке проводили не менее 3 измерений, фиксировали три отдельных показания, отклонение которых от среднеарифметического значения не превышало 2%. При измерениях прибор располагался примерно под углом 45° относительно направления арматуры, во взаимно перпендикулярном направлении. В табл. 2 приведены результаты определения прочности на исследованных участках покрытия.

Таблица 2

Результаты определения прочности покрытия

№ п/п	Местоположение, оси	Среднее значение показания прибора	Средняя прочность, МПа	Условный класс бетона, В
1	K/6-7	4400	38,4	30
2	Y/2	4400	38,4	30
3	F-G/6-7	4200	36,0	28
4	D-E/10	4300	37,2	29
5	D-E/11-12	4500	39,6	31
6	D-E/13-14	4300	37,2	29
7	F-G/12	3800	32,6	25
8	H-Y/12-13	3900	33,1	26

Примечание: Участки 1 - 6 – без снятия поверхностного слоя; участки 7 и 8 – со снятым поверхностным слоем.

Средняя прочность бетона на участках без снятия поверхностного слоя изменяется в диапазоне от 36,0 до 39,6 МПа, что соответствует условному классу бетона по прочности В28-В31, на участках со снятым поверхностным слоем условный класс бетона ниже на 33% и составляет В25-В26.

Оценка истираемости бетона

Для оценки истираемости бетона были выбурены образцы-керны на различных исследуемых участках. Испытания бетонных образцов-кернов по показателю истираемости выполнены в соответствии с ГОСТ 13087-81 «Бетоны. Методы определения истираемости». На рис. 4 и 5 показаны места выбуривания образцов.



Рис. 4. Определение места отбора керна

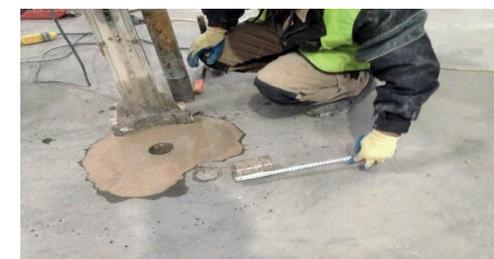


Рис. 5. Выбуривание образцов-кернов

Для испытаний были представлены восемь кернов, из которых шесть кернов – без снятия поверхностного слоя, два керна – со снятым фрезеровкой поверхностным слоем. Фактический диаметр кернов составлял 75 мм, внутренний размер стандартных кассет круга истирания – 70 мм. Вследствие этого были выполнены спилы с двух сторон по 5 мм от крайней стороны. Также для установки в кассетах круга истирания выполнено поперечное распиливание кернов до размеров 70-72 мм по высоте.

Испытания образцов проводили на круге истирания ЛКИ-3 (рис. 6), шлифовальное зерно № 16, по ГОСТ 3647-80 «Материалы шлифовальные. Классификация. Зернистость и зерновой состав. Методы контроля», с насыпной плотностью $(1,72 \pm 0,05)$ г/см³.

Полный период испытаний длился четыре цикла. Каждый цикл составлял 150 м пути. После каждых 30 м, или 28 кругов для круга истирания ЛКИ-3 образцы снимали с установки и меняли абразивный порошок. Истиранию подвергали нижнюю грань образца-керна. Перед испытанием и после четырех циклов испытаний образцы взвешивали.



Рис. 6. Образец-кern в кассете круга истирания ЛКИ-3

Результаты испытаний истираемости образцов представлены в табл. 3.

Таблица 3

Результаты испытаний истираемости образцов

Вид образцов	Номер образца, оси	Масса образцов до испытаний m_1 , г	Масса образцов после испытаний m_2 , г	Разница по массе $m_1 - m_2$, г	Площадь истираемой поверхности F , см ²	Истираемость образца G , г/см ²	Средняя истираемость G , г/см ²
Образцы без снятия поверхностного слоя	1 K/6-7	636	617	19	43,2	0,4	0,5
	2 Y/2	654	633	21	43,2	0,5	
	3 F-G/6-7	643	625	18	43,2	0,4	
	4 D-E/10	677	655	22	43,2	0,5	
	5 D-E/11-12	683	662	21	43,2	0,5	
	6 D-E/13-14	686	664	22	43,2	0,5	
Образцы со снятым поверхностным слоем	7 D-E/13-14	644	614	30	43,2	0,7	0,7
	8 D-E/13-14	668	638	30	43,2	0,7	

Контрольные образцы-керна со снятым поверхностным слоем имеют среднюю величину истираемости $0,7 \text{ г/см}^2$, для образцов бетона без снятия поверхностного слоя средний показатель истираемости образцов составляет $0,5 \text{ г/см}^2$, что на 29% ниже истираемости неупрочненного слоя бетона.

На основе комплекса описанных исследований получены следующие результаты.

1. Прочность бетона на участках без снятия поверхностного слоя составляет 37,8 МПа, прочность бетона на участках со снятым покрытием 32,9 МПа.

2. Истираемость бетона без снятия поверхностного слоя $0,4-0,5 \text{ г/см}^2$, истираемость бетона со снятым поверхностным слоем $0,7 \text{ г/см}^2$.

3. Водонепроницаемость бетона колеблется от марки W6 до марки W16. Разброс показателя водонепроницаемости на участках объясняется неравномерностью толщины слоя железнения от 2 до 0,5 мм и наличием усадочных волосяных трещин на поверхности слоя. Водонепроницаемость на участках без снятия поверхностного слоя выше, чем на участках со снятым поверхностным слоем, примерно на 40%.

4. По внешнему виду поверхность плиты пола гладкая, лакированная, темно-серого оттенка влажного цемента. На увлажненной поверхности с близкого расстояния видна сетка волосяных трещины (см. рис. 5 и 6), на сухой поверхности эти трещины не видны. Трещины усадочного характера, хаотически расположены.

5. Определение pH водного раствора верхнего слоя покрытия, измельченного в порошок, свидетельствует о его щелочной среде – pH около 12 (рис. 7).

Таким образом, на основе визуального обследования и комплекса исследований физико-механических свойств бетона (прочности, плотности и истираемости) установлено, что поверхность пола имеет поверхностный упрочняющий слой толщиной до 2,0 мм в виде смеси цемента с добавлением специальных упрочняющих добавок, т. е., по существу, выполнено усиление рабочей поверхности пола (железнение).

Учитывая изложенное, представляется необходимым разработать более развернутую методику контроля качества железобетонных конструкций, на поверхность которых нанесены упрочняющие составы. Для этого необходимо проведение соответствующей НИР/НИОКР, по результатам которой будет разработано Пособие (или методика) по оценке качества пропитки бетона различными упрочняющими материалами. НИР/НИОКР должна включать анализ нормативной базы, в том числе европейских норм, регламентирующей свойства и назначение используемых составов, критерии их эффективности. Кроме того, оценка качества пропитки должна включать качественный и количественный анализы. Эти показатели необходимо включать в соответствующие разделы технических условий на пропитываемые материалы.

Выводы

1. Отсутствие четких критериев эффективности пропиточных составов и методики их оценки не позволяет правильно оценивать технические возможности используемых материалов.

2. Необходимо разработать единую нормативную базу по классификации пропиточных составов для бетонов и методов оценки качества пропитки.

3. Целесообразно разработать развернутую методику контроля качества железобетонных конструкций, на поверхность которых нанесены упрочняющие составы. Для этого необходимо

проведение соответствующей НИР/НИОКР, по результатам которой будет разработано Пособие (или методика) по оценке качества пропитки бетона различными упрочняющими материалами.

Список литературы

1. *Батраков В.Г.* Модифицированные бетоны. Теория и практика. – М.: Технопроект, 1998. 768 с.
2. *Добавки в бетон / В.С. Рамачандран, Р.Ф. Фельдман, М. Коллепарди [и др.].* – М.: Стройиздат, 1988. 575 с.
3. *Ткач Е.В., Орешкин Д.В., Семенов В.С., Грибова В.С.* Технические аспекты получения высокоэффективных модифицированных бетонов заданных свойств // Промышленное и гражданское строительство. 2012. №4. С. 65-67.
4. *Фаликман В.Р.* Наноматериалы и нанотехнологии в современных бетонах // Промышленное и гражданское строительство. 2013. №1. С. 31-34.
5. *Каприелов С.С., Шейнфельд А.В., Кардунян Г.С.* Уникальные бетоны и опыт их реализации в современном строительстве // Промышленное и гражданское строительство. 2013. №1. С. 42-44.
6. *Шейкин А.Е., Чеховский Ю.В., Бруссер М.И.* Структура и свойства цементных бетонов. – М.: Стройиздат, 1979. 344 с.
7. *Розенталь Н.К.* Коррозионная стойкость цементных бетонов низкой и особо низкой проницаемости. – М.: ФГУП ЦПП, 2006. 520 с.
8. *Шейнфельд А.В.* Особенности формирования иерархической микро- и наноструктуры цементных систем с комплексными органоминеральными модификаторами // Бетон и железобетон. 2016. №2. С. 16-21.
9. *Войлоков И.И.* Материал для пола: полированный бетон или топ-пол // Склад и Техника. 2018. №9. С. 16-21.
10. *Королев Е.В., Смирнов В.А., Земляков А.Н.* Идентификация новообразований, обусловленных щелоче-силикатной реакцией // Вестник МГСУ. 2013. № 6. С. 109-116.
11. ТУ 6-01-1181-87 Сополимеры.
12. ГОСТ 31383-2008 Защита бетонных и железобетонных конструкций от коррозии. Методы испытаний.
13. ГОСТ 12730.5-2018 Бетоны. Методы определения водонепроницаемости.
14. ГОСТ 17624-2012 Бетоны. Ультразвуковой метод определения прочности.
15. ГОСТ 13087-2018 Бетоны. Методы определения истираемости.
16. ГОСТ 3647-80 Материалы шлифовальные. Классификация. Зернистость и зерновой состав. Методы контроля.

Информация об авторах/Information about authors

Вячеслав Владимирович РЕМНЕВ, д-р техн. наук, профессор, руководитель Центра специальных бетонов и конструкций НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва.

Vyacheslav REMNEV, D. Sci (Engineering), Full Professor, Head of the Center for Special Concrete Structures NIIZH named after A.A. Gvozdev JSC Research Center of Construction, Moscow.

Лидия Ивановна КОШЕЛЕВА, начальник отдела новых технологий и мониторинга НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва.

Lidiya KOSHELEVA, head of the Department of New Technologies and Monitoring NIIZH named after A.A. Gvozdev JSC Research Center of Construction, Moscow.

Даниил Геннадьевич РЯЗАНЦЕВ, ведущий специалист отдела новых технологий и мониторинга НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва.

Daniil RYAZANTSEV, leading specialist of the department of New technologies and Monitoring NIIZH named after A.A. Gvozdev JSC Research Center of Construction, Moscow.