

УДК 691.327:725.4

**С.Ф. КОРЕНЬКОВА**доктор технических наук, профессор кафедры строительных материалов  
Самарский государственный архитектурно-строительный университет**Е.М. РУДАКОВА**аспирант кафедры строительных материалов  
Самарский государственный архитектурно-строительный университет**МОДИФИКАЦИЯ БЕТОНА ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ РЕМОНТНЫХ РАБОТ  
НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ***MODIFICATION OF CONCRETE IN THE PRODUCTION  
OF REPAIR WORKS AT THE INDUSTRIAL ENTERPRISES*

*Промышленный комплекс в России имеет многолетнюю историю и долгий срок эксплуатации строительного фонда. Из-за износа оборудования материал строительных конструкций подвергается коррозии и постепенно разрушается. Для увеличения срока службы проводятся ремонтные работы, а также профилактические мероприятия для уменьшения степени влияния среды на материал конструкции. Одним из методов является пропитка бетонных поверхностей специальными составами. Ими могут быть полимеры, мономеры, растворы и расплавы серы и прочее.*

**Ключевые слова:** бетон, бентонополимер, стирол, метилметакрилат, пропитка.

Промышленный комплекс Российской Федерации унаследовал производственные мощности от бывшего СССР, многие из которых построены в годы первых пятилеток. Часть заводов была эвакуирована в тыл во время Великой Отечественной войны в разные города. Научно-технический прогресс не стоит на месте, и оборудование не только очень изношено, но и устарело морально. По этой причине в настоящее время происходит реконструкция крупных предприятий.

Часто материалы основных несущих конструкций испытывают влияние непосредственного воздействия агрессивной среды. Для уменьшения опасного воздействия на природу и здоровье людей применяют фильтры и очистные сооружения. Одним из основных материалов несущих конструкций является железобетон. Из него изготавливают фундаменты, колонны, ригели, панели стен, плиты покрытия и перекрытия и т.д. Бетон впитывает в себя влагу из окружающей среды, т.е. испытывает активное действие паров газов, кислот, щелочей, техноло-

*Industrial complex in Russia has a long history and a long service life of the Building Fund. Because of the wear and tear the material constructions corrode and eventually destroyed. To extend the life of being renovated, and the preventive measures to reduce the degree of influence of the medium on the material of construction. One method is to soak the concrete surfaces by special trains. They can be polymers, monomers, solutions and melts the sulfur, and more.*

**Keywords:** concrete, polymer-impregnated concrete, vinylbenzene, methylmethacrylate, impregnation.

гических жидкостей и прочего. Последствия этого воздействия и характерные разрушения отражаются в отчетах по экспертизе промышленной безопасности опасных производственных объектов (рис. 1 и 2).

При проведении обследования по признакам устанавливаются категории технического состояния. В соответствии с видами повреждений выделяют четыре категории состояния конструкций: нормативное (исправное), работоспособное, ограниченно работоспособное, аварийное.

Если на поверхности конструкции нет видимых повреждений, трещины волосные (в отделочном слое), прочность бетона – не ниже проектной, а антикоррозионная защита не имеет нарушений, то состояние исправное.

При частичном повреждении антикоррозионной защиты, на поверхности железобетонных элементов проступают следы коррозии распределительной (конструктивной) арматуры или хомутов. Если антикоррозионная защита закладных деталей не нарушена, прочность бетона не ниже проектной,



Рис. 1. Коррозионное повреждение железобетонной опоры



Рис. 2. Коррозионное повреждение балок, плит покрытия и металла усиления

цвет бетона не изменен в результате пересушивания, то состояние работоспособное<sup>1</sup>.

Если оголена рабочая арматура и покрыта пластинчатой ржавчиной, имеются трещины в материале конструкции с превышением допустимых величин, наблюдается снижение прочности до 30 % и его крошение, гибели элементов превышают допустимые величины на 30 %, то состояние будет ограниченно-работоспособное.

Состояние конструкции считается аварийным, если наклонные и вертикальные трещины раскрыты более чем на 0,5 мм, произошло отслоение поверхностного слоя бетона до 50 мм, цвет изменился от огневого воздействия, наблюдается недостаточная величина опирания конструкций, плиты смещены относительно проектного положения.

Большинство повреждений в несущих конструкциях на предприятиях химического и нефтехимического комплексов связано с коррозией бетона, материала несущих элементов, арматуры в бетоне и кирпича. В результате этого происходит нарушение целостности конструкций, снижается несущая способность и уменьшается срок эксплуатации. Чтобы снизить риск отказов, применяют материалы специального назначения.

При ведении ремонтно-восстановительных работ необходимо придерживаться некоторых правил. В первую очередь, отбивают прокорродировавший

бетон, арматуру зачищают до блеска. Затем, в соответствии с требованиями расчета, проводят усиление: увеличивают площадь растянутой арматуры, устанавливают планки, пластины, уголки. Затем проводят обработку поверхностного слоя бетона. Для этого применяют специальные составы, помогающие упрочнить верхний слой конструкции, не утяжеляя ее.

Номенклатура пропиток обширна, и область их применения разнообразна. Невозможно перечислить все их виды, так как в большинстве случаев необходим реальный результат. При производстве работ ценятся параметры, необходимые преимущественно в данный момент. Это может быть полная пропитка, поверхностная (на различную глубину), создание защитного слоя. Также важно, каким эффектом будет обладать материал несущих конструкций, обработанный той или иной пропиткой.

Большинство пропиток – преимущественно жидкие. Степень их вязкости будет зависеть от глубины требуемой пропитки. Если она поверхностная с созданием защитного слоя, то для этого применяют расплавы жидкого стекла, полимеры (расправленные), олигомеры (к ним можно отнести эпоксидную смолу). Они обладают высокой степенью вязкости и поэтому не проникают в глубину пор. Их применяют в зависимости от сложности работ и важности сооружения. Для создания защитного слоя с тонкой пленкой используют полимеры и олигомеры. В этом случае степень вязкости должна быть определенной. Жидкость или состав не должны иметь такую теку-

<sup>1</sup> СП 13-102-2003. Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений. – М.: Госстрой России, 2004.

честь, чтобы они могли равномерно распределиться по поверхности железобетонного изделия и при полимеризации образовать тонкий защитный слой. При добавлении в подобные составы минерального наполнителя получают новые материалы. Они применяются в том случае, если после проведения ремонтных работ поверхность должна будет обладать высокой степенью неровности.

При проведении восстановительных работ также требуется не только нанесение защитного слоя, но и поверхностная обработка самой конструкции. Для этого применяют пропиточные составы меньшей вязкости, чем при нанесении защитного слоя. Необходимым условием является смачиваемость конструкции жидкостью.

При более сложном изменении свойств бетона материал пропитывают на большую глубину. Величина пропитки будет в этом случае зависеть от необходимой величины, так как данный процесс контролируется. При полной пропитке происходит полное погружение конструкции в жидкость, а затем наблюдается процесс затвердевания и полимеризации. В основном для этого применяют жидкие мономеры: метилметакрилат и стирол. В процессе полимеризации образуется новый материал бетонополимер. Он обладает улучшенными свойствами по сравнению с обычным бетоном (табл. 1). Данный процесс не только дорогостоящий, но и достаточно трудоемкий при своем исполнении.

Таблица 1

Изменение свойств бетонополимера по сравнению с бетоном [1]

Свойство	Увеличение, разы
Прочность на сжатие M200	2,92
M300	4,15
M400	6,57
Морозостойкость в 10% р-ре хлористого натрия	10-15

Не менее актуальными являются пропитки с кольматирующим эффектом (заполнение пор – ложа канала, ствола скважины и т.п.) более мелкими водонерастворимыми частицами (то же что кольмат-таж, кольматирование). Это происходит тогда, когда после пропитки присутствуют растворенные частички солей или нерастворенные мелкодисперсные элементы. В процессе заполнения пор нерастворимые элементы осаждаются на их стенки, заполняя собой неровности и экономя пропиточные композиции.

В настоящее время бетонные и железобетонные изделия модифицируют поверхностными пропитками на основе серы<sup>2</sup>; нефтепродуктов<sup>3</sup>; синтетическими смолами; полиизоцианатами<sup>4</sup>; полимерами<sup>5</sup> и мономерами [1, 2].

Наиболее популярные мономеры, применяемые для пропиток, – это метилметакрилат и стирол. Изделия, пропитанные ими, прогреваются, и в результате реакции полимеризации получают бетонополимер. В этой области большой вклад внесли Ю.М. Баженов, В.И. Соломатов, Г.А. Туркестанов, Ю.А. Макаров [1, 2] и др. Они работали над созданием технологии получения нового материала, подготовкой составов для пропитки, способами пропитки и сушки изделия. Ими установлено, что процесс полимеризации мономеров в теле бетона достаточно сложный и применение в качестве пропитки данных жидкостей сопряжено с рядом условий. К ним относят следующие: мономеры в процессе полимеризации испаряются (до 1/3 от массы); из-за испарения жидкости возникают внутренние напряжения в теле бетона и образуются трещины [1]; процесс полимеризации протекает по термokatалитическому или радиационному процессу, что связано с затратами энергии, денежных средств; полная пропитка, с погружением изделия в мономер, возможна только на заводах или же требует сложного производственного процесса на строительной площадке; мономеры достаточно токсичны в жидком виде.

Установлено также, что мономеры обладают хорошей текучестью (табл. 2) и смачиваемостью. Жидкость проникает в самые мелкие поры и трещины, заполняя собой весь их объем. Для сокращения времени полимеризации в мономер вводят катализаторы и инициаторы реакции (табл. 3). Чтобы уменьшить потери мономера, при затвердевании создаются составы на основе мономеров, что также снижает их токсичность. Установлено, что при про-

<sup>2</sup> Мокрицкий К.И. Повышение коррозионной стойкости бетонных труб пропиткой расплавом серы: дис. ... к.т.н. 05.23.05. Харьков, 1984. 153 с.

<sup>3</sup> Пат. 2356872 Российская Федерация, МПК C04B41/64. Композиция для пропитки бетона / заявитель и патентообладатель Щепочкина Ю.А. - 2008101084/03; заявл. 09.01.2008, опубл. 27.05.2009 [Электронное издание].

<sup>4</sup> Пат. 2268269 Российская Федерация, МПК C08G18/02, C04B41/63, C09D175/04. Полиизоцианатная композиция для пропитки бетона и способ пропитки бетона / заявитель и патентообладатель Веселовский Р.А. - 2004104932/04; заявл. 17.02.2004, опубл. 20.01.2001 [Электронное издание].

<sup>5</sup> Пат. 2421482, МПК C08J11/06, C08L101/06, C08L61/10, C08L61/24, B32B27/42. Полимерная композиция, содержащая в себе отходы материала, пропитанного полимерной смолой / Патентообладатель КОВЕРАЙТ СЕРФЭЙСИЗ ХОЛДИНГ ГМБХ (DE). - 2007146454/05; заявл. 12.05.2006, опубл. 20.06.2011 [Электронное издание].

Таблица 2

Вязкость жидкостей  $\mu$  в интервале температур 0-60 °С

Вещество	$\mu \cdot 10^3$ , Па·с, при температуре, °С							
	0	10	20	25	30	40	50	60
Вода	1,792	1,308	1,002	0,894	0,801	0,656	0,549	0,469
Стирол (фенилэтилен)	1,047	0,879	0,749	0,695	0,648	0,565	0,502	0,453

Таблица 3

Основные виды инициатора при полимеризации мономера

Вид инициатора	Концентрация, % (масс.)	Коэффициент степени насыщения пор мономером [1]
Перекись бензоила	1.2	0.33
	1.6	0.55
Перекись лаурила	3	0.52
	4	0.45
Гипериз	7	0.52
	9	0.38
Порофор	0.1	0.41
	0.3	0.39

питке конструкции на глубину более десяти сантиметров свойства нового материала конструкции не изменяются. Это существенно уменьшает расход мономера, энергии и дает возможность проводить работы на объекте.

При создании составов на основе мономеров важно, чтобы композиты хорошо работали между собой, скорость полимеризации при транспортировке не увеличилась, а текучесть не уменьшилась. Введение в состав наполнителей повышает качества и свойства образовавшегося в порах бетона полимера. Для проведения экспериментов взяли два мономера – стирол и метилметакрилат.

Если рассматривать ряд мономеров, то на первом месте по активности полимеризации окажется стирол, а метилметакрилат – на последнем. Если говорить об активности радикала (а процесс полимеризации протекает по радикальному виду), то здесь происходит все наоборот. Исходя из этого, можно сделать вывод, что сам процесс полимеризации этих мономеров по отдельности идет более медленно и требует высокой температуры.

На основании многочисленных опытов приходят к тому, что метилметакрилат является наиболее технологически приемлемым и удобным сополимером. Совместная полимеризация двух мономеров происходит существенно быстрее и характеризуется образованием кристаллической решетки, а также количеством улетучивающегося мономера [2]. В результате химической реакции образуется полистиролметилметакрилат, обладающий более прочной структурной сеткой и прочностью. Он также более химически стоек.

Путем проведения ряда лабораторных экспериментов пришли к выводу, что наилучший результат при предварительной полимеризации двух мономеров происходит при их мольном соотношении 2:1 (стирол – 2 части, а метилметакрилат – 1). Основная цель подбора соотношения заключалась в получении сополимеров с отношением вероятностного присоединения звеньев 1:1 (стирол : метилметакрилат) (табл. 4, рис. 3 и 4).

Заполнение микропор кристаллами полимера можно отнести к нанотехнологиям, что является ак-

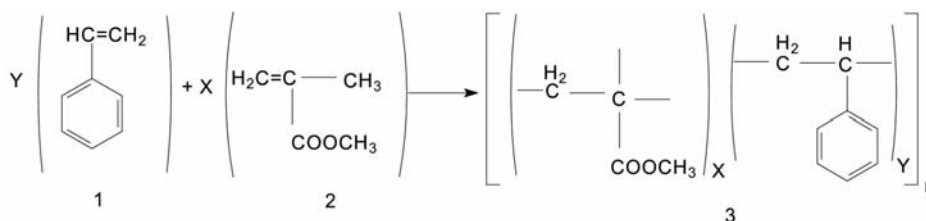


Рис. 3. Принципиальная схема сополимеризации стирола и метилметакрилата:  
1 – стирол; 2 – метилметакрилат; 3 – полистиролметилметакрилат

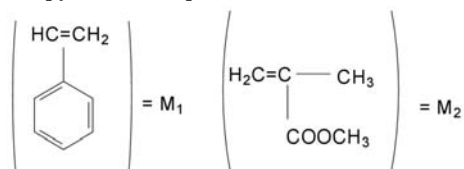
Таблица 4

Расчет процентного соотношения двух мономеров при изготовлении пропиточных составов [3]

Мольное соотношение, % мономеров		Состав исходной смеси (по массе), д.е.		Вероятность присоединения звеньев		Средняя длина последовательностей		Состав сополимера, звенья	
M <sub>1</sub>	M <sub>2</sub>	M <sub>1</sub>	M <sub>2</sub>	W <sub>11</sub>	W <sub>12</sub>	n <sub>11</sub>	n <sub>12</sub>	M <sub>1</sub>	M <sub>2</sub>
10	90	0,0965	0,9035	0,052	0,947	1,056	19,2	1	19
20	80	0,193	0,807	0,11	0,89	1,1	9,1	1	9
30	70	0,2918	0,7081	0,1764	0,824	4,67	5,67	4,7	5,7
40	60	0,3906	0,6094	0,25	0,75	1,33	4	1	4
50	50	0,4902	0,5098	0,333	0,666	1,5	3,0	1,5	3
60	40	0,59	0,406	0,469	0,530	1,89	2,13	1	1
70	30	0,691	0,308	0,5383	0,4615	2,17	1,86	1	1
80	20	0,794	0,206	0,667	0,333	3	1,5	2	1
90	10	0,896	0,154	0,751	0,248	4,025	1,33	4	1
66,67	33,33	0,658	0,3421	0,5	0,5	2	2	1	1

Примечание: M<sub>1</sub> – стирол; M<sub>2</sub> – метилметакрилат.

туальным научным направлением на сегодняшний день. В результате того, что полистиролметилметакрилат образуется в порах, его прочность будет выше, чем полистирола и полиметилметакрилата, которые получены суспензией по отдельности и достаточно хрупкие материалы.



Упростив схему, согласно табл. 4, получаем:  
- M<sub>1</sub>—M<sub>2</sub>—M<sub>1</sub>—M<sub>2</sub>—M<sub>1</sub>—M<sub>2</sub>—

Рис. 4. Расположение звеньев мономера в полимере

При рассмотрении рис. 3 видим, что полученный сополимер имеет длинную цепочку. На рис. 4 видно, как располагаются молекулы мономера в цепочке полученного полимера при мольном соотношении мономеров 2:1 (стирол : метилметакрилат).

В результате выполнения полного технологического процесса образуется новый материал с улучшенными свойствами. Самыми важными из них являются химическая стойкость и прочность, что необходимо при производстве ремонтно-восстановительных работ. Эти качества помогают увеличить межремонтные сроки и повысить сроки

эксплуатации зданий и сооружений, эксплуатируемых в агрессивных средах на предприятиях химического и нефтехимического комплексов. В результате экономятся строительные материалы.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Баженов, Ю.М. Бетонполимеры [Текст] / Ю.М. Баженов. – М.: Стройиздат, 1983.
2. Соломатов, В.И. Химическое сопротивление материалов. 2-е изд., перераб. и доп. [Текст] / В.И. Соломатов, В.П. Селяев, Ю.А. Соколова. – М.: РААСН, 2001. – 284 с.
3. Геллер, Б.Э. Практическое руководство по физикохимии волокообразных полимеров [Текст] / Б.Э. Геллер, А.А. Геллер, В.Г. Чиртулов. – М.: Химия, 1996. – 432 с.
4. Ерофеев, В.Т. Повышение биостойкости строительных материалов и изделий посредством пропитки их пористой структуры [Текст] / В.Т. Ерофеев, В.Ф. Смирнов, А.В. Дергунова // Известия КазГАСУ. – 2010. – № 2 (14). – С. 218-222.

© Коренькова С.Ф., Рудакова Е.М., 2013