

**УЛУЧШЕНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ  
АРБОЛИТОБЕТОНОВ МЕТОДОМ ПРОПИТКИ СЕРОЙ –  
ОТХОДОМ НЕФТЕГАЗОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ ЗАПАДНОГО КАЗАХСТАНА**

***Б.Р. Исакулов, А.С. Жив, А.М. Сарсенов***

---

Рассматривается использование принципа повышения физико-механических свойств легких бетонов путем пропитки серой – отходом нефтегазовой промышленности Западного Казахстана.

*Ключевые слова:* отходы; бетон; сера; арболит.

Опыт многолетней эксплуатации капитальных сооружений в различных климатических зонах Средней Азии и Казахстана по-

казывает, что одной из причин снижения долговечности всех типов инженерных сооружений, возведенных из безобжиговых строительных

материалов и изделий, является низкое качество антифильтрационной и изоляционной защиты. Многие из гидроизоляционных материалов, применяемых в строительстве для защиты капитальных сооружений, возведенных в суровых климатических условиях, не соответствуют требованиям как с точки зрения производства изоляционных работ, так и долговечности покрытия.

В условиях резкоконтинентального климата, большинство традиционных способов изоляции трудновыполнимо или вообще неприемлемо. Специфические свойства высоковязких гидроизоляционных веществ (размягчение и текучесть при высоких температурах, жесткость и растрескивание при низких и, главное, необходимость нагрева перед созданием изоляционного экрана) затрудняют механизацию производства работ, что приводит к неоправданному увеличению затрат материалов и ручного труда. Несмотря на большие успехи, достигнутые в области создания химически стойких цементов и морозостойких бетонов, в ряде случаев радикальным средством защиты от коррозии следует признать гидроизоляцию, выполняемую в виде водонепроницаемого экрана.

Отечественный и зарубежный опыт строительства и исследования показывает, что для гидроизоляции строительных конструкций, используемых для районов с суровыми климатическими и повышенными эксплуатационными условиями, наиболее эффективно применение пропиточной изоляции. В настоящее время существует более десятка различных способов пропитки структуры цементного камня, однако почти все новых приемов и различных методов создания антифильтрационных экранов указывают на то, что существующие способы по тем или иным причинам полностью не удовлетворяют предъявляемым к ним требованиям. Наличие значительного числа работ по затронутому вопросу указывает также на то, что область исследования пропитки очень сложна и разнообразна.

Пропитка строительных изделий, изготовленных из материалов как органического, так и неорганического происхождения, водонепроницаемыми составами является одним из наиболее надежных способов защиты строительных элементов от агрессивного воздействия внешней среды.

К. Вернер [1] рекомендует довольно интересный метод насыщения песка смолой, серой или каким-либо другим термопластичным веществом с последующим прессованием его при температуре смолообразования пропиточных материалов. По убеждению авторов, такие изделия могут быть применены для изготовления

различных водонепроницаемых облицовок, в качестве несъемной опалубки и т. д.

В отечественной и зарубежной практике сложились относительно правильные взгляды на гидроизоляцию строительных конструкций из бетона способом поверхностной пропитки. Согласно современным требованиям [2–5] исходные вещества, используемые для обеспечения антифильтрационной защиты строительных изделий, должны отвечать следующим условиям:

- быть не менее коррозионностойкими, чем основное изолируемое изделие;
- обладать соответствующей текучестью для более эффективного заполнения структуры бетонной матрицы.

Мы использовали в качестве пропиточного материала серу, являющуюся отходом газонефтедобывающих производств Республики Казахстан.

Используемая нами сера медножелтого цвета, плотностью  $1,96 \text{ г/ом}^3$  и с температурой плавления около  $120 \text{ }^\circ\text{C}$  проявляет стабильную устойчивость при комнатной температуре и в интервале температур от  $95,6$  до  $119,3 \text{ }^\circ\text{C}$  не размягчается. Используя ее для пропитки, можно получать легкие бетоны в виде арболита с высокой механической прочностью.

Наши исследования совместно с лабораторией строительных материалов Владимирского государственного университета и исследования ученых [3, 6, 7] показали, что использование серы для заполнения порового пространства бетонов весьма эффективно для повышения эксплуатационных характеристик этого строительного материала.

По данным О. В. Кунцевича и Н. А. Джаши [8], наибольший прирост прочности дают мелкозернистые бетоны состава 1:7,3 при  $V/C=0,8$ . При этом авторы констатируют, что прирост прочности у арболитобетонных образцов происходит исключительно за счет кольматации пор и пустот серой.

Для изучения физико-механических свойств арболита, пропитанного серой, нами были использованы три состава вяжущего арболитовой смеси:

А – гипсошламового арболита с составами вяжущих, % по массе (гипс : хромошлам : пиритной огарок) (табл. 1);

Б – шлакощелочного арболита с составами вяжущих, % по массе (цемент : зола : ЭТФ шлак : жидкое стекло : содосульфатная смесь) (табл. 2).

В – цементнозолошламового арболита с составами вяжущих, % по массе (цемент : зола : шлам) (табл. 3).

Марочная прочность контрольных образцов, пропитанных в расплавленной сере, составляла для составов А, Б и В соответственно:

- для гипсошламового арболита 1,8; 1,9; 2,1 МПа;
- для шлакощелочного арболита 1,7; 1,8; 1,83 МПа;
- для цементнозолошламового арболита 3,1; 3,1; 3,25 МПа.

По результатам этих испытаний установлено, что с увеличением содержания золы, шлака и шлама в арболите, привес серы в образцах распределялся следующим образом: после 24-часовой пропитки при нормальном атмосферном давлении образцы состава А увеличили массу на 7,7, 7,2 и 6,9 % (табл. 1), состава Б – на 6,9, 6,8 и 9,5 % (табл. 2) и состава В – на 7,1, 7,2 и 7,2 % (табл. 3).

Таблица 1

Изменение свойств гипсошламового арболита после пропитки серой

Состав вяжущего, % по массе (гипс, хромошлам, пиритной огарок)	Продолжительность пропитки, час	Привес серы, %	Прочность контрольных образцов, Rсж, МПа	Прочность пропитанных образцов, Rсж, МПа	Коэфф-т упрочнения Rсж, пропитанных/Rсж, контрол. образцов
60 : 40 : 0	2	3,1	1,8	3,6	2,0
60 : 40 : 0	5	3,5	1,8	4,5	2,5
60 : 40 : 0	10	6,7	1,8	6,1	3,39
60 : 40 : 0	4	7,7	1,8	8,6	4,8
60 : 30 : 10	2	2,9	1,9	3,9	2,1
60 : 30 : 10	5	3,4	1,9	4,7	2,6
60 : 30 : 10	10	6,5	1,9	6,2	3,4
60 : 30 : 10	24	7,2	1,9	8,7	4,6
60 : 25 : 15	2	2,95	2,1	4,3	2,05
60 : 25 : 15	5	3,4	2,1	5,7	2,7
60 : 25 : 15	10	6,5	2,1	6,5	3,1
60 : 25 : 15	24	6,9	2,1	9,2	4,3

Таблица 2

Изменение свойств шлакощелочного арболита после пропитки серой

Состав вяжущего, % по массе (цемент, зола, ЭТФшлак, жидкое стекло, содосульфатная смесь)	Продолжительность пропитки, час	Привес серы, %	Прочность контрольных образцов, Rсж, МПа	Прочность пропитанных образцов, Rсж, МПа	Коэфф-т упрочнения Rсж, пропит. \ Rсж, контрол. образцов
14 : - : 43 : 30 : 13	2	3,1	1,7	3,5	2,1
14 : - : 43 : 30 : 13	5	3,8	1,7	4,6	2,7
14 : - : 43 : 30 : 13	10	5,9	1,7	7,9	3,7
14 : - : 43 : 30 : 13	24	6,9	1,7	8,2	4,8
18 : 39 : - : 31 : 12	2	2,9	1,8	3,7	2,2
18 : 39 : - : 31 : 12	5	3,8	1,8	4,7	2,6
18 : 39 : - : 31 : 12	10	6,0	1,8	8,3	4,6
18 : 39 : - : 31 : 12	24	6,8	1,8	8,5	4,7
14 : 39 : 17 : 30 : -	2	3,2	1,83	3,6	1,97
14 : 39 : 17 : 30 : -	5	3,9	1,83	4,7	2,6
14 : 39 : 17 : 30 : -	10	6,0	1,83	7,9	4,3
14 : 39 : 17 : 30 : -	24	6,95	1,83	8,6	4,7

Изменение свойств цементнозолошламового арболита после пропитки серой

Состав вяжущего, % по массе (цемент, зола, шлам)	Продолжительность пропитки	Привес серы, %	Прочность контрольных образцов, Рсж, МПа	Прочность пропитанных образцов, Рсж, МПа	Коэфф-т упрочнения Рсж, пропит. \ Рсж, контрол. образцов
60 : 40 : 0	2	2,8	3,1	6,3	2,03
60 : 40 : 0	5	3,9	3,1	7,2	2,3
60 : 40 : 0	10	6,75	3,1	8,9	2,88
60 : 40 : 0	24	7,1	3,1	10,2	3,3
60 : 35 : 5	2	2,8	3,1	6,3	2,03
60 : 35 : 5	5	3,85	3,1	7,3	2,4
60 : 35 : 5	10	6,7	3,1	9,1	2,9
60 : 35 : 5	24	7,2	3,1	10,5	3,4
60 : 30 : 10	2	2,7	3,25	6,5	2,0
60 : 30 : 10	5	3,8	3,25	7,5	2,3
60 : 30 : 10	10	6,9	3,25	9,4	2,9
60 : 30 : 10	24	7,2	3,25	11,2	3,5

После 5-часовой пропитки вакуумированием эти величины возросли до 9,1 % для составов А, до 10,2 % для состава Б и до 8,1 % для состава В. После 5-часовой пропитки с предварительным вакуумированием образцов эти величины достигли соответственно 10,4; 10,5 и 9,7 %. Привес массы у образцов в зависимости от содержания золы, шлаков и шламов в арболите можно объяснить изменением структурной пористости пропитанного серой арболитобетона. На эту величину существенное влияние оказывает способ и продолжительность пропитки (табл. 1–3). Здесь уместно отметить, что присутствие серы во всех случаях приводит к увеличению механических свойств у образцов. Испытание пропитанных серой арболитовых образцов на сжатие показало, что все без исключения составы значительно повысили свою механическую прочность от 2,0 до 4,8 раза.

По нашим данным, глубина проникновения серы в капиллярно-пористое изделие увеличивается в два раза и более, если пропитываемый образец высушен до постоянной массы. В зависимости от того, какое количество остаточной влаги находится в подготовленном для пропитки образце, изменяются и механические свойства пропитанного арболита. Из вышеприведенных таблиц видно, что с увеличением продолжительности пропитки (до суток) идет интенсивный рост механической прочности у пропитанного серой арболита. Дальнейшая выдержка образцов в расплавленной сере существенного влияния на прочностные характеристики бетона не оказывает. Кинетика роста предела прочности арболита в процессе пропитки его серой показала, что

наибольшее относительное увеличение предела прочности на сжатие наблюдалось у образцов арболитов с цементнозолошламовым содержанием (цемент (60 %) : зола (30 %) : шлам (10 %)) составов. Однако эта разность ощущается весьма слабо и после 2–3-часовой пропитки практически выравнивается. При этом величина коэффициента упрочнения для составов А и Б равна 4,8, для состава В – 3,5.

Согласно теории Ю.М. Баженова [9], явление увеличения прочности объясняется несколькими причинами:

1. Наличием трехмерного каркаса, создаваемого мономером в порах арболитовой матрицы.
2. Увеличенной плотностью контактной зоны заполнителей с цементным камнем благодаря совместному адгезионному воздействию цементного геля и мономера;
3. Объемным заполнением пор, трещин и других технологических дефектов низковязкими мономерами, способствующим упрочнению контактной зоны цементного камня.

4. Поглощением и релаксацией энергии в процессе деформирования композиционной системы;

С нашей точки зрения, в случае использования серы, наиболее значительными являются причины под номерами 1, 2 и 3.

#### Выводы

1. В работе показана возможность повышения прочностных характеристик арболита путем пропитки отходами (серой) нефтегазовой промышленности Казахстана и применение его в производстве строительных материалов.

2. Проведенные эксперименты подтверждают перспективы получения легкого бетона

с улучшенными физико-механическими свойствами из изученных в данной работе промышленных отходов.

#### *Литература*

1. *Баженов Ю.М.* Некоторые особенности структуры, свойств и технологии бетонополимеров // Перспективы применения бетонополимеров и полимербетонов в строительстве. М.: Стройиздат, 1976.
2. *Вернер К.* Патент СССР № 12571, 1930.
3. *Касымов И.К., Федотов Е.Д.* Пропитка цементного камня органическими вяжущими. Л.: Стройиздат, 1981.
4. *Кунцевич О.В., Джаши Н.А.* Использование серы для повышения физико-механических свойств мелкозернистых бетонов // Повышение долговечности промышленных зданий и сооружений за счет применения полимербетонов. М., ЦНИИС, 1978.
5. *Москвин В. М., Эркенов М. М.* Пропитка свай битумными материалами с применением поверхностно-активных веществ // Бетон и железобетон. 1976. № 6.
6. *Патуроев В.В.* и др. Разработка режимов пропитки золобетонов расплавах серы // Архитектура и строительство Узбекистана. 1978. № 11.
7. *Покровский Н.С.* Пропиточная гидроизоляция бетона. М.: Энергия, 1964.
8. *Патуроев В.В., Волгушев А.А.* Основные характеристики бетонов, пропитанных серой. М.: ЦНИИС, 1978.
9. *Рыбьев И.А.* Технология гидроизоляционных материалов. М.: Высшая школа, 1964.