



УДК 69.059.4

В.М. Латыпов – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой строительных конструкций

Т.В. Латыпова – кандидат технических наук, доцент

А.Н. Авренюк – аспирант, инженер

Уфимский государственный нефтяной технический университет (УГНТУ)

РАЦИОНАЛЬНЫЕ СПОСОБЫ ПОДГОТОВКИ ПОВЕРХНОСТИ БЕТОНА ПРИ РЕМОНТЕ КОНСТРУКЦИЙ ПОСЛЕ ДЕСТРУКТИВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ СЕРОСОДЕРЖАЩИХ СОЕДИНЕНИЙ

АННОТАЦИЯ

В статье показана необходимость тщательного удаления продуктов коррозии бетона после деструктивного воздействия серосодержащих соединений при восстановлении конструкций. Приведены рациональные способы подготовки поверхности бетона, обеспечивающие сохранение высокого уровня адгезии ремонтных составов на весь послеремонтный период эксплуатации.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: Ремонт бетона, воздействие сульфатов, очистка поверхности.

V.M. Latypov – doctor of technical sciences, professor, head of Building Designs department

T.V. Latypova – candidate of technical sciences, associate professor

A.N. Avrenyuk – post-graduate student, engineer

Ufa State Petroleum Technical University (USPTU)

RATIONAL WAYS OF PREPARATION OF CONCRETE SURFACE AT DESIGNS RESTORATION AFTER DESTRUCTIVE INFLUENCE OF SULFUR-CONTAINING COMPOUNDS

ABSTRACT

The necessity of careful removal of corrosion products of reinforced concrete after destructive influence of sulfur-containing compounds at designs restoration is shown. Rational ways of preparation of concrete surface, providing preservation of high level of adhesion of repair composites for all period of after repair operation are discussed.

KEYWORDS: Concrete restoration, influence of sulphates, surface clearing.

Ремонт бетонных и железобетонных конструкций после деструктивного воздействия серосодержащих соединений (при II и III виде коррозии) часто бывает неэффективным вследствие скорого отслоения ремонтных покрытий. Причина этого – сохранение сульфатизированного слоя даже при тщательной на первый взгляд подготовке поверхности перед ремонтом и, как следствие, образование в контактной зоне «покрытие – бетон основы» расширяющихся соединений типа гидросульфатоалюмината кальция (ГСАК) – продукта взаимодействия сульфатов с алюминатной фазой материала покрытия. Появление в контактной зоне внутренних напряжений приводит к отслоению ремонтного покрытия [1, 2].

На рис. 1 приведен характерный состав корродированного слоя бетона при воздействии

серосодержащих сред, определенный по результатам химического, рентгенофазового и микрорентгеноструктурного анализов. Во всех случаях корродированный слой делится на 2 зоны [3]:

- внутреннюю, имеющую достаточно высокую прочность (сульфатизированный слой);
- внешнюю, прочность, которой может быть очень мала (при микробиологической коррозии этот слой оплывает под собственным весом).

Отслоение покрытия может произойти даже при использовании для ремонта обычных растворов на средне- или высокоалюминатном цементе. Большинство же современных ремонтных составов, поставляемых в виде сухих смесей, с целью обеспечения безусадочности (усадка – один из главных недостатков ремонтного материала, способствующих

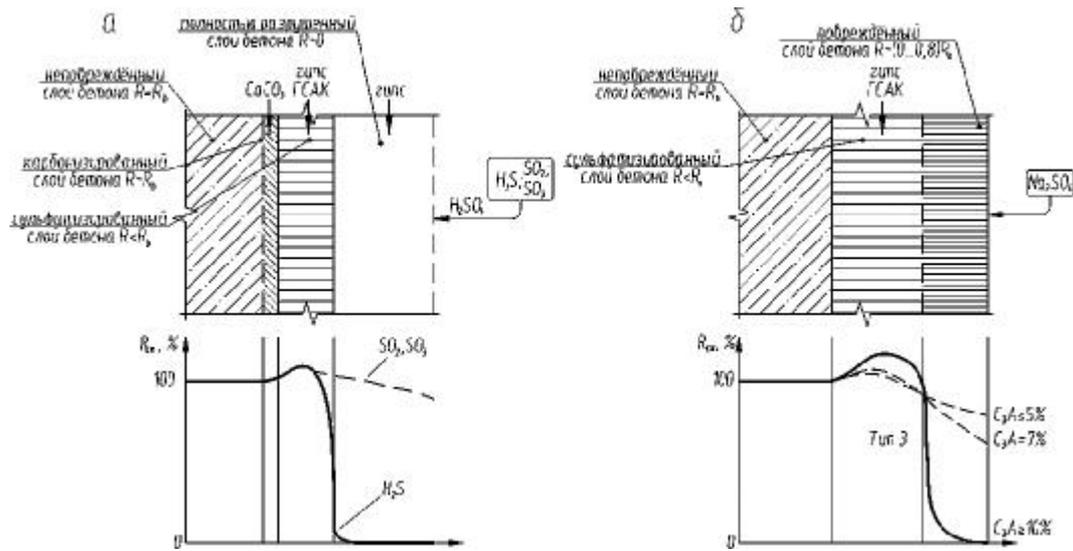


Рис. 1. Схема коррозионного воздействия соединений серы на бетон:

а – при микробиологической коррозии и воздействии сернистых газов; б – при сульфатной коррозии, R – прочность бетона

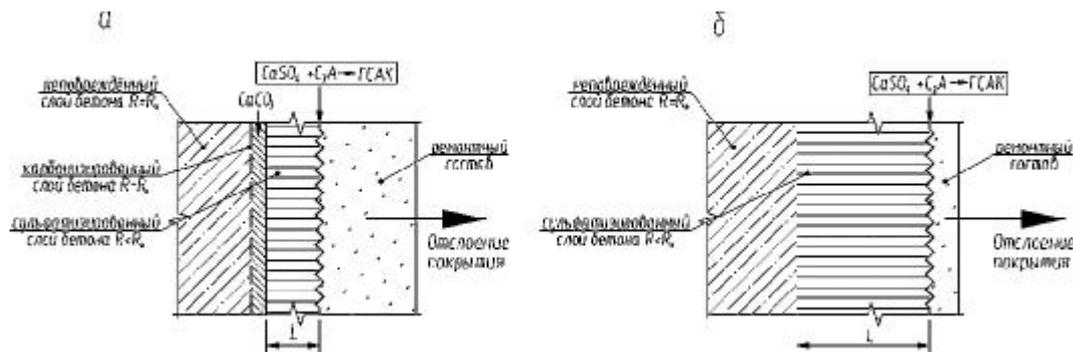


Рис. 2. Отслоение ремонтного состава из-за развития сульфатной коррозии

в контактной зоне «сульфатизированный слой – ремонтный состав» (L – слой, подлежащий обязательному удалению):

а – при микробиологической коррозии и воздействии сернистых газов; б – при сульфатной коррозии

снижению адгезии и появлению микротрещин) имеют в своем составе повышенное содержание алюминатов (C_3A). Это обеспечивает образование дополнительного количества соединений типа этtringита в контактной зоне «бетон основы – ремонтный состав» с последующим отслоением покрытия (рис. 2).

Помимо сульфатизированного слоя, в случае микробиологической коррозии и воздействия сернистых газов, в составе корродированного слоя присутствует также карбонизированный слой, что обусловлено опережающей диффузией в бетон углекислого газа по сравнению с H_2S , SO_2 и SO_3 (см. рис. 1а).

Поскольку в карбонизированном слое не содержится веществ, вызывающих протекание реакций с увеличением объема продуктов, он при подготовке поверхности и ремонте может быть сохранен. Кроме того, при ремонте материалами на цементной основе будет иметь место восстановление pH в этом слое за

счет миграции щелочей из нового покрытия, что исключит опасность коррозии арматуры.

Таким образом, при выборе способа очистки следует исходить из того, что обязательным условием является полное удаление лишь наружной (сульфатизированной) части корродированного слоя. Кроме того, при очистке не должно происходить повреждения структуры бетона.

В настоящее время применяется большое количество способов подготовки поверхности бетона перед ремонтом (табл.), с некоторой условностью их можно разделить на традиционные («сухие») и относительно новые способы водоструйной очистки («мокрые»), а также комбинированные и специальные способы. Существенными недостатками сухих способов являются необходимость обеспыливания и последующего увлажнения поверхности бетона, удаления использованного материала из зоны очистки и повреждение структуры бетона (появление



Обзор наиболее распространенных способов очистки

№ п/п	Наименование способа очистки	Производительность	Глубина очистки за один проход	Положительные качества	Отрицательные качества
1	2	3	4	5	6
Сухие					
1.	Механический ручной	1-5 м ² /час	1-10 мм	Полное удаление сульфатизированного и карбонизированного слоев. Возможность проведения рН-контроля на очищенной поверхности.	Высокая трудоемкость. Появление микротрещин. Необходимость обеспыливания и увлажнения поверхности.
2.	Механический механизированный	10-400 м ² /час	3-50 мм	Полное удаление сульфатизированного и карбонизированного слоев. Возможность проведения рН-контроля непосредственно на очищенной поверхности.	Появление микротрещин. Необходимость обеспыливания и увлажнения поверхности.
3.	Пескоструйный	50-300 м ² /час	1-5 мм	Полное удаление сульфатизированного и карбонизированного слоев. Возможность проведения рН-контроля на очищенной поверхности.	Высокая стоимость работ. Необходимость обеспыливания и увлажнения поверхности. Высокая степень загрязнения зоны очистки или необходимость специальной вакуумной улавливающей установки. Санитарно-гигиенические ограничения по использованию в конкретных условиях.
4.	Дробеструйный давлением 7 атм.	10-40 м ² /час	3-6 мм	Достаточно высокая производительность. Полное удаление сульфатизированного и карбонизированного слоев. Возможность проведения рН-контроля на очищенной поверхности. Создает высокую степень шероховатости поверхности.	Необходимость обеспыливания и увлажнения поверхности бетона, а также удаления использованного абразива из зоны очистки.
5.	Дробеструйный давлением 10 атм. и более	до 300 м ² /час	4-8 мм	Полное удаление сульфатизированного и карбонизированного слоев. Возможность проведения рН-контроля на очищенной поверхности.	Появление микротрещин. Необходимость обеспыливания и увлажнения поверхности бетона, а также удаления использованного абразива из зоны очистки.
Мокрые					
6.	Водоструйный давлением 100-250 атм.	50-100 м ² /час	1-3 мм	Происходит удаление лишь непрочной части сульфатизированного слоя и поверхностных загрязнений.	Сульфатизированный и карбонизированный слои полностью не удаляются.
7.	Водоструйный давлением 450-500 атм.	30-80 м ² /час	3-6 мм	Полное удаление сульфатизированного слоя. Высокая производительность. Невысокая стоимость производства работ. Осуществление необходимого увлажнения поверхности перед ремонтом.	Карбонизированный слой практически не удаляется, что затрудняет проведение рН-контроля на очищенной поверхности. Ограничение при использовании для очистки бетонов класса по прочности ниже В10. Невозможность использования мокрых видов очистки в конкретных условиях.
8.	Водоструйный давлением 550-600 атм.	40-90 м ² /час	4-8 мм	Полное удаление сульфатизированного слоя.	Карбонизированный слой практически не удаляется. Появляются признаки поверхностного повреждения структуры бетона класса по прочности В35 и ниже.



Таблица (продолжение)

№ п/п	Наименование способа очистки	Производительность	Глубина очистки за один проход	Положительные качества	Отрицательные качества
1	2	3	4	5	6
9.	Водоструйный давлением 800-900 атм. и более	50-100 м ² /час	до 12 мм	Полное удаление сульфатизированного слоя.	Карбонизированный слой удаляется лишь на треть. Происходит сильное повреждение структуры бетона класса по прочности В35 и ниже в виде трещин глубиной более 5 мм и выкрашивания зерен заполнителя.
10.	Водопескоструйный давлением до 250 атм.	100-300 м ² /час	1-5 мм	Полное удаление сульфатизированного и карбонизированного слоев. Возможность проведения рН-контроля на очищенной поверхности.	Достаточно высокая стоимость работ. Высокая степень загрязнения зоны очистки.
Комбинированные					
11.	Водоструйный давлением 150-250 атм. + механический (ручной или механизированный)	от 20 до 400 м ² /час	1-50 мм	Снижение трудоемкости при удалении непрочной части сульфатизированного слоя перед использованием механического способа.	Появление микротрещин. Необходимость обеспыливания и увлажнения поверхности.
Специальные					
12.	Химический	150-400 м ² /час	3-6 мм	Удаление сульфатизированного и карбонизированного слоев в зависимости от используемого реактива.	Необходим индивидуальный подбор реактива по отношению к виду продуктов коррозии. Процессом трудно управлять. После химического воздействия поверхность бетона промывают водой и очищают от отслоившегося слоя бетона механическими способами. После промывки бетон должен быть проверен на рН.
13.	Огневой	5-60 м ² /час	3-6 мм	Удаление сульфатизированного и карбонизированного слоев.	Большая вероятность повреждения структуры поверхности бетона.

Условные обозначения:

-  – применение возможно при контроле состояния структуры очищаемой поверхности бетона;
-  – рекомендуется применение во всех случаях (повреждения структуры очищаемой поверхности бетона не происходит);
-  – остальные виды обработки могут применяться в индивидуальных случаях очистки по согласованию с проектной организацией.

микротрещин). Главным достоинством мокрых способов является их высокая производительность, а также одновременное глубокое водонасыщение бетона и отсутствие необходимости в обеспыливание поверхности. Благодаря этим преимуществам, водоструйный способ очистки рекомендуется в качестве основного в большей части современных технологических инструкций. Однако, параметры этого способа, определяющие возможность полного удаления сульфатизированного слоя без разрушения структуры бетона основы, до настоящего времени не исследованы.

С целью определения необходимых параметров метода водоструйной очистки (давления и

продолжительности воздействия) были проведены исследования, в ходе которых изучалась также возможность использования рН-контроля качества очистки поверхности, поскольку сохранение сульфатизированного слоя даже на небольших участках ремонтного покрытия. Исследования были проведены на натурном образце (фрагменте размерами 500x1000 мм) стенки железобетонной трубы самотечного коллектора d = 1000 мм после 35 лет эксплуатации. Толщина стенки трубы вследствие воздействия серной кислоты (продукта жизнедеятельности сульфатредуцирующих бактерий в процессе микробиологической коррозии) уменьшилась со 100 мм до 45-50 мм, на поверхности

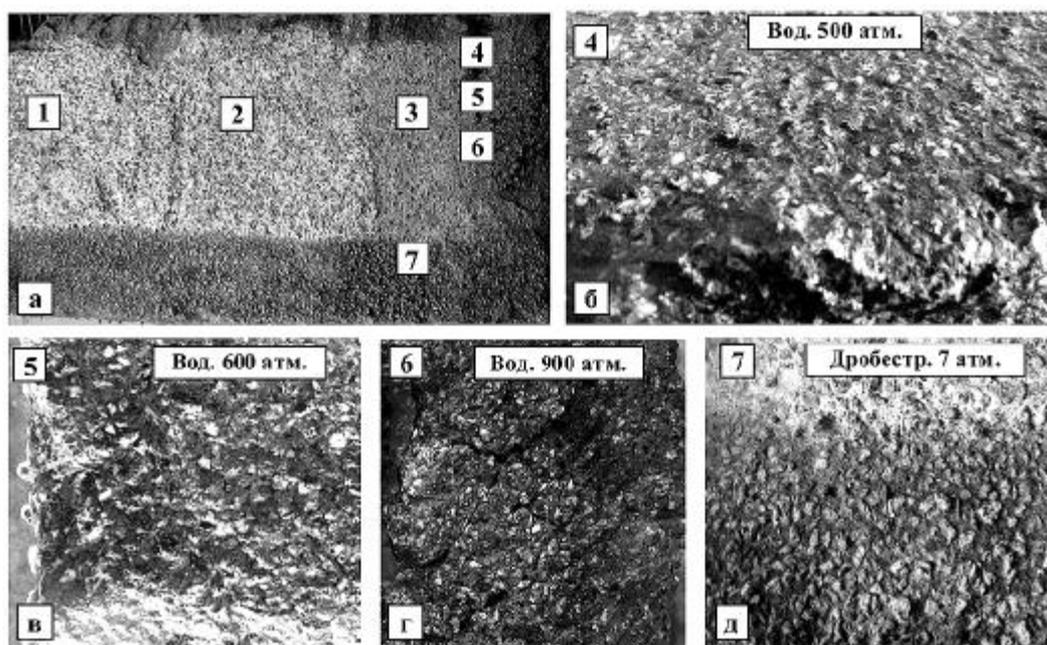


Рис. 3. Состояние поверхности бетона при различных способах очистки

обнаружены продукты коррозии, в основном, в виде слоя гипса толщиной около 15-20 мм.

Образец был разделен на зоны, каждая из которых подверглась определенному виду очистки: 1 зона – без обработки; 2-6 зоны – обработка водой под давлением 150, 250, 500, 600 и 900 атм. соответственно. Кроме того, для сравнения в 7 зоне была проведена обработка одним из наиболее эффективных сухих способов – дробеструйным, при помощи компрессора под давлением 7 атм. абразивным порошком из шлаков медеплавильного производства (рис. 3). Необходимая продолжительность обработки каждым из данных способов, которая составила 30-60 сек. на зону, была определена из условия, что при дальнейшей обработке степень очистки не изменяется.

Контроль качества очистки проводился двумя визуальными способами: первый – с помощью раствора фенолфталеина (рН-контроль), дающего контрастную малиновую окраску на поверхности бетона, с которого полностью удалены продукты коррозии (и сульфатизированный, и карбонизированный слой); второй – с сохранением на поверхности бетона сульфатизированного слоя, имеющего светло-коричневый цвет.

При оценке полученных результатов было выявлено три степени очистки:

- При обработке водой под давлением 150 и 250 атм. в различной степени удаляется лишь рыхлый наружный слой продуктов коррозии, а прочный переходный слой гипса светло-коричневого цвета остается. При этом очищенная поверхность индикатором не окрашивается (рис. 3а, зона 2 и 3);

- При обработке водой под давлением 500 атм.

сульфатизированный слой полностью удаляется, однако бетон принимает малиновую окраску лишь на 10 % площади, по-видимому, из-за сохранения внутреннего карбонизированного слоя. При обработке водой под давлением 600 атм. ситуация аналогична, поверхность окрашивается на 20 % площади, однако появляются признаки повреждения структуры бетона. При давлении 900 атм. и выше поверхность окрашивается на 30 % площади, однако при этом происходит сильное повреждение структуры бетона в виде трещин глубиной более 5 мм и выкрашивания зерен заполнителя (рис. 3б-3г, рис. 5);

- При дробеструйной обработке под давлением 7 атм. абразивным порошком из шлаков медеплавильного производства сульфатизированный слой продуктов коррозии удаляется полностью, а очищенная поверхность окрашивается в малиновый цвет на 90-95 % площади (т.е. карбонизированный слой также удаляется практически полностью, рис. 8), при этом расход абразива небольшой и составляет около 9-11 кг/м², абразив является экологически чистым материалом. Данный вид обработки полностью надежно удаляет корродированные слои, не повреждает поверхность, степень очистки легко контролируется; кроме того, создается высокая степень шероховатости поверхности, что увеличивает сцепление наносимого ремонтного состава с бетонной поверхностью.

Из данных рис. 4 и 5 следует, что рН-контроль позволяет надежно контролировать качество подготовки поверхности лишь при дробеструйной обработке. В случае же водоструйной обработки контроль качества очистки должен осуществляться лишь вторым визуальным способом – по полному

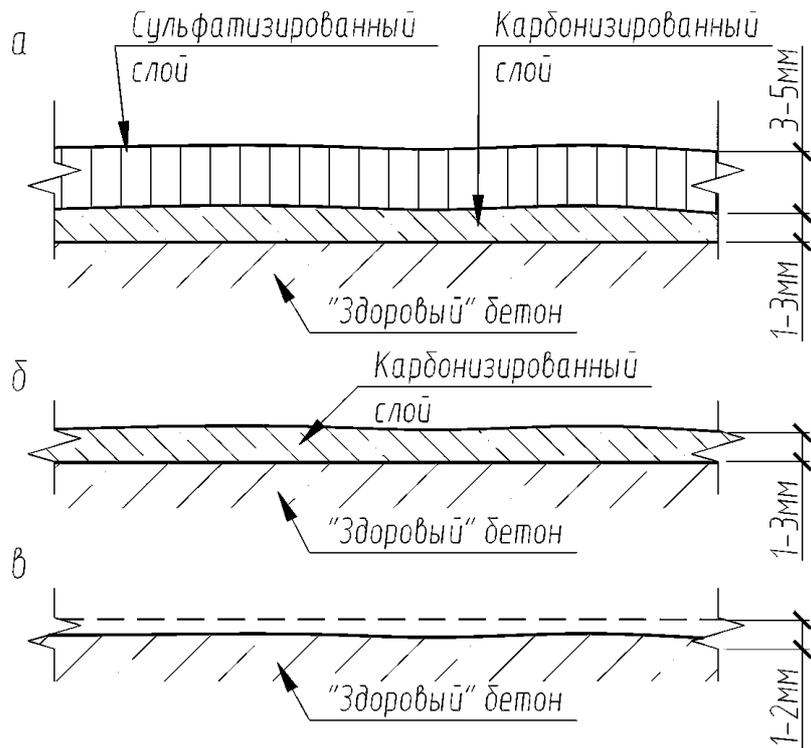


Рис. 4. Степень очистки поверхности бетона: а – при водоструйной обработке 250 атм., б – то же при 500 атм., в – при дробеструйной обработке 7 атм.

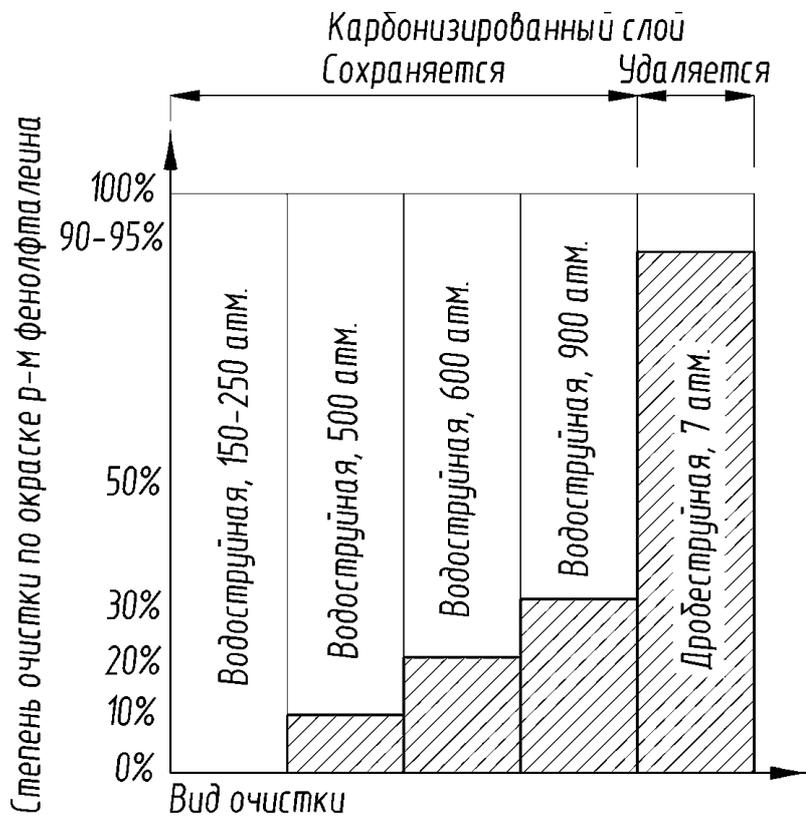


Рис. 5. Степень очистки поверхности по окраске раствором фенолфталеина (рН-контроль)

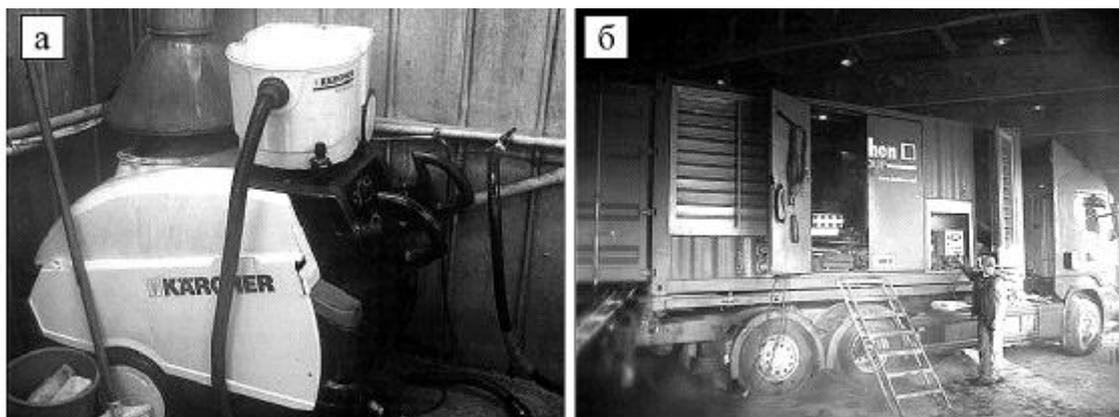


Рис. 6. Оборудование для водоструйной обработки под давлением:
а – до 250 атм., б – 500-1200 атм.

удалению светло-коричневого сульфатизированного слоя (рис. 3д).

Таким образом, параметры водоструйной обработки, обеспечивающие полное удаление сульфатизированного слоя при сохранении структуры поверхности бетона – это давление 450-500 атм. при продолжительности воздействия около 1 мин/м². Этот способ целесообразно рассматривать как основной при производстве ремонтных работ. Исключение составляют зоны, где использование воды невозможно, а также при обработке бетона класса по прочности ниже В10. В этом случае очистку необходимо проводить дробеструйным способом, хотя он имеет более высокую стоимость, включающую в себя стоимость дробы, работ по очистке, обеспыливанию, увлажнению поверхности и удалению использованной дробы из зоны очистки.

Таким образом, для очистки поверхности бетона перед ремонтом после деструктивного воздействия серосодержащих соединений в зависимости от условий проведения работ можно рекомендовать следующие два наиболее эффективных способа:

1. Водоструйный при давлении 450-500 атм.;
2. Дробеструйный при давлении 7 атм.

Необходимо отметить, что давление в 500 атм. может быть обеспечено лишь при использовании достаточно габаритного и дорогостоящего оборудования (рис. 6). При небольших объемах работ экономически может

быть целесообразно использование малогабаритного оборудования для очистки одним из двух других менее производительных способов:

3. Водоструйный при давлении 200-250 атм. + механический (ручным или механизированным инструментом);
4. Механический (ручным или механизированным инструментом).

Литература

1. Базанов С.М. Механизм разрушения бетона при воздействии сульфатов // *Строительные материалы*, 2004, № 9. – С. 46-47.
2. Латыпова Т.В. Качество подготовки поверхности перед ремонтом поврежденных железобетонных конструкций на объектах водоотведения // *Международное аналитическое обозрение «Цемент. Бетон. Сухие строительные смеси»*, 2007, № 3-4. – С. 83-86.
3. Латыпов В.М., Латыпова Т.В., Авренюк А.Н., Федоров П.А., Тимеряев Д.В., Кантор П.Л. Восстановление бетона и железобетона после деструктивного воздействия серосодержащих соединений // *Строительные материалы*, 2009, № 3.