

**СОВРЕМЕННЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ
ВОССТАНОВЛЕНИЯ, УСИЛЕНИЯ, ЗАЩИТЫ И ПРОДЛЕНИЯ
РЕСУРСА ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ**

Панков Борис Николаевич

Генеральный директор ИЦ «БАУ Кемикал»

В настоящее время огромное количество бетонных и железобетонных конструкций и сооружений имеют критические дефекты, находятся в разрушающемся состоянии и требуют срочного выполнения аварийно-восстановительных работ.

При этом надо признать, что вопросы безопасности у собственников сооружений стоят далеко не на первом месте. По данным российских ученых, 2009, 2010 и последующие годы будут ознаменованы большим количеством техногенных и экологических катастроф. Основным фактором, позволяющим делать подобный прогноз, является то, что большинство объектов промышленности, транспортного комплекса, коммунального хозяйства имеют срок эксплуатации от 20 до 50 лет, а некоторые – более ста лет. Многие из них (в основном, транспортные) даже не имеют обслуживающего персонала.

Поэтому процесс появления и развития разрушений практически не контролируется, а вопрос о необходимости ремонта ставится тогда, когда объект находится уже в аварийном состоянии.

Причины разрушения бетона и железобетона могут быть различными: воздействие окружающей среды, последствия эксплуатационных нагрузок на сооружения, низкое качество используемых бетонов, дефекты, возникающие из-за отсутствия проектных разработок по повышению срока службы или из-за небрежности, допущенной при строительстве.



Рис. 1. Фрагмент автомобильного моста через р.Протва
(состояние до ремонта)



Рис. 2. Автомобильный мост через р.Протва после ремонта материалами серии ЭМАКО

Отрасль, занимающаяся ремонтом бетона и железобетона, стоит перед большой проблемой: как ремонтировать, восстанавливать, защищать и продлевать срок службы существующего фонда бетонных и железобетонных конструкций. Часто лица, занимающиеся ремонтом (собственники, проектировщики, подрядчики), проявляют излишнюю самоуверенность, представляя себе ремонт бетона до банальности простым делом: в 99% случаев они ошибаются, и не случайно современные европейские стандарты придают большое значение подчинению ремонтного процесса инженеринговым требованиям, подчеркивая его практическую сложность.

Оценка результатов ремонта, произведенная через короткое время или, что еще хуже, сразу после выполнения работ, обычно иллюзорна. Лишь по прошествии большого срока (10 и более лет) могут проявиться недостатки материала и низкое качество ремонта: разрушение и отслоение бетона, шелушение и разрушение защитного слоя, трещинообразование, образование капиллярной пористости вследствие коррозии и выщелачивания. Невозможно добиться удовлетворительных результатов, если подходить к вопросам ремонта не критично, с позиций самодостаточности, упрощенно: в этом случае все сводится к удалению отставшего, разрушенного материала и его замене имеющимся на рынке материалом, который не обладает требуемыми специфическими характеристиками. Для подобного подхода типичны:

- отсутствие исследований;
- применение ошибочной технологии производства работ;
- выбор неподходящего материала;
- неправильная очередность производства работ;
- несоответствие контрактной документации целям ремонта.

За последние годы ситуация в какой-то мере изменилась: инженеры-строители и технологи по бетону и ремонту осознали тот факт, что:

- упрощенный подход к сохранению и ремонту может привести (как часто оказывается) к большим неудачам;
- для сохранения и ремонта сооружений требуется самый настоящий проект, основанный на знании действующих в каждом отдельном случае механизмов разрушения;
- для изучения указанных механизмов необходимо провести предварительные исследования;
- лишь знание механизмов и степени разрушения позволяет выбрать подходящую технологию производства работ;
- ремонтные материалы должны подбираться в соответствии с механизмами разрушения и технологией работ;
- выбор материалов должен осуществляться исключительно по их свойствам;

в свою очередь, для выбора материалов по свойствам следует определить характеристики и методы испытаний, а также классифицировать различные материалы и получить описание их технических характеристик.

С учетом всего изложенного Вашему вниманию предлагаются алгоритмы, технологии и материалы систем ЭМАКО и MASTERSEAL для ремонта, восстановления и защиты бетона и железобетона на различных стадиях разрушения.



Рис. 3. Пешеходный мост в Калининградской области (до ремонта)



Рис. 4. Он же (после ремонта материалами ЭМАКО и защиты материалом МАСТЕРСИЛ 540)

При осуществлении проекта перед началом ремонтных работ целесообразно осуществить следующие мероприятия:

- провести предварительные обследования и определить состояние сооружения;
- выполнить основные исследования;

Предотвращение аварий зданий и сооружений

- выбрать технологию ремонта в зависимости от площади и глубины разрушений и от типа структурных элементов;
- выбрать материалы в соответствии с требованиями и основными характеристиками;
- понятно и комплексно описать этапы производства работ;
- подготовить техзадание на подрядные работы;
- составить смету.



Рис. 5. Схема процесса выбора материала

Целью предварительного обследования является определение необходимости срочного ремонта для восстановления надежности сооружения, а также назначение серии испытаний для установления причин и величины дефектов в конструкции.

Основные исследования проводятся для определения причин разрушений, установления их площади и глубины, прогнозирования их распространения на ненарушенные части конструкции, оценки прочности бетона в сооружении, выявления влияния дефектов на надежность конструкции, а также для определения расположения всех участков, требующих ремонта или защиты. Наиболее часто исследования проводятся для определения возможных разрушений от химического воздействия (явления коррозии, воздействия сульфатов, агрессивных вод), физического воздействия (циклы замораживания/оттаивания, огонь), механического воздействия (толчки при землетрясении, удары, эрозия, истирание).



Рис. 6. Очистные сооружения.
г.Магнитогорк, левый берег
(до ремонта)



Рис. 7. Очистные сооружения.
г.Магнитогорк, левый берег
(после ремонта материалами ЭМАКО)

По данным проведенных исследований определяется состояние сооружения, причем разрушения обычно бывают различного характера, и поэтому для всех элементов конструкции требуются, в принципе, разные методы ремонта в зависимости от типа разрушений, глубины и площади пораженных участков.

Исходя из глубины повреждения, назначается технология работ по подготовке основы (старого бетона): водоструйная очистка под повышенным давлением (до 2000 атм.), очистка с помощью пневмодолота, промывка струей воды низкого давления (200-300 атм.) с созданием неровности поверхности 5 мм.

Основным условием успешного ремонта должна быть совместимость укладываемого материала с материалом основы. Использование материалов на полимерной основе должно обязательно ограничиваться работами по устройству защитных покрытий и специальными мероприятиями (такими как, например, омоноличивание стыков, замазка, ускоренный ремонт). В большинстве же случаев преимущество отдается цементным материалам, поскольку они обладают теми характеристиками, которые делают их похожими на бетон основы и совместимыми с ним. Обычные материалы на цементной основе применяться не могут: проблема состоит в усадке, вызывающей трещинообразование, напряжение в зоне контакта со старым бетоном и отслоение, что сводит на нет результаты ремонтных работ. Помимо монолитности и совместимости с основой необходимо обеспечить стойкость к агрессивному воздействию среды, т.е. требования к ремонтному цементному материалу должны быть:

- 1. Расширение, в том числе без влажностного ухода.** Предлагаемые материалы – предварительно смешанные, готовые к использованию смеси, содержащие расширяющие добавки. Это обусловлено типичным поведением материалов, заключающимся в их объемном расширении в первые 24 часа, величина которого позволяет компенсиро-

вать последующую усадку продукта на цементной основе (компенсированная усадка) или получить чистую конечную усадку. Столь короткая продолжительность усадки является значительным преимуществом по сравнению с имеющимися на рынке традиционными материалами, поскольку позволяет свести к минимуму необходимую работу по правильному влажностному уходу. В бетонах ЭМАКО раннее расширение происходит как на воздухе, так и в воде.

2. **Стойкость к агрессивному воздействию среды.** Материалы ЭМАКО стойки к карбонизации, обладают высокой водонепроницаемостью и стойки к проникновению и воздействию хлоридов.
3. **Удобоукладываемость: реопластичность и тиксотропия.** Материалы ЭМАКО, наносимые способом заливки, обладают ярко выраженной текучестью и самоуплотнением без виброинструмента, в том числе при бетонировании густоармированных элементов и конструкций со сложной конфигурацией. При нанесении распылителем или кельмой важно, чтобы было сцепление бетона как с вертикальными, так и с потолочными поверхностями, без оплывания бетона. Указанное свойство называется тиксотропией.
4. **Ударопрочность.** Высокая ударопрочность обеспечивается хорошей вязкостью. ЭМАКО SFR имеет показатель вязкости более 25, т.е. этот бетон в 25 раз более вязкий, чем соответствующая смесь Эмако без фиброусиления. Такое свойство достигается благодаря добавлению в бетон специальной высокоуглеродистой стальной жесткой фибры в весовой пропорции 7,5% к весу сухой смеси (фибра проклеена водорастворимым составом).

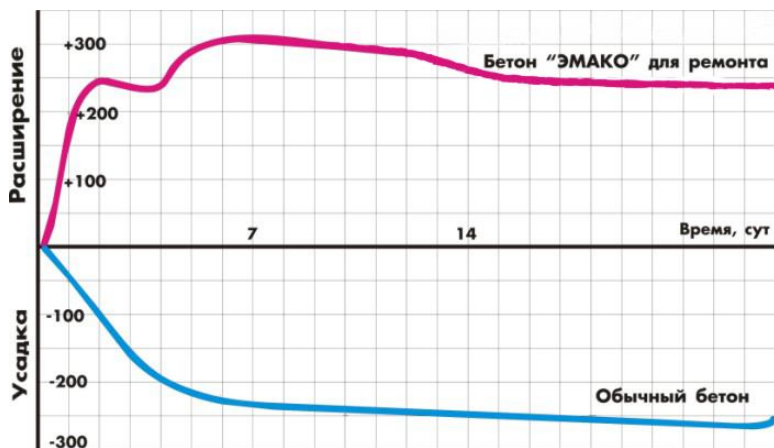


Рис. 8. Различие свойств бетонной смеси ЭМАКО и обычного бетона

Таблица 1

Физико-механические характеристики наиболее употребляемых бетонов
ЭМАКО 66, ЭМАКО 88, ЭМАКО 88С, ЭМАКО SFR

Характеристики	Значения (не ниже)
Прочность на сжатие, МПа	
через 24 часа	27
через 28 суток	65
Прочность на растяжение при изгибе, МПа	
через 24 часа	(10.0)*
через 28 суток	8.0 (15.0)*
Прочность сцепления со старым бетоном, МПа	
через 28 суток	2.5
Морозостойкость	F300
Сульфатостойкость, %	90
Стойкость к карбонизации через 10 лет (UNI 9944)	< 1 мм
Водонепроницаемость	W12
Стойкость к проникновению хлоридов (метод TEL)	< $10^{-12} \text{ м}^2 \text{ с}^{-1}$
Прочность сцепления со сталью, МПа	
через 28 суток	3.0
* В скобках указаны значения для фибробетона ЭМАКО SFR	

Защитные покрытия

«Здоровый» внешний вид сооружения может иногда ввести в заблуждение. Явления коррозии арматуры характеризуются длительным скрытым периодом, и когда повреждение проступает наружу (в виде трещин, отслоения, сколов кромок), время уже упущено, и конструкция требует обширного трудоемкого ремонта. При своевременном принятии мер процесс коррозии можно предотвратить путем создания экрана между структурным элементом и окружающей средой в виде защитной пленки, не допускающей воздействия на бетон агрессивных реагентов.

Нанесение защитного покрытия может понадобиться и после ремонта, в ходе которого не предусматривалось восстановление всей поверхности объекта. Это нужно для того, чтобы избежать ситуации, когда на частях арматуры в разнородной оболочке снова произойдет отслоение бетона и процесс коррозии возобновится.

В последние десятилетия предпочтение отдавалось укладке бетона без устройства покрытия для защиты от воздействия окружающей среды. Такая практика неоправданна ни с точки зрения природы этого материала (в силу пористости бетон сравним с природным камнем, подверженным разрушению; кроме того, металлическая арматура имеет свойство ржаветь), ни в силу результатов последних лет, когда наблюдается разруше-

ние многочисленных сооружений, поскольку бетон в большинстве случаев защитными свойствами не обладает. Поэтому на этапе проектирования и в течение срока службы сооружения целесообразно предусмотреть использование соответствующих защитных пленочных обновляемых покрытий для продления эксплуатационного срока объекта, в т.ч. на неопределенно долгую перспективу.



Рис. 9. Мост через р.Протва. Вид после ремонта материалами ЭМАКО и нанесения МАСТЕРСИЛ 540

Наиболее частой причиной разрушений является коррозия арматуры в железобетоне. Развитие этого процесса довольно типично: в течение ряда лет (скрытый период) сталь не претерпевает изменений (в условиях пассивации); затем начинаются электрохимические реакции, приводящие к коррозии, окислению и разбуханию стержней и сопровождаемые трещинообразованием, выщелачиванием бетона. Возникновение указанных реакций провоцируется в большинстве случаев следующими факторами:

- проникновение CO_2 в бетон (карбонизация), сопровождающееся снижением показателя pH, который из сильно щелочного превращается во все более кислый;
- проникновение в бетон хлоридов, ускоряющих коррозию;
- чередование циклов увлажнения/высыхания, способствующих карбонизации и коррозии.

Если не принять превентивных мер, то явление коррозии начинает проявляться уже через 2-3 года (иногда и через несколько десятилетий): срок зависит от разных факторов, среди которых концентрация CO_2 в атмосфере, качество бетона, толщина защитного слоя). В обоих вышеописанных случаях, т.е. пока защитный слой бетона еще не подвергся карбонизации на всю толщину, а концентрация хлоридов в зоне арматуры не достигла достаточного для начала коррозии уровня, нанесение защитного слоя, стойкого к проникновению диоксида углерода и хлоридов (в зави-

симости от ситуации), может остановить дальнейшее «поражение» бетона и предотвратить коррозию.

Воздействие на влажный бетон повторяющихся циклов замораживания/оттаивания вызывает хорошо известный тип разрушения конгломерата, заключающийся в раннем исчезновении поверхностной пленки и цементного теста с поверхности бетона, а затем и разрушении последующих слоев материала. При использовании бетона с вовлеченным воздухом и с низким водоцементным отношением материал хорошо выдерживает циклы замораживания/оттаивания. Как вариант, действие указанных циклов сводится на нет, если при помощи герметизирующей пленки создать барьер для намокания бетона.

Все защитные системы MASTERSEAL отличаются повышенными герметизирующими свойствами, т.е. препятствуют проникновению воды в бетон и сводят к минимуму попеременное воздействие замораживания и оттаивания. Однако следует иметь в виду, что не все продукты предназначены для постоянного или длительного контакта с водой (т.е. не подходят для гидротехнических сооружений).

В различных промышленных средах бетон может вступать в разрушительную реакцию с агрессивными химическими веществами. Самое простое средство защиты от такого вредного воздействия – изоляция от агрессивной среды с помощью соответствующих поверхностных пленок. Поверхностные герметики целесообразно применять во всех случаях, когда:

- качество бетона из-за недостатков проектирования или некачественного ремонта не обеспечивает требуемой стойкости к агрессивному воздействию среды;
- агрессивное воздействие настолько интенсивное (как в случае действия некоторых химических веществ), что железобетон не в состоянии противостать;
- сооружение находится в эксплуатации уже достаточно длительное время, чтобы появилась частичная карбонизация или поражение хлоридами, но эти процессы еще не проявились.

Можно и необходимо остановить или отодвинуть развитие таких явлений при помощи нанесения на бетон пленки, способной создать барьер для воздействия внешней среды, который будет препятствовать проникновению, с одной стороны, агрессивных реагентов и, с другой стороны, воды и кислорода, являющихся ингибиторами реакции, приводящей к разрушению бетона.

Требования, предъявляемые к защитным покрытиям для бетона, можно разделить на следующие категории:

- способность герметика изолировать бетон от агрессивных реагентов среды, т.е. способность создания барьера, служит, прежде всего, для защиты от воды в жидком состоянии, ионов хлора, диоксида углерода и

от кислорода, - веществ, которые активно участвуют в процессах коррозии; в отношении этих веществ защитная пленка должна, естественно, обладать наивысшей степенью непроницаемости. И, наоборот, эта пленка должна пропускать как можно больше водяного пара, иначе при колебаниях температуры в контактной зоне пленка-бетон может создаться давление пара, способное вызвать отслоение герметика;

- сцепление защитной пленки с бетонной основой, являющееся, естественно, очень важным свойством, должно быть повышенным, в т.ч. и при присутствии влаги в бетоне в момент нанесения пленки, что встречается очень часто;
- стойкость герметиков к воздействию агрессивных реагентов среды, т.е. их срок службы, проверяется по следующим параметрам: стойкость к ультрафиолетовому излучению, к чередующимся циклам замораживания/оттаивания и к истиранию;
- сохранение целостности пленки, нанесенной на уже существующие трещины, раскрытие которых обычно меняется вследствие температурных колебаний и усадки.

Наиболее трудновыполнимым является требование сохранения целостности герметика, когда трещины появляются уже после нанесения пленки на бетон (так называемое трещинозакупоривающее свойство). Для этих целей применяются эластомерные герметики.

Уход (кондиционирование) и защита в один прием. Для этих целей предлагается система MASTERSEAL FORMULA на основе полиуретановых и акриловых эластомеров в водной дисперсии, которая помимо трещинозакупоривающих свойств обладает повышенной способностью создания барьера.

Таблица 2

Материалы MASTERSEAL

Название материала	Краткое описание, характеристики	Возможное применение
MASTERSEAL 588 (540)	Двухкомпонентный. Относительное удлинение 23,4%. Восприимчив к вибрации и осадкам конструкций. Возможно применение армирующей сетки (входит в систему)	Гидроизоляция конструкций, защита бетона от карбонизации
MASTERSEAL 307 RAPID	Быстросхватывающийся праймер. Наносится в один-два слоя. Время высыхания первого слоя – 5 мин., второго – 1 час	Праймер при новом строительстве и ремонтных работах
MASTERSEAL 300B	Однокомпонентное антикоррозионное покрытие для арматуры. Толщина слоя – 2 мм (в два слоя). Время твердения одного слоя – 3-4 часа	Защита арматуры от коррозии

Название материала	Краткое описание, характеристики	Возможное применение
MASTERSEAL F1131	Однокомпонентное эластичное покрытие для бетона и каменной кладки. Способен перекрывать волосяные трещины. Устойчив к воздействию щелочей, CO ₂ и ультрафиолету. Наносится в два-три слоя.	Защита поверхности от карбонизации, воздействия воды и вредных веществ
MASTERSEAL 321B	Гидрофобизатор на водной основе. Предназначен для защиты пористых поверхностей. Не меняет внешний вид поверхности. Наносится методом напыления в один слой. Может наноситься на влажное основание. Не следует увлажнять поверхность в течение 4 часов после нанесения	Защита пористых конструкций от воздействия погодных условий и ионов хлора

Применение приведенных материалов позволяет снизить затраты по сравнению с традиционными методами в несколько раз и значительно продлить срок службы инженерных сооружений. Данные материалы и технологии широко используются в таких отраслях, как энергетика, транспорт, химическая промышленность, жилищно-коммунальное хозяйство и др.

На настоящий момент материалами EMACO и MASTERSEAL отремонтировано 70 промышленных дымовых труб, 12 градирен, более 50 автодорожных мостов и путепроводов, более 70 железнодорожных мостов и путепроводов системы ОАО «РЖД». Они применялись при монтаже технологического оборудования и ремонта несущих конструкций цехов на заводах «Северсталь», «Новолипецкий металлургический комбинат», ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат», ОАО «Челябинский металлургический комбинат», ЧТЭЦ 2, ЧТЭЦ 3, ЧГРЭС, ЧТЭЦ 1, Комбинат «Магнезит» (г.Сатка), ЗАО «Кыштымский медеэлектролитный завод», ОАО «Тулачермет», «Братский алюминиевый завод», ОАО «Белкалий», ОАО «Сильвинит» и др.