

## ОРГАНИЗАЦИЯ СОТРУДНИЧЕСТВА ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ (ОСЖД)

II издание

Разработано экспертами Комиссии ОСЖД по инфраструктуре и подвижному составу 11-13 сентября 2007 г., г. Хисар, Республика Болгария

Согласовано совещанием Комиссии ОСЖД по инфраструктуре и подвижному составу с 23 по 26 октября 2007 г., Комитет ОСЖД, г. Варшава

Утверждено XXIII заседанием Конференции Генеральных директоров (ответственных представителей) железных дорог ОСЖД 27 апреля - 1 мая 2008 г., г. Тегеран, Исламская Республика Иран

Дата вступления в силу: 01 мая 2008 г.

Примечание:

- теряет силу I издание Памятки Р 772/1 от 01.09.1983 г.;
- Памятка имеет обязательный характер для железной дороги УЗ

**O+P  
772/1**

### **РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ЗАЩИТЕ ОТ КОРРОЗИИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ МОСТОВ ИЗ БЕТОНА, ОБЫЧНОГО И ПРЕДНАПРЯЖЕННОГО ЖЕЛЕЗОБЕТОНА**

## 1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Одним из основных дефектов (повреждений) бетонных и железобетонных, в том числе преднапряженных, конструкций железнодорожных мостов является коррозия бетона и стальной арматуры. Коррозия приводит к существенному уменьшению несущей способности и срока службы конструкций мостов.

Коррозия – необратимый процесс ухудшения характеристик и свойств материалов и конструкций в результате химического, физико-химического, электрохимического, биохимического воздействия агрессивных сред или электрического тока или процессов в самом материале.

Основными факторами, вызывающими коррозию, является воздействие:

- газообразных агрессивных сред, содержащих кислые газы –  $CO_2$ ,  $SO_2$ ,  $H_2S$  и т.п., а также  $NH_3$ ;
- твердых агрессивных сред – растворимых гигроскопичных солей, пыли, аэрозолей, а также грунтов выше уровня грунтовых вод с повышенным содержанием хлоридов и сульфатов;
- неорганических жидких агрессивных сред – грунтовых, подземных, техногенных вод, вод водоемов с повышенным содержанием хлоридов, сульфатов, других солей, кислот и т.п.,
- органических жидких сред – нефтепродуктов, минеральных и растительных масел, растворов органических кислот и т.п.;
- токов утечки и блуждающих токов от источников постоянного тока;
- биологически активных сред – грунтов, сточных вод, содержащих грибы, серные бактерии и т.п.

В зависимости от показателей скорости коррозии степень воздействия среды на конструкции может быть: неагрессивная; слабоагрессивная; среднеагрессивная; сильноагрессивная.

Чистый атмосферный воздух вызывает карбонизацию бетона, потерю им защитных свойств относительно арматуры и в условиях повышенной влажности обладает слабоагрессивной степенью воздействия на железобетонные конструкции.

Опасными для бетона и железобетона являются кислые агрессивные среды, степень агрессивного воздействия которых определяется рН.

Наиболее опасными для бетона являются сульфатсодержащие агрессивные среды, вызывающие сульфатную коррозию. В зависимости от содержания сульфатов грунтовые воды и грунты выше уровня грунтовых вод характеризуются степенью агрессивного воздействия, указанной в табл.1.

Опасными для стальной арматуры являются среды, содержащие хлориды.

Опасными для железобетонных конструкций являются токи утечки и блуждающие токи от источников постоянного тока, в первую очередь от рельсов на участках железных дорог, электрифицированных постоянным током. Критерием опасности для стальной арматуры является плотность тока утечки с нее более  $0,6 \text{ мА/дм}^2$ .

Содержание сульфатионов $SO_4^{2-}$		Степень агрессивного воздействия при $pH=6\div 9$ и отсутствии агрессивной углекислоты
в грунтовой воде, мг/л	в грунте, мг/кг	
до 250	до 500	неагрессивная
свыше 250 до 500	свыше 500 до 1000	слабоагрессивная
свыше 500 до 1000	свыше 1000 до 1500	среднеагрессивная
свыше 1000	свыше 1500	сильноагрессивная

На железобетонных мостах, расположенных на участках постоянного тока, ток утечки проявляет себя как пульсирующий однонаправленный, возникающий при прохождении подвижного состава с электрической тягой. Такой ток обуславливает коррозию бетона.

Существенно ускоряют коррозию:

- повышенная влажность;
- ошибки, допущенные при проектировании и строительстве;
- недостаточная плотность и водонепроницаемость бетона;
- недостаточная толщина защитного слоя бетона;
- наличие усадочных, усталостных, силовых трещин.

Защита от коррозии назначается в зависимости от вида агрессивной среды и степени ее агрессивного воздействия и предусматривает:

- организационные и конструктивные меры по снижению степени агрессивного воздействия или его предотвращению;
- первичную защиту – применение коррозионностойких для данной среды материалов и выполнение конструктивных требований;
- вторичную защиту – защитную обработку, пропитку поверхности конструкций, нанесение на них защитных покрытий;
- применение электрохимических способов.

Для защиты от коррозии конструкций, эксплуатируемых в суровых климатических условиях, должны применяться специальные дополнительные меры.

## **2. ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ И КОНСТРУКТИВНЫЕ МЕРЫ ПО СНИЖЕНИЮ СТЕПЕНИ АГРЕССИВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ИЛИ ЕГО ПРЕДОТВРАЩЕНИЮ**

При проектировании конструкций мостов для обеспечения их долговечности необходимо выполнить конструктивные требования, при которых обеспечивается отвод атмосферных осадков. В любом случае горизонтальные поверхности должны иметь уклон не менее 0,002.

За устоями мостов должны устраиваться дренажи для обеспечения отвода воды.

Предотвращение коррозии может быть достигнуто надежной гидроизоляцией конструкций.

Толщина бетонных неармированных конструкций должна быть не менее 200 мм, железобетонных, в т.ч. преднапряженных – не менее 120 мм, плит тротуаров – не менее 60 мм.

При воздействии на конструкции сульфатсодержащих агрессивных сред толщина бетонных неармированных конструкций не должна быть менее 300 мм, а железобетонных – 250 мм.

### 3. ПЕРВИЧНАЯ ЗАЩИТА

Первичная защита бетона и железобетонных конструкций от коррозии предусматривает:

- нормирование водонепроницаемости бетона;
- ограничение минимальной прочности бетона;
- ограничение минимального расхода цемента;
- ограничение водоцементного отношения;
- применение специальных цементов;
- применение добавок в бетоны;
- ограничение минимальной толщины защитного слоя;
- ограничение раскрытия трещин.

Требуемые марка бетона по водонепроницаемости, прочность и коррозионная стойкость бетона достигаются:

- подбором оптимального состава бетона с применением соответствующих добавок;
- соблюдением требований к качеству материалов для приготовления бетона, бетона и технологии его приготовления;

#### 3.1. Нормирование водонепроницаемости бетона

Основными показателями коррозионной стойкости бетона являются:

- марка по водонепроницаемости – гидростатическое давление в атмосферах, которое бетон выдерживает при стандартных испытаниях, не фильтруя воду;
- безнапорная водопроницаемость, обусловленная осмотическим, капиллярным давлением и другими давлениями коллоидно-химической природы.

Марка бетона по водонепроницаемости подземных и подводных конструкций не должна быть менее W4.

Марка бетона по водонепроницаемости не должна быть менее, при степени агрессивного воздействия среды:

- - слабоагрессивной – W4;
- - среднеагрессивной – W6;
- - сильноагрессивной – W8.

#### 3.2. Ограничение минимальной прочности бетона

Прочность бетона косвенно определяет его коррозионную стойкость. Для конструкций мостов рекомендуется применять бетон классов по прочности на сжатие не ниже значений, указанных в таблице 2.

При воздействии на конструкции агрессивных сред класс бетона не должен быть менее B30.

Указанные в таблице 2 классы бетона по прочности на сжатие окончательно определяются национальными нормативными документами.

Вид, армирование и условия работы конструкции	Класс бетона по прочности на сжатие, не ниже	Минимальная прочность на сжатие (с обеспеченностью 95 %) образцов-кубов с длиной ребра 150 мм, МПа
Бетонные неармированные конструкции	B25	25
Железобетонные конструкции с ненапрягаемой арматурой		
а) пролетных строений	B30	30
в) других элементов	B25	25
Предварительно напряженные железобетонные конструкции, в которых натяжение арматуры передается:		
а) на анкера	B30	30
б) на бетон	B35	35

### 3.3. Ограничение минимального расхода цемента

Расход цемента косвенно определяет способность бетона к адаптации – «самозалечиванию» коррозионных повреждений, т.е. долговечность бетона.

Расход цемента на 1 м<sup>3</sup> бетона не должен быть менее, для конструкций мостов:

- - бетонных неармированных – 200 кг;
- - железобетонных с ненапрягаемой арматурой – 240 кг;
- - железобетонных преднапряженных – 300 кг.

### 3.4. Ограничение водоцементного отношения

Водоцементное отношение  $B/C$  ( $W/C$ ) является одним из основных показателей, определяющих плотность, прочность, водонепроницаемость, коррозионную стойкость и долговечность бетона. Величина  $B/C$  не должна превышать для конструкций мостов:

- неармированных бетонных и железобетонных с ненапрягаемой арматурой – 0,65;
- железобетонных преднапряженных – 0,5.

Для бетона конструкций, предназначенных для эксплуатации в агрессивных средах, величины  $B/C$  следует уменьшать. При этом марки бетона по водонепроницаемости обеспечиваются при  $B/C$ , не более:

- W4 – 0,6;
- W6 – 0,55;
- W8 – 0,45.

### 3.5. Применение специальных цемента

При воздействии на бетонные и железобетонные конструкции сульфатсодержащих агрессивных сред для приготовления бетона рекомендуется применять шлакопортландцемент, портландцемент с ограниченным содержанием трехкальциевого силиката и алюминатов, сульфатостойкие цементы.

### 3.6. Применение добавок в бетоны

Для повышения коррозионной стойкости бетона рекомендуется применение добавок:

- для снижения  $B/C$  – пластифицирующих добавок;
- для повышения защитных свойств бетона по отношению к стальной арматуре – добавок - ингибиторов коррозии стали;
- для повышения стойкости к биологической коррозии – бактерицидных добавок.

Для железобетонных конструкций, а также для растворов, предназначенных для инъектирования арматурных каналов, запрещается использовать химические добавки, вызывающие коррозию арматуры.

### 3.7. Ограничение минимальной толщины защитного слоя

Минимальная толщина защитного слоя бетона над поверхностью стальной арматуры железобетонных конструкций мостов не должна быть менее каждой из двух указанных величин:

- в железобетонных плитах и балках – 30 мм или 1,5 диаметра арматуры;
- в массивных опорах – 40 мм или 1,5 диаметра арматуры;
- в фундаментах – 50 или 1,5 диаметра арматуры.

Для монолитных конструкций толщину защитного слоя рекомендуется увеличивать на 5 мм.

При воздействии на конструкции агрессивных сред толщину защитного слоя следует увеличивать, в частности, при воздействии сульфатсодержащих агрессивных сред – на 20, 30 и 40 мм относительно указанных величин.

Толщина защитного слоя окончательно определяются национальными нормативными документами.

### 3.7. Ограничение раскрытия трещин

В железобетонных конструкциях мостов с ненапрягаемой арматурой ширина раскрытия трещин от суммарного воздействия постоянных и временных нагрузок не должна превышать при эксплуатации в условиях:

- обычных атмосферных – 0,20 мм;
- во влажной среде или в воде – 0,15 мм.

Для предварительно напряженных железобетонных конструкций, особенно армированных высокопрочной проволокой или канатами, следует ужесточать требования к трещиностойкости, в т.ч. не допускать длительного раскрытия трещин от постоянных нагрузок.

При воздействии на конструкции агрессивных сред следует ужесточать требования к трещиностойкости – ограничивать ширину раскрытия трещин 0,1 мм, не допускать длительного раскрытия трещин от постоянных нагрузок или не допускать раскрытия трещин от суммарного воздействия постоянных и временных нагрузок.

## 4. ВТОРИЧНАЯ ЗАЩИТА

Вторичная защита применяется при невозможности защиты конструкций от коррозии мерами первичной защиты, а также при ремонте существующих конструкций. Вторичная защита включает:

- защитную обработку, пропитку поверхности конструкций;

- нанесение на поверхности конструкций защитных покрытий – металлических, оксидных, лакокрасочных, металлизационно-лакокрасочных, мастичных, пленочных, облицовочных, футеровочных.

#### **4.1. Защитная обработка, пропитка поверхности конструкций**

В качестве защитной обработки рекомендуется применять гидрофобизацию – пропитку гидрофобизирующими составами. Гидрофобизация повышает коррозионную стойкость бетона. Пропитку осуществляют в несколько приемов. Гидрофобизируемые поверхности должны быть гладкими, плотными, чистыми.

#### **4.2. Защитные покрытия**

На соприкасающихся с грунтом поверхностях мостовых опор, конструкциях пролетных строений под щебеночным балластом или насыпью необходимо устраивать гидроизоляцию согласно действующим инструкциям. Рекомендуется применение битумных, битумно-полимерных, полимерных материалов. Гидроизоляцию балластных корыт пролетных строений и конструкций, засыпаемых грунтом, следует защищать от механических воздействий.

Поверхности бетонных и железобетонных конструкций, подвергающиеся агрессивным воздействиям, рекомендуется окрашивать.

Конструкции мостов, подвергающиеся воздействию ледохода, должны быть защищены облицовкой из природного камня.

## **5. ДИАГНОСТИРОВАНИЕ КОРРОЗИИ**

Коррозионные повреждения бетонных и железобетонных конструкций выявляют и оценивают в ходе обследований мостов, проводимых с целью определения их фактического состояния и его соответствия нормативным требованиям.

В ходе обследования осуществляют:

- визуальный осмотр конструкций, в ходе которого фиксируют трещины, сколы, расстройство стыковых соединений, повреждения гидроизоляции и нарушения водоотвода, места выщелачивания бетона, нарушения защитного слоя и другие неисправности, при этом составляют эскизы выявленных повреждений, делают их фотоснимки;

- выявление трещин, определение их положения, глубины и ширины раскрытия с помощью лупы с точностью до 0,01 мм, раздвижного калибра, точных измерительных приборов, измерительных марок;

- определение фактически работающего поперечного сечения бетона, оценку его прочности с помощью приборов неразрушающего контроля или путем отбора и испытания образцов;

- определение положения и количества арматуры, степени ее коррозии путем вскрытия или неразрушающего инструментального контроля;

- определение глубины карбонизации бетона в предварительно вскрытых местах с помощью фенолфталеина;

- определение мест и степени увлажнения, выщелачивания.

Степень агрессивного воздействия определяют путем химического анализа состава сред или по наблюдаемым данным о скорости развития коррозионных повреждений. Вид коррозии определяют по составу сред, а также путем физико-химического анализа продуктов коррозии.

Опасность электрокоррозии выявляют с помощью электрических измерений.

В зависимости от степени коррозионных повреждений их развитие имеет следующие стадии:

а) начало возникновения повреждений:

- появление мелких трещин,
- выщелачивание бетона и мелкие выкрашивания,
- ржавые пятна;

б) прогрессирующее развитие повреждений:

- появление трещин значительных размеров,
- ухудшение состояния их краев и кромок,
- видимые ржавые стержни стальной арматуры;

в) завершающая стадия развития повреждений:

- откалывание бетона между трещинами;
- откалывание бетона вдоль арматуры,
- коррозия арматурных стержней с уменьшением их поперечного сечения,
- выкрашивание поверхности бетона;
- частичное отсутствие бетона.

Следует стремиться к выявлению коррозионных повреждений на ранних стадиях, поскольку на ранних стадиях их устранение наиболее эффективно.

## **6. РЕМОНТ КОРРОЗИОННЫХ ПОВРЕЖДЕНИЙ**

При ремонте коррозионных повреждений следует по возможности устранять причины коррозии. Работы, связанные с устранением повреждений, производят как на больших поверхностях, так и на локальных участках или трещинах.

### **6.1. Ремонт корродированных поверхностей бетона**

В зависимости от степени разрушения поверхности бетона и раскрытия трещин рекомендуется применять следующие способы ремонта.

#### **6.1.1. Устройство защитных покрытий**

При ширине раскрытия трещин до 0,2 мм рекомендуется устраивать защитные покрытия из эластичных полимерных материалов. В зависимости от объемов работы могут выполняться вручную с помощью кистей, валиков или механизированным способом с помощью краскораспылителей. Перед нанесением покрытий ремонтируемая поверхность должна быть тщательно очищена и подготовлена.

#### **6.1.2. Оштукатуривание поверхностей**

Оштукатуривание целесообразно проводить при ремонте в малых объемах.

Перед оштукатуриванием должен быть удален старый поврежденный бетон, а поверхности – тщательно очищены. Оставляемый старый бетон должен обладать прочностью на сжатие не менее 15 МПа. В зависимости от объема удаление поврежденного бетона и очистку проводят ручным или механизированным инструментом, пескоструйными, гидроструйными или гидropескоструйными аппаратами. Перед нанесением штукатурки поверхность должна быть хорошо увлажнена.

Для повышения адгезии и прочности на растяжение в состав штукатурного раствора вводят добавки и полимерную фибру, соответственно. Требования к применяемому раствору устанавливаются проектом.

#### **6.1.3. Торкрет и набрызг-бетон**

Торкрет и набрызг-бетон применяют при больших объемах работ. Подготовку поверхностей ремонтируемых поверхностей производят аналогично п.6.1.2. Нанесенный на поверхность слой должен иметь минимальную толщину 15 мм. Рекомендуется наносить торкрет и набрызг-бетон по арматурной сетке, прикрепленной к ремонтируемой поверхности стальными анкерами или дюбелями. В случае, когда арматура ремонтируемой конструкции обнажена, использование дополнительной сетки нецелесообразно. Для улучшения технических характеристик (прочности, водонепроницаемости, морозостойкости и др.) в состав бетона вводят соответствующие добавки.

#### **6.1.4. Применение полимерных растворов**

Для ремонта возможно применять полимеррастворы и полимерные композиции на основе полимеризующихся смол – эпоксидных, акриловых и т.п., смешиваемых с порошкообразными наполнителями и заполнителями.

У полимеррастворов сцепление с ремонтируемой поверхностью и прочность на растяжение значительно выше, чем у цементных растворов.

Наиболее распространены эпоксидные смолы, применяемые только при положительных температурах. Акриловые смолы применимы при температуре от –10 до +18С°. Расход смолы в полимеррастворе обычно составляет 8÷12 % по массе. Полимеррастворы наносят на сухую поверхность бетона.

Подготовку поверхностей ремонтируемых поверхностей производят аналогично п.6.1.2.

При применении полимеррастворов для ремонта бетонных поверхностей необходимо принимать во внимание, что они не обладают капиллярной пористостью и их температурное расширение больше, чем у цементного бетона.

#### **6.1.5. Устройство железобетонных рубашек**

При значительных объемах коррозионных повреждений для восстановления несущей способности бетонных и железобетонных мостов целесообразно применение сплошной железобетонной облицовки – рубашки.

Подготовку поверхностей ремонтируемых поверхностей производят аналогично п.6.1.2. Кроме того, с помощью отбойных молотков или аппаратов, создающих высокое

давление воды, удаляются разрушенные участки старой бетонной кладки. На поверхность ремонтируемой конструкции устанавливают и закрепляют анкерами арматурную сетку.

#### **6.1.6. Устройство металлоинъекционных обоев**

При значительных повреждениях конструкций – стоек, ригелей, балок рекомендуется применение металлоинъекционных обоев – стальных сплошных обоев, в зазор между которыми и разрушенной поверхностью бетона инъецируется суперпластифицированная цементно-водная суспензия СПЦВС с оптимальным количеством добавки-суперпластификатора и низким  $V/C$ , не превышающим 0,35.

Достоинством таких конструкций является возможность значительного повышения несущей способности, полная защищенность бетона от последующей карбонизации и коррозии, арматуры и внутренней грани обоев – от коррозии, быстрота и удобство производства работ, быстрый набор прочности СПЦВС, обеспечивающий восстановление или увеличение несущей способности конструкции через 1÷2 суток.

При устройстве металлоинъекционной обоев особое внимание следует уделить:

- обеспечению ее совместной работы с существующей конструкцией, достигаемой с помощью насечки поверхности старого бетона, вклеенных анкеров, в т.с. сквозных, навариванием с внутренней стороны обоев арматурных стержней или коротышей, насечкой поверхности старого бетона;

- качеству нагнетания в зазор СПЦВС – не должно оставаться «бухтящих» участков;

- надежной защите от коррозии наружной грани обоев, достигаемой с помощью защитных покрытий составами, обладающими высокими долговечностью и защитными свойствами, например, на основе эпоксидных смол;

- предотвращению токов утечки в конструкциях моста.

Подготовку поверхностей ремонтируемых поверхностей производят аналогично п.6.1.2.

### **6.2. Заделка трещин**

Во время обследований необходимо выявлять раскрывающиеся от временных нагрузок или температурных деформаций – «дышащие» трещины.

Для защиты от коррозии арматурной стали необходимо заделывать все трещины, как стабильные, так и «дышащие», ширина раскрытия которых превышает допустимые пределы.

#### **6.2.1. Заделка стабилизировавшихся трещин.**

Ремонт стабилизировавшихся трещин должен проводиться как можно раньше, прежде чем они будут заполнены влагой, продуктами выщелачивания и загрязнены.

При незначительном раскрытии трещин – до 0,2 мм рекомендуется устройство защитных покрытий из полимерных материалов (п.6.1.1).

При ширине раскрытия вертикальных и горизонтальных трещин до 0,5 мм они могут быть заполнены путем нанесения полимерной композиции с помощью кисти. Глубина проникания композиции при этом составляет: в вертикальные трещины – 50÷100 мм, в горизонтальные – 100÷150 мм. При необходимости заполнения таких трещин на большую глубину в них инъецируют полимерные композиции.

При ширине раскрытия вертикальных и горизонтальных трещин 0,2 мм и более в них инъецируют эпоксидные, полиуретановые, полимерцементные композиции, суперпластифицированную цементно-водную суспензию. При этом достигается заполнение трещин на всю глубину.

Трещины в горизонтальных поверхностях шириной раскрытия 0,5 мм и более заполняют заливкой полимерными композициями. При этом трещину расширяют до V-образной бороздки шириной и глубиной 5÷10 мм, очищают от пыли и заливают

полимерной композицией до прекращения поглощения. При благоприятных условиях обеспечивается заполнение таких трещин на всю глубину.

#### **6.2.2. Заделка «дышащих» трещин**

«Дышащие» трещины расшивают с помощью механизированного инструмента до V-образной или U-образной бороздки, аналогичной деформационным швам, и заделывают эластичными водонепроницаемыми материалами, сохраняющими эластичность в течение длительного времени.

### **7. ОХРАНА ТРУДА**

Все работы по защите от коррозии необходимо выполнять в соответствии с действующими правилами техники безопасности и специальными инструкциями, в том числе относящимися к работе в условиях движения поездов, электрифицированных участков и т.п.