

Интернет-журнал «Транспортные сооружения» <https://t-s.today>
Russian journal of transport engineering

2020, №1, Том 7 / 2020, No 1, Vol 7 <https://t-s.today/issue-1-2020.html>

URL статьи: <https://t-s.today/PDF/15SATS120.pdf>

DOI: 10.15862/15SATS120 (<http://dx.doi.org/10.15862/15SATS120>)

Ссылка для цитирования этой статьи:

Булков А.С., Баев М.А., Овчинников И.Г. Защита от коррозии арматурной стали железобетонных конструкций транспортных сооружений // Интернет-журнал «Транспортные сооружения», 2020 №1, <https://t-s.today/PDF/15SATS120.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI: 10.15862/15SATS120

For citation:

Bulkov A.S., Baev M.A., Ovchinnikov I.G. (2020). Corrosion protection of reinforcing steel reinforced concrete structures of transport structures. *Russian journal of transport engineering*, [online] 1(7). Available at: <https://t-s.today/PDF/15SATS120.pdf> (in Russian). DOI: 10.15862/15SATS120

УДК 624.04

Булков Александр Сергеевич

ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», Тюмень, Россия
Магистрант 2 курса базовой кафедры АО «Мостострой-11»
E-mail: alexanderbulkov@mail.ru

Баев Михаил Алексеевич

ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет архитектуры и строительства», Пенза, Россия
Соискатель
E-mail: Mikhail.baev@yit.ru

Овчинников Игорь Георгиевич

ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», Тюмень, Россия
ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», Пермь, Россия
Профессор
Доктор технических наук, профессор
E-mail: bridgesar@mail.ru

Защита от коррозии арматурной стали железобетонных конструкций транспортных сооружений

Аннотация. Рассматривается влияние коррозии арматурной стали на долговечность железобетонных конструкций транспортных сооружений и степень изученности данной проблемы. Уточняется, что защита арматурной стали от коррозии не способна полностью заменить правильное проектирование и применение бетонов высокого класса прочности. Но она способна продлить срок службы железобетонных конструкций. Отмечается, что коррозия арматуры приводит к уменьшению прочностных показателей конструкции вследствие износа и снижению на треть периода эксплуатации железобетонных конструкций, вследствие чего и происходят обрушения транспортных сооружений. В качестве примера пагубного влияния коррозии арматурной стали на долговечность транспортных сооружений приводятся примеры аварий мостов и путепроводов, вызванных данным видом коррозии. В результате чего формируется вывод о целесообразности обеспечения достаточного уровня защиты от коррозии арматурной стали для достижения требуемой долговечности железобетонных конструкций транспортных сооружений. Описываются виды и причины протекания коррозионных процессов в арматурной стали железобетонных конструкций. Рассматриваются и анализируются составы и технологии антикоррозионной защиты. Сравнение составов

антикоррозионной защиты железобетонных конструкций производится по следующим критериям: расход, плотность, жизнеспособность, температура отверждения и количество компонентов состава. Сравнение технологий антикоррозионной защиты выполняется на основе следующих показателей: габариты линии, производительность и расход энергетических ресурсов. Также выполняется сравнение стоимости применения различных технологий антикоррозионной защиты. На основе полученных данных определяются достоинства и недостатки рассматриваемых составов и технологий антикоррозионной защиты. В результате чего осуществляется выбор наиболее эффективного и технологичного метода защиты от коррозии стальной арматуры железобетонных конструкций транспортных сооружений.

Ключевые слова: коррозия; арматура; антикоррозионная защита; железобетон; железобетонные конструкции; транспортные сооружения

Введение

Примеры отслаивания бетона встречаются на конструкциях по всему миру и во всевозможных условиях эксплуатации. Будь то конструкции расположенные вблизи морей и океанов, в городских или промышленных условиях. Основным виновником данных явлений является коррозия арматурной стали железобетонных конструкций. В связи с чем очевидно возникает потребность в использовании эффективных и рациональных мер борьбы с коррозионными процессами, которые позволят повысить долговечность железобетонных конструкций транспортных сооружений [1].

Состояние проблемы

Проблема антикоррозионной защиты арматуры в железобетонных конструкциях транспортных сооружения является весьма актуальной в наше время. В России по данной проблеме выполнены такие работы, как [3; 4; 8; 15–18]. За рубежом к данному направлению был проявлен большой интерес [1; 2; 5–7; 9–14].

Как говорится в [4] коррозия стальной арматуры выступает главным фактором разрушения железобетонных конструкций и является наиболее затратной при их восстановлении. В связи, с чем уже много лет тревожит умы инженеров и эксплуатационников по всему миру.

Несмотря на то, что защита арматурной стали от коррозии не способна заменить правильное проектирование и применение современных бетонов высокого класса прочности, она позволяет увеличить долговечность и целостность железобетонных конструкций.

Причины возникновения коррозии и дальнейшие ее проявления в виде износа и разрушения конструкций являются хорошо изученными и задокументированными. У новых конструкций есть возможность быть спроектированными и построенными так, чтобы оказывать сопротивление коррозионным воздействиям. Однако в связи с экономическими ограничениями новые железобетонные конструкции продолжают получать коррозионные повреждения, вызванные коррозией арматурной стали.

Как результат мосты, рассчитанные на срок эксплуатации не менее 50 лет, уже через 25–30 лет приходят в непригодное состояние и нуждаются в дорогостоящих ремонтах [4].

Подтверждением моим словам служат многочисленные аварии на транспортных сооружениях, случающиеся по всему миру.

4.12.1985 г. в Южном Уэльсе произошло обрушение автодорожного моста через реку Афан (рис. 1). Как показало расследование, мост разрушился из-за проникновения хлоридов в стыки конструкций и начавшейся в связи с этим коррозии железобетонных элементов [10].



Рисунок 1. Крушение автодорожного моста в Южном Уэльсе Западный Гламорган, Великобритания (источник: <https://link.springer.com>)

20.05.2000 г. произошло обрушение пешеходного моста в г. Конкорд штата Северная Каролина, США (рис. 2). 24 метровый участок железобетонного прохода разломился пополам. 107 человек получили травмы, 13 из которых были госпитализированы. Как выяснилось позднее, причиной обрушения стала коррозия железобетонных опор моста [7].



Рисунок 2. Обрушение пешеходного моста в городе Конкорд, США (источник: <https://www.nace.org>)

4.05.2001 г. произошло обрушение моста Хинце-Рибейро в Португалии (рис. 3). Причиной послужила коррозия арматурной стали главных балок моста. Данная авария унесла жизни 60 человек.

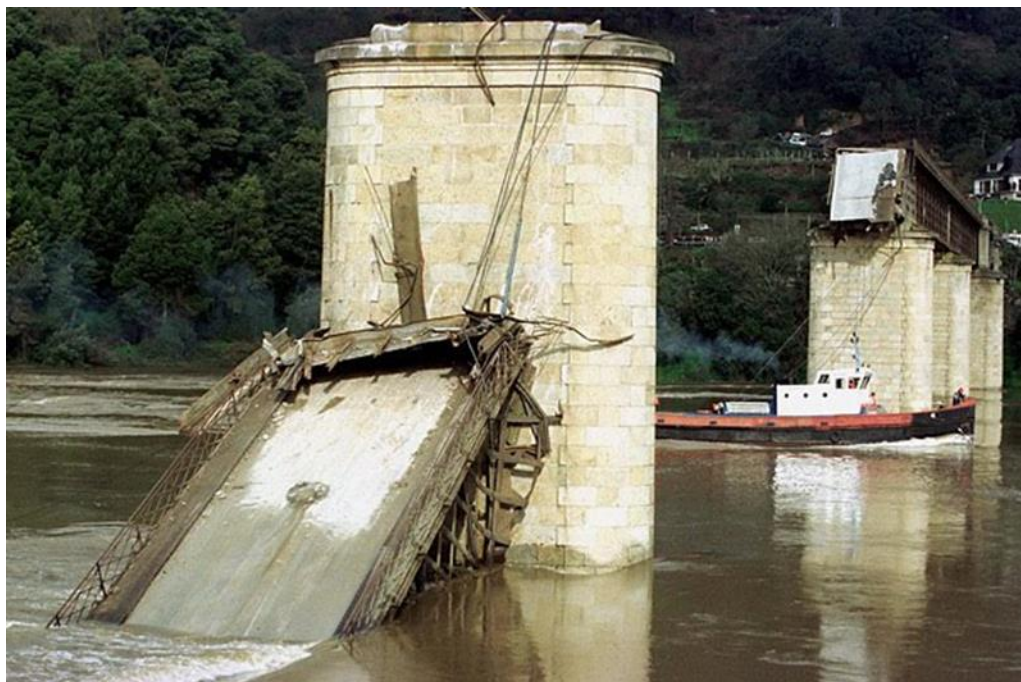


Рисунок 3. Обрушение моста в Португалии (источник: <http://fb.ru>)

21.04.2011 г. произошло обрушение моста через реку Чалвенка в Екатеринбурге (рис. 4). Причиной данной аварии послужила все та же коррозия арматурной стали главных балок моста. К счастью данное происшествие обошлось без жертв.



Рисунок 4. Обрушение моста в Екатеринбурге, Россия (источник: <http://eadnurt.diit.edu.ua>)

27.02.2017 г. произошло обрушение участка Шулявского путепровода в Киеве (рис. 5). Авария произошла в результате резкого скачка напряжений в корродированном участке путепровода в результате пожара. Данный инцидент обошёлся без жертв. Пострадал лишь один из автомобилей.



Рисунок 5. Обрушение путепровода в Киеве, Украина (источник: <https://korrespondent.net>)

Таким образом, получается, что для достижения требуемого уровня долговечности транспортных сооружений необходимо обеспечить достаточную антикоррозионную защиту арматурной стали железобетонных конструкций [8].

Причины коррозии арматуры железобетонных конструкций

На возникновение коррозии в стальной арматуре влияют два основных фактора: природно-климатические условия района строительства и качество бетона.

Природно-климатические условия района строительства.

При проектировании и строительстве любой конструкции необходимо учитывать внешнюю среду, в которую данная конструкция будет помещена. Это связано с тем, что во внешней среде присутствует огромное количество элементов и соединений, способных вызывать коррозию (кислород, хлориды, диоксид серы, вода и т. д.), а, следовательно, и повлиять на долговечность конструкции.

Наибольшей опасности коррозионного разрушения подвержены конструкции, находящиеся вдоль береговой линии. Это связано с тем, что вблизи рек и морей на конструкцию воздействуют преобладающие ветра, а также большое количество хлоридов. Еще большую опасность несет атмосфера загрязненных промышленных зон из-за высокого содержания диоксида серы.

Вот почему для определения степени коррозионного воздействия на каждый элемент конструкции крайне важно верно определять природно-климатические условия района строительства [2].

Качество бетона.

Немаловажным фактором, который нужно учитывать при устройстве антикоррозионной защиты арматурной стали, является проницаемость бетона. На нее влияют следующие факторы:

- рационально подобранный состав бетонной смеси;
- адекватное уплотнение бетонной смеси;
- правильность процедуры твердения бетона;
- толщина защитного слоя.

Принятие во внимание всех этих факторов позволяет повысить непроницаемость бетона и, как результат, снизить возможность возникновения коррозии арматуры железобетонных конструкций [14].

Виды коррозии

В результате комбинации природно-климатических условий района строительства и качества бетона в железобетонных конструкциях могут протекать следующие виды коррозии:

- В жидких средах

Характеризуется повышением пористости бетона в результате вымывания компонентов цементного камня пресной водой и появлением на конструкциях белого налета в местах фильтрации.

- В агрессивной среде

Бывает четырех видов: щелочная, хлоридная, кислотная и магниезальная коррозии. Характеризуется образованием легкорастворимых веществ в результате взаимодействия компонентов цементного камня с агрессивной средой.

- С образованием соединений большего объема, чем продукты реакции

Характеризуется возникновением дополнительных напряжений в бетоне в результате образования малорастворимых продуктов реакции цементного камня и водных растворов.

- Атмосферная

Характеризуется разрушением структурной целостности цементного камня в результате воздействия на бетон температуры, влажности, атмосферных осадков и газов.

- Биологическая

Характеризуется разрушением структуры цементного камня в результате воздействия на бетон микроорганизмов.

- Арматуры

Характеризуется образованием продуктов коррозии, занимающих больший объем, чем исходные продукты реакции в результате разрушения защитного слоя бетона и пассивной пленки арматурной стали с образованием микрогальванопар.

Как следствие происходят увеличение объема арматуры, отслоение ее от бетона и разрушение конструкции.

На скорость коррозии в арматурной стали влияют толщина, химический состав и плотность защитного слоя бетона (рис. 6) [4].



Рисунок 6. Разрушение железобетона вследствие хлоридной коррозии

Способы защиты арматурной стали железобетонных конструкций транспортных сооружений от коррозии

Для того чтобы противостоять коррозии и последующему коррозионному повреждению арматурной стали возможно принятие следующих мер:

- Нанесение покрытий на саму арматуру. Данная мера позволит повысить долговечность железобетонной конструкции за счет замедления проникновения коррозионных агентов на поверхность арматурной стали [9].
- Замена арматурной стали на нержавеющую сталь или композитный материал. Данный подход позволит снизить риск коррозии арматуры и тем самым повысить срок эксплуатации железобетонной конструкции [2].
- Применение катодной защиты арматурной стали. Данный подход характеризуется созданием электрохимического дисбаланса в бетоне посредством управления потоком электронов, что не позволяет арматуре вновь корродировать [6].
- Нанесение на поверхность бетона различных покрытий (лакокрасочные и гидроизоляционные) для обеспечения барьерной защиты от коррозии арматурной стали и конструкции в целом [2].
- Также возможно применение ингибиторов коррозии, замедляющих скорость протекания коррозионных процессов в бетоне [5].

Исходя из вышесказанного, возникает резонный вопрос: какую меру защиты арматурной стали от коррозии следует выбрать при проектировании и строительстве железобетонных конструкций транспортных сооружений? Учитывая, что для каждой из них на рынке представлено множество технологий и составов.

Для того чтобы разобраться в данном вопросе необходимо:

- Изучить существующие технологии и составы для защиты арматурной стали железобетонных конструкций транспортных сооружений от коррозии.
- Провести их сравнительный анализ и выявить наиболее технологичный и выгодный вариант.

Составы и технологии, представленные на рынке Компания 3М [19]

Производит термоотверждаемое, однокомпонентное эпоксидное покрытие Scotchkote для защиты стальной строительной арматуры от коррозии. Материал наносится в виде сухого порошка на предварительно нагретую стальную арматуру (метод электростатического напыления). Затем порошковое покрытие нагревается, достигает температуры плавления и формирует на поверхности арматуры пластичное покрытие. Одним из возможных вариантов такого покрытия является материал Scotchkote 413. Данное покрытие является составом горячего отверждения, что дает потребителю следующие преимущества:

- Повышенная долговечность и жизнеспособность.
- Возможность обеспечения хранения материала на протяжении длительного периода времени.

Компания Remmers

Производит содержащую растворитель двухкомпонентную эпоксидную грунтовку Rostschutz EP 2K¹. Данный материал наносится в несколько этапов. Сначала выполняется пескоструйная очистка арматуры. Затем на арматуру ручным способом (при помощи кисти) наносятся перемешанные в определенной пропорции оба компонента эпоксидной грунтовки. Через 3 часа наносится второй слой и обсыпается кварцевым песком (зернистость 0,1–0,4 мм). Важно отметить, что второй слой нельзя наносить позднее чем через 24 часа после нанесения первого.

Компания Sika

Производит ингибиторы коррозии Sika FerroGard и антикоррозионные покрытия арматуры Sika Repair.

Для защиты арматурной стали от коррозии компания предлагает использовать ингибитор коррозии Sika FerroGard 901 и Sika Repair 10.

Sika FerroGard 901² – это добавка в бетон в виде водного раствора ингибиторов коррозии на базе неорганических кислот и аминоселочей. Данная добавка смешивается с водой и добавляется в бетономешалку до достижения однородной консистенции. Затем производится укладка бетонной смеси с обязательным уплотнением. Все эти действия обеспечивают образование на поверхности арматуры защитного слоя. Добавка Sika FerroGard 901 не предназначена для перемешивания с сухими бетонными смесями.

¹ Техническое описание Rostschutz EP 2K Артикул 0920, URL: http://remmers.in.ua/files/catalog/Documents/092084_Rostschutz_EP_2K_RU.pdf (дата обращения 25.03.2020).

² Sika FerroGard 901 Добавка в бетоны защищающая арматуру от коррозии, URL: https://rus.sika.com/content/russia/main/ru/solutions_products (дата обращения 22.03.2020).

Sika Repair 10³ – тонкодисперсное, однокомпонентное покрытие на основе цемента и модифицированного полимерами микрокремнезема. Он используется для антикоррозионной защиты арматуры путем создания адгезионного слоя между арматурой, старым бетоном и другими ремонтными составами компании Sika. Приготовление данного состава осуществляется следующим образом:

- Выполняется предварительная очистка поверхностей.
- Сухая смесь добавляется в воду и перемешивается на низкооборотной мешалке в течение 3 минут до получения нужной консистенции.
- Первый слой наносится на поверхность арматуры ручным способом или при помощи распылителя (толщина слоя 0,5 мм).
- После высыхания первого слоя спустя 4–5 часов наносится второй слой (толщина слоя 0,5 мм).
- Через 4–5 часов после высыхания второго слоя наносятся последующие ремонтные слои.
- Выполняется предварительное увлажнение основание и ручным методом или распылителем наносится адгезионный слой.

Компания Drizoro S.A.

Изготавливает состоящие из присадок и синтетических смол дисперсии Maxrest® Passive⁴, защищающие арматурные стержни от коррозии посредством создания на их поверхности пассивирующего слоя. Технология применения заключается в предварительной очистке защищаемой поверхности, промывке ее водой и дальнейшим нанесением Maxrest® Passive на поверхность защищаемой поверхности в 2 слоя.

Компания SCHOMBURG

Для защиты арматурной стали от коррозии компания производит твердую двухкомпонентную эпоксидную смолу ASODUR-ZNP⁵, которая содержит растворители. Перед применением данного материала необходимо просушить и очистить поверхность арматуры. Затем нужно выполнить тщательное перемешивание компонентов ASODUR-ZNP, чтобы смола и отвердитель равномерно распределились и образовали однородную массу. После чего производится нанесение полученной смеси на поверхность арматуры ручным способом за 2 рабочих прохода.

Также существуют иные типы покрытий:

³ Техническое описание продукта Sika Repair-10 F Состав для защиты арматуры и создания адгезионного слоя, URL: https://rus.sika.com/content/russia/main/ru/solutions_products (дата обращения 23.03.2020).

⁴ Техническое описание № 12.02 МАКСРЕСТ® ПАССИВ преобразователь ржавчины и антикоррозионная защита арматурных стержней и других чугунных или стальных поверхностей, URL: <https://drizoro-ua.com/drizoro/remontnyye-sostavy.cfm> (дата обращения 24.03.2020).

⁵ Техническое описание АСОДУР-ЦНП, URL: http://www.hydroprotect.ru/upload/iblock/979/asodur_znp-tekhnikeskoe-opisanie.pdf (дата обращения 24.03.2020).

Цементосодержащие покрытия⁶

Для защиты арматуры от коррозии используются следующие виды цементосодержащих покрытий:

- Цементно-полистирольное.
- Цементно-поливинилацетатное.
- Цементно-кузбаслаковое.
- И др.

Цементно-полистирольное покрытие изготавливается из полистирола, растворителя (скипидара или ксилола), молотого песка и портландцемента (марки не ниже 400). Приготовление данного покрытия заключается в подготовке полистирольного клея (растворении полистирола в скипидаре или ксилоле) и введении в него молотого песка и цемента с постоянным перемешиванием до получения сметанообразной консистенции. Затем покрытие наносят на арматуру и производят сушку в течение получаса при температуре от 20–25 °С.

Цементно-поливинилацетатное покрытие изготавливается из пластифицированной поливинилацетатной эмульсии, молотого песка и портландцемента (марки не ниже 400). Процесс приготовления включает в себя следующие операции. Сначала производится введение воды, портландцемента и молотого песка в поливинилацетатную эмульсию при постоянном перемешивании. Затем полученную смесь для удаления пузырей воздуха выдерживают в течение получаса. После чего наносят данную смесь на арматуру и высушивают ее в течение часа. Толщина покрытия после высыхания должна быть более 0,4 мм.

Цементно-кузбаслаковое покрытие изготавливается из кузбаслака и портландцемента в соотношении 1:1. Допускаемая толщина защитного слоя при данном виде покрытия составляет 0,4–0,6 мм.

Но у всех цементосодержащих покрытий есть один важный недостаток. Они не способны в полной мере обеспечить защиту арматуры от коррозии в бетонах на гипсоцементно-пуццолановых вяжущих веществах.

Преобразователь ржавчины⁷

Согласно для удаления продуктов коррозии с поверхности арматурной стали и ее антикоррозионной защиты может применяться преобразователь ржавчины «ИФХАН-58ПР». Он представляет собой сформированную на базе танинов и ингибиторов композицию, которая замедляет течение коррозионных процессов и преобразует соединения FeO в коррозионнонеактивные. В случае если необходимо защитить от коррозии уже скорродировавшую арматуру, ее поверхность предварительно зачищается металлической щеткой и обрабатывается составом «ИФХАН-58ПР» ручным способом до удаления рыжих пятен. Затем состав повторно наносится на поверхность арматуры и служит протекторным слоем.

⁶ СП 72.13330.2016 Защита строительных конструкций и сооружений от коррозии. СНиП 3.04.03-85 (с Изменением N 1).

⁷ ГОСТ 31384-2017 Защита бетонных и железобетонных конструкций от коррозии. Общие технические требования.

Термодиффузионное цинкование (ТДЦ)⁸

Данный процесс характеризуется в получении на поверхности металла цинкового покрытия за счет образования в результате фазового перехода жидкость-газ паров цинка и проникновения их в металлическую подложку. Применение термодиффузионного цинкования позволяет в точности повторять рельеф поверхности обрабатываемого изделия и повысить не только адгезионные, но и антикоррозионные свойства. Технологический цикл ТДЦ включает в себя:

1. Предварительная очистка поверхностей (при помощи абразива).
2. Помещение изделий в контейнер.
3. Добавление активной смеси.
4. Нагревание контейнера (290–400 °С).
5. Извлечение и остывание контейнера.

Горячее цинкование⁹

Данный процесс характеризуется опусканием изделия в ванну с расплавленным цинком (Т = 445 - 460 °С) в результате чего на поверхности металла образуется цинковое покрытие, которое обеспечивает достойную защиту арматуры от коррозии. Технологический цикл горячего цинкования включает:

1. Подготовка поверхностей (обезжиривание, промывка, травление, промывка и флюсование).
2. Сушка изделий.
3. Цинкование (Т = 445 - 460 °С).
4. Погружение изделий в ванну.
5. Извлечение из ванны.
6. Охлаждение.

Катодная защита [20]

Данный метод защиты основан на формировании отрицательного потенциала на защищаемой детали при помощи сконструированного источника энергии. Одним из представителей данного направления является фирма ЭЛГАД, разработавшая систему катодной защиты «GASPROBETON – ELGAD» (GE) для защиты транспортных сооружений от коррозии. Нанесение данной системы выполняется в следующем порядке:

1. Приварка к арматурному стержню контактных плат.
2. Подготовка поверхности арматуры (абразивоструйная очистка), оборудования и контрольных образцов.

⁸ ГОСТ Р 9.316-2006 Единая система защиты от коррозии и старения (ЕСЗКС). Покрытия термодиффузионные цинковые. Общие требования и методы контроля (с Поправкой).

⁹ ГОСТ 9.307-89 (ИСО 1461-89) Единая система защиты от коррозии и старения (ЕСЗКС). Покрытия цинковые горячие. Общие требования и методы контроля.

3. Нанесение защитного покрытия.

Сравнительный анализ составов и технологий антикоррозионной защиты арматуры

Сравнение составов для защиты арматуры от коррозии

Данный процесс выполнялся на основе следующих показателей:

- Расход.
- Плотность.
- Жизнеспособность.
- Температура отверждения.
- Количество компонентов состава.

Таблица 1

Сравнение составов для защиты арматуры от коррозии

№ п/п	Антикоррозионное покрытие и производитель	Цвет	Плотность, кг/м ³	Время жизни, час	Min T отверждения, °C	Расход, кг/м ²	Количество компонентов состава
1	3M Scotchkote 413, «3M»	Зеленый	1210	-	+177	1,2	1
2	Rostschutz EP 2K, «Remmers»	Красный	1300	3	+8	0,6	2
3	ASODUR-ZNP, «Schomburg»	RAL 1002	1700	1,5	+8	0,75	2
4	Sika Repair 10, «Sika»	Серый	1200	0,5	-	3,75	1
5	Maxrest® Passive, «DRIZORO»	Молочно-белый	1180	-	+5	0,125	2

В результате анализа представленных покрытий было выявлено, что все составы, кроме 3M Scotchkote 413, являются составами холодного отверждения, которые являются недостаточно долговечными. 3M Scotchkote 413 производится в виде порошка и наносится на арматуру методом электростатического напыления на предназначенной для этого установке. Другие составы наносятся на арматуру в основном вручную, что делает их использование затратным и трудоемким процессом. Также важно отметить, что Sika Repair 10 и 3M Scotchkote 413 являются однокомпонентными составами, что в свою очередь серьезно упрощает работу с данными покрытиями.

Цементосодержащие составы, как было сказано выше, не способны в полной мере защитить арматуру в бетонах на ГЦПВ и не подходят для использования на мостах, эксплуатируемых в основном в агрессивных средах.

Сравнение технологий антикоррозионной защиты арматуры

Данный процесс выполнялся на основе следующих показателей:

- Габариты линии.
- Производительность.
- Расход энергетических ресурсов.

Таблица 2

Сравнение технологий антикоррозионной защиты арматуры

№ п/п	Наименование линии и производитель	Габариты линии	Производительность, т/час	Кол-во персонала, чел.	Расход материала, кг/тн арматуры	Расход энергетических ресурсов	Расход электроэнергии, кВт·ч
1	Линия электростатического напыления, «ЗМ»	2250	25	7–8	8	Вода	480
2	Линия горячего цинкования, «ENCE GmbH»	-	5–8	-	-	Газ (300 тыс. м ³ /год)	40
3	Линия термодиффузионного цинкования, «Дистек А-4-450»	1500	1,5	3–4	10–60	Сжатый воздух (2,5 м ³ /мин)	450

В результате анализа полученных данных было выявлено, что линия электростатического напыления Компании ЗМ является наиболее технологичной, производительной и менее ресурсоемкой в сравнении с другими линиями. Единственный ее недостаток кроется в большом энергопотреблении (480 кВт·ч).

Линия горячего цинкования, «ENCE GmbH» является сложной в обслуживании в связи с чем возникает потребность в высококвалифицированном обслуживающем персонале. Еще одним недостатком данного метода является сравнительно низкая производительность. Преимуществами данного способа являются низкая стоимость оборудования и энергопотребление, которое перекрывается большим расходом природного газа.

Что касается линии термодиффузионного цинкования «Дистек А-4-450», то ее недостатками являются потребность в поддержании высоких температур (400–450 °С) и сложность в организации потокового производства в связи с необходимостью в размещении деталей в замкнутом пространстве (контейнере). А преимуществом данной технологии заключается в возможности автоматизации процессов, что позволяет использовать меньшее количество персонала.

Стоимость линий электростатического напыления и термодиффузионного цинкования является примерно одинаковой (в 1,5 раза дороже линии горячего цинкования).

Метод катодной защиты является достаточно дорогостоящим (в 1,5 раза дороже систем с эпоксидными покрытиями) и в основном используется для сравнительно небольших конструкций. Также использование данного метода осложняется еще и тем, что он малоэффективен без внешнего источника тока. К тому же электрод в данном случае быстро разрушается и является достаточно дорогостоящим. Все это делает использование катодной защиты на мостовых конструкциях затратным и труднореализуемым мероприятием [21].

Заключение

В данной статье были изложены основные причины и виды коррозии, рассмотрены и проанализированы существующие методы защиты от коррозии арматурной стали железобетонных конструкций транспортных сооружений.

В результате сравнения был выявлен наиболее технологичный способ защиты, а именно система эпоксидных покрытий компании «ЗМ», которая обеспечивает наибольшую производительность работ и долговечность обрабатываемых элементов при сравнительно низкой стоимости.

Использование данного метода антикоррозионной защиты позволит добиться продления срока службы и сохранения структурной целостности, как железобетонной конструкции, так и всего транспортного сооружения в целом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Jones, D.A., Principles and Prevention of Corrosion, 2nd Edition Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ 1996.
2. Wilmot R.E. (2006). Corrosion protection of reinforcement for concrete structures, 8th International Conference organized by the Institute of Corrosion of Mines and Metallurgy, South Africa.
3. Колесникова А.С. Химические основы защиты транспортных сооружений от коррозии: метод. пособие / А.С. Колесникова. Хабаровск: ДВГУПС, 2001. 112 с.
4. Коррозия и антикоррозионная защита железобетонных мостовых конструкций / Т.С. Овчинникова, А.Н. Маринин, И.Г. Овчинников // Интернет-журнал «Науковедение», 2014. Выпуск №5.
5. N.G. Thompson, M. Yunovich, and D. Lankard. "State-of-the-Art of Corrosion Inhibiting Admixtures". National Cooperative Highway Research Program, Washington, D.C., June, 1997.
6. G.L. Morrison, Y.P. Virmani, F.W. Stratton, and W.J. Gilliland, "Chloride Removal and Monomer Impregnation of Bridge Deck Concrete by Electro-Osmosis", Report No. FHWA A-KS-RD-74-1, Kansas Department of Transportation, Topeka, Kansas, 1976.
7. Poston, R.W. and West, J.S. (2005), "Investigation of the Charlotte Motor Speedway Bridge Collapse", Metropolis and Beyond – Proceedings of the 2005 ASCE Structures Congress, ASCE, New York, N.Y.
8. В.А. Мирошник, С.В. Ключник, М.К. Журбенко "Проблемы аварийности мостовых сооружений", 2012.
9. G.E. Monfore and G.J. Verbeck, "Corrosion of Prestressed Wire in Concrete", J. of American Concrete Institute, Vol. 57, 1960, pp. 491–516.
10. R.J. Woodward and F.W. Williams. Collapse of Ynys-y-Gwas Bridge, West Glamorgan. Proceedings of the Institution for Civil Engineers, Part 1, 84, Aug. 1988, pp. 46–58.
11. Y.P. Virmani and G.G. Clemena, «Corrosion protection – concrete bridges».
12. N.G. Thompson and D.R. Lankard, "Improved Concrete for Corrosion Resistance". Report No. FHWA-RD-96-207, Federal Highway Administration, Washington, D.C., 1995.
13. P. Gu, J.J. Beaudoin, P.J. Tumidajski, and N.P. Mailvaganam, "Electrochemical Incompatibility of Patches in Reinforced Concrete", Concrete International, Vol.19, No. 8, 1997, pp. 68–72.
14. Technology and properties of repair concretes modified additives of mineral oils of secondary products / V.A. Grechuhin, G.D. Lyahevich // Science-education, production, economics: materials of the Intern. scientific tech. Conf., Minsk, 2014 / Belarus. Nat Tech. Un-t. – Minsk, 2014. P. 185–186.

15. Иванов Ф.М. Защита железобетонных транспортных сооружений от коррозии / Ф.М. Иванов. М.: Транспорт, 1968. 110 с.
16. Москвин В.М. Коррозия бетона и железобетона, методы их защиты / В.М. Москвин, Ф.М. Иванов, С.Н. Алексеев, Е.А. Гузеев. М.: Стройиздат, 1980. 536 с.
17. Овчинников И.Г. Обеспечение долговечности мостовых железобетонных конструкций – опыт применения противокоррозионной защиты / И.Г. Овчинников, О.Н. Распоров, К.О. Распоров, М.В. Палагина // Дороги России 21 века. 2008. №8. С. 92–97.
18. Старосельский А.А. Коррозия и защита железобетонных конструкций и сооружений электрифицированных железных дорог: учеб. пособие / А.А. Старосельский. Харьков: ХИИТ, 1988. 82 с.
19. Draper, J., Darwin, D., Browning, J.P., Locke, C.E., "Evaluation of Multiple Corrosion Protection Systems for Reinforced Concrete Bridge Decks", SM Report No. 96, University of Kansas Center for Research, Inc., Lawrence, Kansas, December 2009, 429 pp.
20. Гадаев Н.Р. Конструктивно-технологическая система «Элгид» строительства мостов из монолитного железобетона (в условиях инженерного обустройства мегаполисов). – М.: Информавтодор, 2002. – 152 с.
21. Афанасьев Е.П., Шаронов А.В. / Аналитический обзор по теме: «Существующие антикоррозионные покрытия для стальной арматуры и технологии их нанесения» // ООО «МОССПЕЦПРОМПРОЕКТ-М», Москва, 2011.

Bulkov Alexander Sergeevich

Industrial university of Tyumen, Tyumen, Russia
E-mail: alexanderbulkov@mail.ru

Baev Michail Alexeevich

Penza state university of architecture and construction, Penza, Russia
E-mail: Mikhail.baev@yit.ru

Ovchinnikov Igor Georgievich

Industrial university of Tyumen, Tyumen, Russia
Perm national research polytechnic university, Perm, Russia
E-mail: bridgesar@mail.ru

Corrosion protection of reinforcing steel reinforced concrete structures of transport structures

Abstract. The influence of reinforcing steel corrosion on the durability of reinforced concrete structures of transport structures and the degree of knowledge of this problem is considered. It is specified that the protection of reinforcing steel from corrosion is not able to completely replace the correct design and use of high-strength concrete. But it is able to extend the life of reinforced concrete structures. It is noted that corrosion of the reinforcement leads to a decrease in the structural strength due to wear and tear and by a third of the period of operation of reinforced concrete structures, as a result of which transport structures collapse. As an example of the detrimental effect of corrosion of reinforcing steel on the durability of transport structures, examples of accidents of bridges and overpasses caused by this type of corrosion are given. As a result, a conclusion is drawn on the advisability of ensuring a sufficient level of corrosion protection of reinforcing steel to achieve the required durability of reinforced concrete structures of transport structures. The types and causes of corrosion processes in reinforcing steel reinforced concrete structures are described. The compositions and technologies of anticorrosive protection are examined and analyzed. Comparison of the compositions of anticorrosive protection of reinforced concrete structures is carried out according to the following criteria: consumption, density, viability, curing temperature and the number of components of the composition. A comparison of anti-corrosion protection technologies is carried out on the basis of the following indicators: line dimensions, productivity and consumption of energy resources. A comparison is also made of the cost of using various anti-corrosion protection technologies. Based on the data obtained, the advantages and disadvantages of the considered compositions and technologies of corrosion protection are determined. As a result, the most effective and technologically advanced method of corrosion protection of steel reinforcement of reinforced concrete structures of transport structures is selected.

Keywords: corrosion; reinforcement; anticorrosive protection; reinforced concrete; reinforced concrete structures; transport structures

REFERENCES

1. Jones D.A. (1996). Principles and Prevention of Corrosion. New Jersey: Prentice Hall, Upper Saddle River.
2. Wilmot R.E. (2006). *Corrosion protection of reinforcement for concrete structures*. South Africa: Institute of Corrosion of Mines and Metallurgy.
3. Kolesnikova A.S. (2001). *Khimicheskie osnovy zashchity transportnykh sooruzheniy ot korrozii. [Chemical basis for the protection of transport facilities from corrosion.]* Khabarovsk: Far Eastern State Transport University, p. 112.

4. Ovchinnikova T.S., Marinin A.N., Ovchinnikov I.G. (2014). Corrosion and corrosion protection of reinforced concrete bridge structures. *Naukovedenie*, [online] 5. Available at: <https://naukovedenie.ru/PDF/06KO514.pdf> (in Russian).
5. Thompson N.G., Yunovich M., Lankard D. (1997). *State-of-the-Art of Corrosion Inhibiting Admixtures*. Washington: National Cooperative Highway Research Program.
6. Morrison G.L., Virmani Y.P., Stratton F.W., Gilliland W.J. (1976). *Chloride Removal and Monomer Impregnation of Bridge Deck Concrete by Electro-Osmosis*. Kansas: Kansas Department of Transportation, Topeka.
7. Poston R.W., West J.S. (2005). *Investigation of the Charlotte Motor Speedway Bridge Collapse*. New York: ASCE.
8. Miroschnik V.A., Klyuchnik S.V., Zhurbenko M.K. (2012). Problemy avariynosti mostovykh sooruzheniy. [*Accident problems of bridge structures.*]
9. Monfore G.E., Verbeck G.J. (1960). Corrosion of Prestressed Wire in Concrete. *J. of American Concrete Institute*, (57), pp. 491–516.
10. Woodward R.J., Williams F.W. (1988). *Collapse of Ynys-y-Gwas Bridge*. West Glamorgan: Proceedings of the Institution for Civil Engineers, pp. 46–58.
11. Virmani Y.P., Clemena G.G. (n.d.). *Corrosion protection – concrete bridges*.
12. Thompson N.G., Lankard D.R. (1995). *Improved Concrete for Corrosion Resistance*. Washington: Federal Highway Administration.
13. Gu P., Beaudoin J.J., Tumidajski P.J., Mailvaganam N.P. (1997). Electrochemical Incompatibility of Patches in Reinforced Concrete. *Concrete International*, 8(19), pp. 68–72.
14. Grechuhin V.A., Lyahevich G.D. (2014). *Technology and properties of repair concretes modified additives of mineral oils of secondary products*. Minsk: Belarusian National Technical University, pp. 185–186.
15. Ivanov F.M. (1968). Zashchita zhelezobetonnykh transportnykh sooruzheniy ot korrozii. [*Protection of reinforced concrete transport structures from corrosion.*] Moscow: Transport, p. 110.
16. Moskvina V.M., Ivanov F.M., Alekseev S.N., Guzeev E.A. (1980). Korroziya betona i zhelezobetona, metody ikh zashchity. [*Corrosion of concrete and reinforced concrete, methods for their protection.*] Moscow: Stroyizdat, p. 536.
17. Ovchinnikov I.G., Rasporov O.N., Rasporov K.O., Palagina M.V. (2008). Ensuring the durability of bridge reinforced concrete structures – the experience of using corrosion protection. *Roads of Russia of the 21st century*, 8, pp. 92–97 (in Russian).
18. Starosel'skiy A.A. (1988). Korroziya i zashchita zhelezobetonnykh konstruksiy i sooruzheniy ehlektrifitsirovannykh zheleznykh dorog. [*Corrosion and protection of reinforced concrete structures and structures of electrified railways.*] Kharkov: Kharkov Institute of Transport Engineers, p. 82.
19. Draper J., Darwin D., Browning J.P., Locke C.E. (2009). *Evaluation of Multiple Corrosion Protection Systems for Reinforced Concrete Bridge Decks*. Lawrence, Kansas: University of Kansas Center for Research, p. 429.
20. Gadaev N.R. (2002). Konstruktivno-tekhnologicheskaya sistema «Ehlgad» stroitel'stva mostov iz monolitnogo zhelezobetona (v usloviyakh inzhenernogo obustroystva megapolisov). [*The design and technological system "Elgad" for the construction of bridges from reinforced concrete (in the conditions of engineering arrangement of megacities).*] Moscow: Informavtodor, p. 152.
21. Afanas'ev E.P., Sharonov A.V. (2011). Analiticheskiy obzor po teme: «Sushchestvuyushchie antikorroziyonnye pokrytiya dlya stal'noy armatury i tekhnologii ikh naneseniya». [*Analytical review: "Existing anticorrosion coatings for steel reinforcement and technologies for their application"*.] Moscow: LLC "MOSSPETS PROMPROEKT-M".