

пути выполнялось за счет поднятия его на балласт по расчетным данным.

Очевидно, что предполагаемые исследования смогут дать более точную картину воздействия горных подработок на железнодорожный путь и искусственные сооружения на данном участке. Такие исследования должны обеспечить дополнительные возможности в обеспечении безопасности движения поездов, а также разработки заблаговременных мер по борьбе с отрицательными явлениями деформаций земной коры, которые передаются на железнодорожный путь и сооружения и наблюдаются на территориях с горными подработками в районе Старобинского калийного месторождения.

Получено 20.06.2007

Y. M. Etin, S. P. Nesterenko. Analysis of influence of mountain works on railway track.

Part of III category single track line Slutsk – Soligorsk on the stretch Glyadky – Kaliy-3 is situated territory, where mine fields of RUP «ПО Belaruskaliy» are located. Ground bed is made as embankment up to 4 metres high. Main bed ground is 5,2–5,5 metres nice. The permanent way is made of rails R65 on reinforced concrete sleepers on the crushed stone ballast. The ballast layer is of variable thickness. On the stretch of railway track there are some constructions presenting a reinforced concrete drainage pipe, and two reinforced concrete bridges across the river Sivelga and its tributary. On this territory we can observe highly active processes of ground shifts and depressions. The settling speed of ground surface is from 0,6 to 4,9 mm in a day. On this account a railway track and artificial constructions form a problem from the point of view of maintenance and providing of traffic safety.

We considered the influence of Starobyn potassium deposit mining field on the railway stretch Slutsk – Soligorsk, and also conducted measures on railway protection, which provide safety.

Список литературы

- 1 СНБ 3.03.01–98. Железные дороги колеи 1520 мм. – Минск : М-во архитектуры и стр-ва, 1998. – 27 с.
- 2 РД РБ 09150 56.004–2000. Инструкция по обеспечению безопасности движения поездов при производстве путевых работ на Белорусской железной дороге. – Минск : Белорусская ж. д., 2001. – 192 с.
- 3 Правила технической эксплуатации Белорусской железной дороги. – Минск : Белорусская ж. д., 2002. – 160 с.
- 4 Инструкция о порядке согласования подработки железных дорог на Старобинском калийном месторождении. – Солигорск : Белорус. науч.-исслед. и проектно-конструкторский ин-т горной и хим. промышленности, 1995. – 26 с.

Вестник Белорусского государственного университета транспорта: Наука и транспорт. 2008. № 1 (16)

УДК 624.21/8:620.193

Е. М. ЭТИН, начальник мостоиспытательной станции службы пути Белорусской железной дороги, г. Минск; Ю. М. ЭТИН, старший преподаватель; Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель; П. Ю. ЭТИН, аспирант; Белорусский национальный технический университет, г. Минск

ЗАЩИТА МОСТОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ ОТ КОРРОЗИИ

Коррозионные процессы различной этиологии, происходящие в материале мостовых конструкций, развиваются весьма активно под воздействием агрессивных факторов внешней среды. Выделены основные аспекты этой проблемы, характерные для длительно эксплуатируемых мостов, диагностические методы и способы защиты сооружений от коррозии. Приведены результаты исследований мостовых конструкций ряда действующих железнодорожных и пешеходных мостов на Белорусской железной дороге с анализом причин активно развивающихся процессов электрохимической и механической коррозии. Рассмотрена защита железобетонных плит безбалластного мостового полотна с применением современных химически стойких и высокопрочных материалов швейцарской компании «SIKA». Приведены способы «лечения» железобетонных и бетонных мостовых конструкций полимерными растворами типа «Sikadur», а также «Sika Mono Top». Сделан анализ основных причин, способствующих образованию и развитию коррозионных процессов в элементах мостовых конструкций на железнодорожных мостах, и даны рекомендации по защите этих конструкций.

Термин «коррозия» в переводе с латинского («corrosio») означает «разъедание», в переводе же с греческого – «разрыхление». Коррозия – это самопроизвольное разрушение твердых тел, вызванное химическими и электрохимическими процессами, развивающимися на поверхности тела при его взаимодействии с внешней средой.

Коррозионные процессы различной этиологии, происходящие в материале мостовых конструк-

ций, развиваются весьма активно под воздействием агрессивных факторов внешней среды. При этом некоторые самые «безобидные» вещества, окружающие нас, такие как вода и кислород, являются первопричинными в зарождении и развитии коррозионных процессов. Степень активности этих деструктивных явлений зависит от ряда причин и напрямую влияет на долговечность и несущую способность отдельных элементов и соору-

жения в целом. Учитывая многообразие направлений, изучающих коррозию, выделим основные аспекты этой проблемы, характерные для длительно эксплуатируемых мостов, диагностические методы и способы защиты сооружений от коррозии. В процессе эксплуатации железобетонных мостов наиболее часто встречаются два вида коррозии: электрохимическая и механическая.

На участках Белорусской железной дороги с активными перевозками калийных солей и серных ангидридов, в результате просыпаний этих веществ на железнодорожный путь и воздействия на них атмосферной воды, в балластных корытах пролетных строений формируются локальные зоны с растворами и расплавами электролитов, в которых возникают слабые электрические токи. Утечки электрических токов рельсовых цепей, кабелей СЦБ и связи, линий электропередач вызывают образование и поляризацию слабых блуждающих токов в электролитах, что способствует усилению активности коррозионных процессов. При этом в арматуре балок, опорных частях и закладных деталях развиваются активные окислительные процессы.

При механической коррозии деструктивные процессы затрагивают главным образом материалы неорганического происхождения – цементный камень и заполнитель. Разрыхление и, в конечном счете, разрушение этих пористых структур обусловлено кристаллизацией солей, накоплением продуктов коррозии и давлением льда в микротрещинах при замораживании капиллярной воды.

В практике эксплуатации железобетонных мостов мы определяем эти два вида коррозии как дополняющие друг друга и существующие совместно.

На одном из железобетонных мостов, который эксплуатируется с 1953 г. и расположен на солевом направлении, активно развиваются процессы электрохимической и механической коррозии. Деструкция бетона и арматуры под воздействием расплавов калийных солей достигла степени необратимости, особенно в зоне балластного корыта и в нижних поясах балок на глубинах до 5 см от поверхности. Изучение значений водородного показателя рН по образцам, взятым методом бурения из различных глубин бетонных и железобетонных мостовых конструкций, дало следующие результаты: поверхностные слои бетона имеют рН от 10,8 до 11,2; на глубине 5 см и более уровень рН составляет от 12,4 до 12,8. То есть исследования подтверждают, что благоприятное для бетона и железобетона значение рН определяется на глубине 5 см и более от поверхности.

Эти диагностические исследования позволили сделать вывод, что деструкция характерна для поверхностных слоев бетона, и пролетные строения

могут быть отремонтированы с применением новых композиционных материалов.

Аналогичные исследования проводились на ряде других мостов – железнодорожных и пешеходных, где для восстановления структуры бетона, повышения уровня рН и его дальнейшей защиты были применены химически стойкие и высокопрочные материалы, разработанные швейцарской компанией «SIKA». Это пропитки с низкой вязкостью типа «Sikadur 52», ремонтные растворы на основе «Sikagard 720», грунтующие защитные покрытия «Sikagard 570», способные заполнять имеющиеся трещины и предохранять от попадания через них в массив бетона ингредиентов, провоцирующих коррозию. Эти материалы успешно применены при ремонте пешеходного моста на станции Калинковичи.

В результате активной долговременной деструкции подферменных камней на одном из больших мостов возникла острая необходимость в принятии срочных мер по их ремонту. В короткие сроки с небольшим перерывом в движении поездов были выполнены работы по ремонту дефектных подферменников с применением быстротвердеющего химического бетона на основе метакриловой смолы «Sikadur 12». Использование этого материала позволило получить высокую скорость набора прочности, значительно сократить продолжительность «окна» и трудозатраты. Следует отметить, что по истечении 2 часов с начала твердения прочность бетона сформированного подферменника составила 50 МПа, что соответствует классу бетона по прочности на сжатие В50 и позволило незамедлительно приступить к работам по опусканию русловой фермы на опорные части.

В настоящее время на Белорусской железной дороге проводится активная работа по замене мостового полотна из деревянных брусев на безбалластное мостовое полотно из железобетонных плит. На Осиповичском заводе ЖБИ организовано производство этих плит, при этом принят во внимание опыт эксплуатации предыдущих лет и передовые европейские технологии и материалы.

Одним из наиболее существенных факторов, влияющих на долговечность и коррозионную стойкость применяемых плит, является их поверхностная защита от внешней агрессии и применение уплотняющих и антикоррозионных добавок к бетону. Для получения плотного бетона с низким водоцементным коэффициентом мы применяем суперпластификаторы типа «Visco Crete» с обязательной антикоррозионной добавкой «Ferrogard 901», содержащей мигрирующие ингибиторы коррозии. Поверхностную защиту плит от внешних агрессивных воздействий, способствующих развитию коррозии, осуществляем по технологии, предусматривающей защиту от химических и механических воздействий и солнечного излучения.

В качестве грунтовочного материала используется смола «Sikafloor 156» с наполнителем кварцевым песком. Верхний слой выполняется из полиуретанового покрытия «Sikafloor 363 Elastic», стойкого к химическим, механическим и ультрафиолетовым воздействиям. Изготовленные и защищенные по данной технологии плиты уложены на нескольких мостах и хорошо зарекомендовали себя в эксплуатации.

При устройстве безбалластного мостового полотна на железобетонных плитах деревянные элементы сопряжения, в целях их защиты от загнивания и поражения вредителями, мы защищаем высокоэффективным отечественным антисептиком-пропиткой «Биодрев». Этот пожаробезопасный жидкий состав не имеет запаха, не токсичен, обладает высокой стойкостью от вымывания и может быть успешно использован для антисептирования и повышения долговечности деревянных строительных конструкций.

Для защиты верхних поясов балок проезжей части от коррозии в зонах сопряжения плит с поясами после нанесения грунтовочных и окрасочных слоев применяем антикор «Аутокрин» отечественного производства, который обладает высокой адгезией к металлу, бетону и окрасочным покрытиям, а также имеет низкую себестоимость. Как показала практика, этот антикор оказался весьма эффективным материалом и для защиты от механической коррозии бетона подферменных площадок мостовых опор.

Харьковской государственной академией железнодорожного транспорта под руководством д-ра техн. наук, профессора А. Н. Плугина был разработан высокоэффективный защитный состав для мокрых бетонных и каменных поверхностей «ЗС-3», который был нами ограниченно опробован и получил позитивную оценку. Этот состав формируется на основе эпоксидной смолы ЭД-20 с добавлением высокоактивного отвердителя, модификатора и наполнителя. Благодаря невысокой стоимости он может быть рекомендован для защиты поверхностей подферменных площадок, сливных призм и подферменных камней эксплуатируемых мостов.

Основная цель диагностических мероприятий – выявление дефектов и неисправностей, способных снизить несущую способность, эксплуатационную надежность и долговечность конструкций, создающих прямую или косвенную угрозу безопасной эксплуатации сооружения в целом. В практике эксплуатации мостов наиболее сложными являются вопросы диагностики железобетона и, в частности, оценка степени опасности трещинообразования. При этом очень важно правильно различать трещины, появление которых вызвано напряжениями в процессе изготовления, транспор-

тировки и монтажа, а также трещины, обусловленные эксплуатационными нагрузками и воздействием окружающей среды. Трещины силового характера нами анализируются с точки зрения напряженно-деформированного состояния конструкций с оценкой степени деструкции на ближайшую перспективу, с назначением мероприятий по усилению и лечению обнаруженных повреждений.

Один из наиболее массовых и широко известных видов коррозии бетона – физико-химическая. Внешним ее признаком является белый налет на поверхности бетона в местах испарения или фильтрации свободной воды. Коррозия вызывается вымыванием из бетона гидрата окиси кальция $\text{Ca}(\text{OH})_2$. В связи с этим происходит также разрушение и других компонентов цементного камня: гидросиликатов, гидроалюминатов и гидроферритов, так как их стабильное существование возможно лишь в растворах $\text{Ca}(\text{OH})_2$ определенной концентрации.

Белорусским государственным университетом транспорта совместно с Белорусской железной дорогой проведена большая исследовательская работа по изучению влияния гидросиликатной деструкции на прочность бетона. По результатам исследований установлено, что выщелачивание $\text{Ca}(\text{OH})_2$ из бетона на уровне 16 % приводит к снижению его прочности примерно на 20 %. При выщелачивании до 30 % прочность бетона снижается уже на 50 %. Полное исчерпание прочности бетона наступает при потере $\text{Ca}(\text{OH})_2$ на уровне от 40 до 50 %. Этот вид коррозии наиболее характерен для бетонов на портландцементе. Более стойкими оказались бетоны на пуццолановом портландцементе и шлакопортландцементе с гидравлическими добавками.

При диагностике железобетонных мостовых конструкций наиболее ответственным является вопрос оценки коррозионной стойкости арматуры и степени ее поражения коррозией. Отсутствие визуальной доступности к точкам исследования в большинстве случаев осложняет эту задачу. Поэтому сейчас одна из главных проблем – это расширение приборно-диагностической базы, ориентированной на приобретение современных разработок российского акционерного общества «Триада-Холдинг», приборы которых позволяют обнаруживать коррозию арматуры на том этапе, когда она еще не определяется визуально и не вызывает разрушений бетона.

Одним из решающих факторов, которым мы руководствуемся при диагностике состояния железобетонных мостовых конструкций, является изучение уровня водородного показателя pH в массиве. Эти исследования проводятся на различных глубинах до 10 см от поверхности конструк-

ций дискретно через 2 см в локальных зонах, имеющих максимальную деструкцию.

Результаты анализа накопленной на Белорусской железной дороге информации в части изучения уровня рН в железобетонных конструкциях мостов, которые эксплуатируются на солевозных направлениях и подвержены воздействию внешней агрессии солями хлористого калия КСl на поверхностные слои бетона и балластное корыто, свидетельствуют, что наблюдается снижение уровня водородного показателя. При этом $\text{pH} < 10,8$ и поровая влага цементного камня представляет собой кислую среду. Нейтральный же уровень $\text{pH} = 12,5$ фиксируется в глубинных слоях бетона на расстоянии от 5 до 10 см и более от поверхности. Присутствие же ионов Cl^- в значительной степени катализирует процессы коррозии арматуры, снижая несущую способность и долговечность железобетонных конструкций.

Аналогичное состояние бетона пролетных строений нами выявлено при изучении пешеходных мостов, расположенных на станциях и подверженных влиянию солей, применяемых в зимнее время в составе песчано-соляных смесей для посыпки пешеходной части от образования наледей. Значение водородного показателя во всех исследованных конструкциях было снижено в зоне пешеходной плиты до уровня рН от 9,45 до 9,60, что привело в конечном итоге к интенсивной депассивации арматуры и активной ее коррозии.

Учитывая снижение несущей способности конструкций, нами были разработаны мероприятия по усилению ослабленных зон бетона. Они состоят из вырубки «большого» бетона и заделки повреждений ремонтными полимерными растворами типа «Sikadur 41», «Sikadur 45» и «Sikadur 81», а также «Sika Mono Top 610» и «Sika Mono Top 652», с последующим усилением конструкций лентами и холстами из углеродных волокон типа «Sika Carbodur» и «Sika Wrap». Применение материала «Sika Mono Top 610», обладающего способностью осуществлять антикоррозионную защиту и обеспечивать надежную адгезию, позволило получить высокую эффективность ремонта и значительную экономию во времени и технологических затратах.

Диагностика эксплуатируемых металлических мостов в значительной мере упрощается по сравнению с диагностикой железобетонных мостов благодаря практически 100%-ной доступности визуального осмотра всех их конструктивных элементов. Под общим понятием «коррозия» здесь понимают не только процесс образования окислов и феррогидратов, но и трещинообразование, и структурные изменения стальных элементов моста, вызванные химическими воздействиями и усталостью металла.

В ходе диагностики исследуемой стальной конструкции мы устанавливаем основные причины, которые способствовали образованию и развитию коррозионных процессов. В простых случаях, когда эти явления естественны и обусловлены нарушениями защитных покрасочных покрытий, а также существующей агрессивностью внешних воздействий (засоление, замусоренность, повышенная влажность), обычно применяются известные технические решения:

- тщательная механическая подготовка защищаемых поверхностей под защитное покрытие;
- обработка поверхности в труднодоступных местах модификаторами ржавчины;
- нанесение модифицированных грунтовок на основе цинка;
- нанесение защитного покрытия типа «Виникор» или «Виниколор», а также хлорвиниловых покрытий «ХВ-16».

Подготовку поверхности под грунтовку производим с обязательной пескоструйной очисткой поверхности, а при необходимости – и с обработкой поверхности в труднодоступных местах модификаторами ржавчины. Нанесение окрасочных материалов производим механизированным способом, в основном пневматическим распылением защитных составов. Применение покрытий типа «Виниколор» и «ХВ-16» позволяет при температуре наружного воздуха в пределах от +18 до +22 °С уже через 3 часа получить практически готовую и окончательно высушенную поверхность. Это очень важно при производстве работ на элементах проезжей части, таких как пояса продольных балок, когда работы по нанесению покрытий выполняются в очень короткие технологические «окна».

В процессе эксплуатации металлических мостов встречаются более сложные случаи, когда причины образования коррозии связаны с наличием блуждающих токов. На одном из эксплуатируемых на Белорусской железной дороге металлических мостов через реку Западный Буг, где участок электрифицирован постоянным током, элементы балочной клетки проезжей части и детали конструкции мостового полотна подвержены активному воздействию электрокоррозии. Этот процесс нами исследуется и изучается с привлечением специальных технологий и оборудования. Процессы, вызванные электрокоррозией, протекают примерно в 4 раза более активно, чем при обычной коррозии, нанося значительный ущерб и снижая надежность и долговечность мостовых стальных конструкций.

Следует отметить, что наиболее доступным и по-прежнему основным средством защиты металлических конструкций мостов от коррозии является

ся защитная окраска. Действительный срок ее службы, особенно в зонах перевозки калийных солей или воздействия блуждающих токов, снижается в значительной мере и сохраняется до 2–3 лет. Известны и другие, более дорогие способы защиты конструкций от коррозии, но в силу своей экономической недоступности они могут быть применены весьма ограниченно. Это является сдерживающим фактором. Но ввиду большой актуальности проблемы коррозии мостовых конструкций он может быть преодолен поиском новых долговечных и надежных антикоррозионных защитных покрытий с использованием современных ингредиентов и материалов для создания эффективных композиций.

С учетом изложенных представлений, для защиты железнодорожных мостов, работающих в условиях электротяги поездов на постоянном токе, Харьковской транспортной академией на основе дешевых, недефицитных и широко используемых инден-кумароновых смол ИКС, каменноугольных смол КУС, эпоксидных смол типа ЭД-20 с отвер-

дителем УП-583 разработаны антикоррозионные защитные композиции, успешно примененные в практике эксплуатации железнодорожных мостов. Эти относительно недорогие покрытия весьма эффективны в применении и абсолютно не уступают по своему качеству и долговечности существующим различным зарубежным аналогам. Такие покрытия могут быть с успехом рекомендованы для широкого применения в условиях эксплуатации мостовых конструкций на Белорусской железной дороге.

Список литературы

1 Новые антикоррозионные и другие средства защиты металлических пролетных строений и других металлических конструкций : материалы совещания экспертов Комиссии ОСЖД по инфраструктуре и подвижному составу в городе Юрмала с 18 по 20 мая 2004 г. – Юрмала : ОСЖД, 2004. – 13 с.

2 Артамонов, В. С. Защита от коррозии транспортных сооружений / В. С. Артамонов, Г. М. Молчина. – М. : Транспорт, 1976. – 192 с.

3 СНиП 3.04.03–85. Защита строительных конструкций и сооружений от коррозии. – М. : Госстрой России, 1999. – 30 с.

Получено 20.06.2007

E. M. Etin, Y. M. Etin, P. Y. Etin. Protection of bridge constructions from corrosion.

The corrosive processes of different etiology, which take place in material of bridge constructions, develop very actively under the influence of aggressive factors of external environment. The basic aspects of this problem, characteristic for protractedly exploitation bridges, diagnostic methods and methods of corrosion protection of buildings, are pointed out in the article. The results of researches of bridge constructions of a number of operating railway bridges on the Byelorussian railway with the analysis of reasons of actively developing processes of electrochemical and mechanical corrosion are given. Protection of concrete slabs of ballast less railway track is considered with the use of chemically proof and strong materials of the Switzerland company «SIKA». The methods of treatment of reinforced-concrete and concrete bridge constructions by polymeric solutions of «Sikadur», and «Sika Mono Top» types. The analysis of principal reasons favourable for development of corrosive processes is done. The principal reasons of education and development of corrosive processes are considered in the elements of bridge constructions on railway bridges and recommendation on protection of these constructions.