



Н. М. Гурбо,
С. И. Зиневич,
Е. А. Евсеева,
В. Н. Рябцев,
И. И. Леонович,
С. Н. Соболевская,
В. Б. Венцкович

■ Белорусский национальный
технический университет,
г. Минск, Беларусь

■ РУП «Гродноавтодор», г. Гродно,
Беларусь

Повышение коррозионной стойкости железобетона транспортных сооружений

Долговечность железобетонных дорожных мостов в настоящее время имеет чрезвычайно важное значение. К сожалению, долгое время превалировало мнение, что железобетонные дорожные мосты являются капитальными сооружениями с длительным сроком службы, причем не требующими больших эксплуатационных затрат. В этой связи и эксплуатации мостов, и вопросам науки в этой области уделялось недостаточно внимания. Большинство научных исследований было направлено на продление срока службы железобетонных мостов за счет оптимизации состава бетона и технологии его изготовления. Вместе с тем, как показывает опыт, существенное влияние на срок службы мостов имеют работы по содержанию и текущему ремонту, проводимые в период эксплуатации сооружений. Степень их эффективности зависит, в том числе, и от правильного понимания причин и механизма разрушения железобетона.

Недостаточную долговечность железобетонных мостов связывают с коррозией стальной арматуры, которая активизируется при переходе поверхностного слоя арматуры из пассивного состояния в активное. Длительность пассивного состояния поверхностного слоя стальной арматуры обеспечивается щелочной средой поровой жидкости бетона, состоящей в основном из насыщенного раствора гидроксида кальция ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) и щелочей, которые поглощаются продуктами гидратации цемента в соответствии с их растворимостью. Согласно проведенным исследованиям, при $\text{pH}=12,5$ стальная арматура покрывается нанометровым слоем, состоящим из Fe_2O_3 и Fe_3O_4 , и поэтому устойчива к коррозии. Таким образом, защитный слой железобетонных мостовых конструкций играет исключительно важную роль в вопросах долговечности самих сооружений и от его состояния и целостности зависит начало коррозионных процессов арматуры. Причины потери защитным слоем его функций могут быть классифицированы следующим образом: 1) карбонизация бе-

тона защитного слоя; 2) механическое повреждение защитного слоя; 3) химическое повреждение бетона защитного слоя; 4) физическое повреждение бетона защитного слоя. Рассмотрим каждую из этих причин подробнее.

1. Карбонизация бетона защитного слоя. В процессе эксплуатации щелочность бетона защитного слоя мостовых конструкций постепенно снижается. Однако, как свидетельствуют различные исследования, пока водородный показатель pH жидкости бетона сохраняется в пределах 10–12,5, цементный камень защищает сталь от коррозии. Снижение щелочности происходит из-за высокого содержания в атмосфере оксидов углерода (CO_2), серы (SO_2) и азота (NO , NO_2), концентрация которых может колебаться в широких пределах. Однако карбонизация возникает исключительно в результате воздействия CO_2 на бетон защитного слоя. Данный процесс протекает в несколько этапов. Начальная стадия – это диффузия оксида углерода через поры и капилляры с одновременным растворением гидроксида кальция ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) в поровой жидкости. Далее CO_2 , взаимодействуя с поровой жидкостью, образует угольную кислоту (H_2CO_3), которая нейтрализует гидроксид кальция с образованием карбоната кальция (CaCO_3). Процесс карбонизации протекает в течение нескольких лет, понижая величину pH в защитном слое бетона до 7–8 и постепенно затухая. При воздействии на бетон кислотных дождей понижение щелочности может происходить интенсивнее, pH может снизиться до 6–7. По мере увеличения толщины карбонизированного слоя (слоя повышенной плотности), он оказывает всевозрастающее сопротивление диффузии CO_2 , что существенно замедляет продвижение «карбонизационного фронта». Однако при достижении им стальной арматуры его защитные свойства теряются, и под воздействием поровой жидкости и кислорода начинается коррозия арматуры. В первую очередь повреждается распределительная арматура (защитный слой около 10 мм), при этом образуются коррозионные трещины. Последнее вызвано механическим давлением увеличивающихся в объеме нерастворимых продуктов коррозии арматуры. Далее происходит отслоение защитного слоя и его разрушение, что ведет к резкому ускорению процессов коррозии.

Таким образом, карбонизация защитного слоя начинается со стороны наружных его поверхностей и распространяется вглубь, прежде всего по дефектам бетона: трещинам, кавернам и зонам повышенной пористости. В этой связи можно предположить значительное влияние характеристик бетона на скорость карбонизации, которые в том числе определяются и технологией изготовления железобетонных конструкций. Так, например, по данным НИИЖБ, пропаренные бетоны карбонизировались в два раза быстрее, чем

твердения 28 суток в нормально влажностных условиях. В литературе отмечается, что решающее воздействие на процесс карбонизации оказывают водоцементное отношение и качество цементного камня. Для определения скорости карбонизации С. Н. Алексеевым и Н. К. Розенталем предлагается следующая зависимость

$$X = \sqrt{\frac{2c\tau \cdot D}{m \frac{Ц}{300}}}$$

где X – глубина карбонизации, см;

τ – время, с;

c – концентрация углекислого газа в воздухе, доли единицы;

D – эффективный коэффициент диффузии газа в пористом теле, характеризующий проницаемость карбонизированного слоя бетона, $\text{см}^2/\text{с}$;

m – реакционная емкость (объем газа, поглощенный единицей объема) бетона при расходе цемента $300 \text{ кг}/\text{м}^3$;

$Ц$ – расход цемента.

При обследовании и анализе материалов по плитным мостам Республики Беларусь Г. П. Пастушковым и О. М. Вайтович было установлено, что скорость карбонизации бетона на указанных объектах составляет около 1 мм в год, т. е. после 10 лет эксплуатации сооружения слой карбонизированного бетона часто соответствует толщине защитного слоя распределительной арматуры.

2. Механическое повреждение защитного слоя. Механическое повреждение защитного слоя бетона может быть в результате: 1) осадки опор; 2) вибрации конструкций вследствие динамического воздействия нагрузки; 3) перегрузки пролетных строений дорожной одеждой, приводящей к образованию и раскрытию трещин (укладка в процессе ремонта нового покрытия ездового полотна без удаления старого); 4) удар при аварийных ситуациях.

3. Химическое повреждение бетона защитного слоя. К химическим повреждениям бетона защитного слоя можно отнести: 1) биологическую активность бетона; 2) реакцию «щелочь – заполнитель»; 3) агрессивные реагенты, попадающие в бетон при изготовлении конструкций; 4) разрушения в результате воздействия солей, предотвращающих обледенение.

4. Физическое повреждение бетона защитного слоя. К физическому повреждению бетона защитного слоя можно отнести: 1) разрушения при замораживании – оттаивании; 2) усадку бетона; 3) износ бетона; 4) разрушения вследствие термического воздействия.

Обобщая вышеизложенное, можно сформулировать следующие основные мероприятия, направленные на повышение долговечности

железобетонных конструкций транспортных сооружений. В процессе эксплуатации железобетонных мостов акцент должен быть сделан не на ремонт разрушающихся под воздействием коррозии конструкций, а на ее недопущение. Это могут быть профилактические работы при своевременном и качественном содержании искусственных сооружений. Необходимо своевременно удалять агрессивные вещества с проезжей части, пролетных строений и опор. При переходе от зимнего содержания к летнему производить тщательную промывку водой мостового полотна и других, подвергающихся загрязнению конструкций сооружения, с последующей обработкой поверхностного слоя растворами, содержащими гидроксид кальция. Работы по ликвидации коррозионных повреждений и обеспечению защиты бетона и арматуры от коррозии необходимо проводить сразу после обнаружения дефектов и восстановления гидроизоляции мостового полотна. При этом необходима тщательная подготовка поверхности конструкций, с дальнейшим восстановлением полимерцементными ремонтными составами и покраской железобетонных конструкций специальными защитными составами.

На основании вышесказанного следует отметить, что вопрос долговечности железобетонных мостов остается актуальным. Однако основная направленность исследовательских работ – это продление срока службы мостов посредством оптимизации состава бетона и технологии изготовления его элементов. Вместе с тем отмечается недостаточное внимание к поиску научных решений по обеспечению долговечности сооружений за счет совершенствования их эксплуатации, и только развитие науки в этой области позволит реально увеличить срок эксплуатации мостов.