

ность стальной арматуры на растяжение (при выявлении воздействий на арматуру температур 300 °С и более); прогибы; сцепление арматуры с бетоном; несущая способность (по всем расчетным сечениям);

– для стальных конструкций: отклонения от проектной документации (в части длин, размеров поперечного сечения, проектного положения, опирания и креплений элементов); количество, характер, длина и ширина раскрытия трещин в основном металле и сварных швах; наличие концентраторов напряжений (узлы, необработанные отверстия, подрезы основного металла); узлы и детали с высокими местными напряжениями; дефекты сварных швов; расслоение металла; глубина и степень коррозионного повреждения элементов; уменьшение размеров поперечного сечения элемента; отклонения элементов от проектной оси; потеря устойчивости элементов (прогибы, выгибы в одной или двух плоскостях); прогибы; уменьшение несущей способности (по любому расчетному сечению).

#### Список литературы

1 Методика оценки остаточного ресурса несущих конструкций зданий и сооружений. – М. : ФАУ «Федеральный центр нормирования, стандартизации и оценки соответствия в строительстве», 2018. – 50 с.

2 Васильев, А. А. Оценка остаточного ресурса несущих конструкций / А. А. Васильев // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2022. – № 2 (45). – С. 40–44.

3 Шмелев, Г. Д. Систематизация определяющих параметров для прогноза остаточного срока службы строительных конструкций / Г. Д. Шмелев // Вестник МГСУ. – 2013. – № 8. – С. 89–96.

УДК 624

## ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ АРМИРОВАННЫХ КОНСТРУКЦИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

*Б. Б. ЖАНАЛИЕВ, И. Г. ОВЧИННИКОВ*

*Тюменский индустриальный университет, Российская Федерация*

В настоящее время железобетонные конструкции широко применяются в транспортном строительстве. Порядка 90 % и более мостовых сооружений выполнены либо из железобетона, либо из предварительно напряженного железобетона, либо же из сталежелезобетона.

Раньше железобетон было принято считать практически вечным материалом с долговечностью порядка 100 и более лет, но к настоящему времени установлено, что срок службы этого материала ограничивается периодом в 30–50 лет, в зависимости от агрессивности условий эксплуатации, наличия той или иной системы защиты. На рисунке 1 приведены примеры повреждений железобетонных конструкций от коррозии.



Рисунок 1 – Коррозионные повреждения железобетонных пролетных строений

Для защиты от коррозии бетонных и железобетонных конструкций транспортных сооружений используют методы **первичной и вторичной защиты**, а также специальные меры по ГОСТ 31384, СП 28.13330, СП 229.1325800, СП 72.13330.

Методы первичной защиты включают приемы конструктивного и технологического характера. **Конструктивные мероприятия:** выбор рациональных конструктивных форм, повышающих слитность; выбор вида и класса арматурных сталей; применение дисперсного армирования; назначение толщины защитного слоя с учетом его проницаемости; формулирование более жестких требований по трещиностойкости; ограничение на действующие нагрузки; применение стойких к заданным эксплуатационным условиям бетонов и неметаллической арматуры. **Технологические мероприятия:** выбор коррозионностойких видов цементов; подбор эффективного состава бетона, в том числе

типов химических добавок и модификаторов; подбор крупного и мелкого заполнителя, стойкого к условиям эксплуатации; снижение проницаемости бетона; обеспечение ухода за бетоном, позволяющего максимально снизить образование усадочных и температурных трещин.

**Рассмотрим более подробно три способа повышения долговечности железобетонных конструкций, связанных с использованием полимерных композитных материалов.**

### **1 Покрытие железобетонной конструкции полимерными материалами и окраска.**

Этот способ был в свое время довольно глубоко исследован В. И. Соломатовым, В. П. Селяевым и их учениками [1–3]. Ими же была предложена методика оценки долговечности железобетонных конструкций с защитными полимерными покрытиями на основе использования деградационных функций. Следует заметить, что применение полимерных покрытий является довольно эффективным способом, так как позволяет использовать полимерные покрытия и для усиления железобетонных конструкций. Также возможен и вариант технологии защиты бетонных конструкций от воздействия агрессивной окружающей среды – покраска [4, 5] (рисунок 2).

### **2 Применение защиты арматурных каркасов полимерными покрытиями (рисунок 3).**



Рисунок 2 – Антикоррозионная защита опор мостовых сооружений лакокрасочными материалами

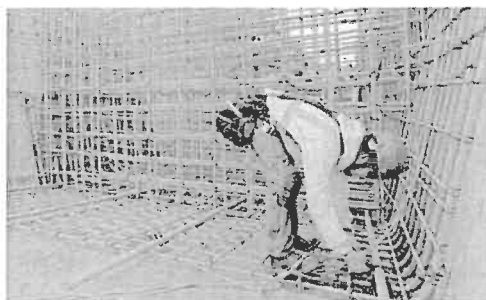


Рисунок 3 – Арматурные каркасы, защищенные полимерными покрытиями

Следует заметить, что в США запрещено применять арматурные каркасы без защиты полимерными покрытиями. В РФ пока еще широко используется обычная каркасная арматура без полимерных покрытий.

### **3 Применение полимерной композитной арматуры (рисунок 4) [6].**



Рисунок 4 – Применение композитной арматуры при строительстве путепровода

Важно понимать, что повсеместно использовать полимерную композитную арматуру не следует, ведь по сравнению с металлической она не обладает и близкой жесткостью и прочностью. Уместно использовать полимерную композитную арматуру в неответственных конструкциях или пешеходных мостах с невысокой проходимостью.

В последнее время за рубежом значительно увеличилось количество конструкций, изготовленных с применением композитных полимерных материалов. В этой области ведущее положение в мире занимают США, Швейцария, Дания, Великобритания, Япония и Канада.

В России имеется опыт использования композитной арматуры при строительстве мостов. Такие разработки осуществлялись в Хабаровском политехническом университете еще с 1975 года. Первые объекты с применением стеклопластиковой арматуры были сданы в эксплуатацию именно в Хабаровске.

Внедрение неметаллической арматуры в строительстве нашей страны с ее суровым климатом даст ощутимый экономический эффект. Особый интерес здесь представляет опыт Канады, в которой дополнительные затраты, связанные с применением полимерных композитных материалов, компенсируются производителями и правительством. Особенности климата Канады определяли быстрое разрушение железобетонных конструкций из-за коррозии, поэтому обязательное использование композитных стержней при проектировании и возведении мостов было закреплено на уровне государственного кодекса. С 1995 года под эгидой федерального правительства функционирует

центр Intelligent Sensing for Innovative Structures (ISIS), который объединяет 13 университетов, 25 ведущих проектантов и 276 исследователей и взаимодействует с 92 организациями (объем финансирования в 2006 году – 12,8 млн долларов).

По некоторым сведениям сегодня в Канаде и США существует около 400 мостов, где так или иначе применялась стеклопластиковая арматура.

**Экономический эффект** от применения композитной арматуры связан со **снижением расходов на эксплуатацию и увеличением срока службы** транспортных сооружений.

Сдерживающими факторами для уверенного внедрения полимерной композитной арматуры в строительную отрасль является отсутствие как нормативной базы по проектированию бетонных конструкций, армированных полимерной композитной арматурой, так и базы исследований долговременной прочности и опыта эксплуатации таких конструкций.

Следует сразу же констатировать, что, несмотря на рассуждения о необходимости оценки долговечности железобетонных конструкций, этот вопрос еще далек от своего решения. Вероятно, дело в том, что длительное время применяемая для железобетонных конструкций методология расчета по предельным состояниям в своих формулах не содержит такого понятия, как время, и потому не позволяет определить долговечность указанных конструкций. Мы полагаем, что определенные шаги в нужном направлении позволит сделать применение деформационного подхода в сочетании с какой-либо из теорий накопления повреждений [7].

Значительный интерес также представляет экспериментальное и теоретическое исследование поведения железобетонных конструкций, усиленных различными системами внешнего армирования, и особенно с применением полимерных композитных материалов.

#### Список литературы

- 1 Соломатов, В. И. Химическое сопротивление материалов / В. И. Соломатов, В. П. Селяев, Ю. А. Соколова. – М. : РААСН, 2001. – 284 с.
- 2 Долговечность железобетонных конструкций с полимерными покрытиями [Электронный ресурс] / Селяев В. П. [и др.] // Academia. Архитектура и строительство. – 2009. – № 5. – Режим доступа : <https://cyberleninka.ru/article/n/dolgovechnost-zhelezobetonnyh-konstruktsiy-s-polimernymi-pokrytiyami>. – Дата доступа : 22.09.2024.
- 3 Полимерные покрытия для бетонных и железобетонных конструкций : [монография] / В. П. Селяев [и др.] ; Российская акад. архитектуры и строит. наук. – Саранск : СВМО, 2010. – 224 с.
- 4 Защита железобетонных конструкций транспортных сооружений от коррозии / И. Г. Овчинников [и др.] // Промышленные покрытия. – 2012. – № 5–6. – С. 72–75.
- 5 Красить ли железобетонные мосты? И. Г. Овчинников [и др.] // Транспортное строительство. – 2012. – № 10. – С. 12–14.
- 6 Булков, А. С. Защита от коррозии арматурной стали железобетонных конструкций транспортных сооружений [Электронный ресурс] / А. С. Булков, М. А. Баев, И. Г. Овчинников // Интернет-журнал «Транспортные сооружения». – 2020. – № 1. – С. 17. – Режим доступа : <https://t-s.today/PDF/15SATS120.pdf>. – Дата доступа : 22.09.2024. – DOI : 10.15862/15SATS120.
- 7 Проблемы применения современных нормативных документов для расчета транспортных сооружений / И. Г. Овчинников [и др.] // Архитектура, строительство, транспорт. – 2024. – № 1 (107). – С. 116–122. – DOI : 10.31660/2782-232X-2024-1-116-122.

UDC 691.32:666.97

## APPLICATIONS OF INTELLIGENT MATERIALS IN CONSTRUCTION

*T. A. ZHELYAZOV*

*National Institute of Geophysics, Geodesy and Geography, Department of Seismology and Seismic Engineering, Bulgarian Academy of Sciences, Bulgaria*

Concrete is a popular material in construction; it is also commonly used in the transport infrastructure. Concrete is, by design, expected to crack during the exploitation period. This potentially creates favorable conditions for corrosion of the internal steel reinforcement (in the case of classical reinforced concrete structure) and diminishes the water permeability of structural elements. One of the axes of research searching for options to cope with the above-undesired phenomena is the development of the so-called intelligent or, more precisely, self-healing materials. Concrete exhibits a natural potential for self-healing [1], which can be further engineered either through the addition of stimuli-responsive microcapsules in the cementi-