

5. Павлова, И. П. Исследование влияния расширяющихся сульфферритных и сульфоалюминатных добавок на прочностные показатели и собственные деформации цементных систем / И. П. Павлова, Т. В. Каленюк, К. Ю. Беломесова // Весн. БрГТУ.– 2016. – № 1: Строительство и архитектура.– С. 123–127.

6. Волженский А. В. Минеральные вяжущие вещества / А. В. Волженский – М. : Стройиздат, 1986. – 410 с.

УДК 691. 544

## **Н. С. СТУПЕНЬ**

\* Беларусь, Брест, БрГУ имени А. С. Пушкина

### **ЭФФЕКТИВНОСТЬ НЕРАЗРУШАЮЩИХ МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ СТЕПЕНИ КОРРОЗИИ СТРОИТЕЛЬНЫХ ОБЪКТОВ**

Обследование технического состояния зданий и сооружений производится с целью определения деформаций или других воздействий от влияния осуществляемых вблизи них нового строительства или реконструкции, а также для разработки в случае необходимости мероприятий по усилению их конструкций или укреплению грунтов оснований.

Строительная реставрация – это восстановление внешнего вида, а также отдельных деталей здания различных годов постройки. Благодаря современным материалам и эффективным технологиям профессиональные бригады выполняют работы быстро и полностью возвращают сооружениям первоначальный внешний вид. Корректировка рабочего проекта реставрации ведется на протяжении всего периода работ, и окончание проекта совпадает с окончанием реставрации в натуре. Большие разрушения памятника архитектуры и невозвратимые утраты иногда исключают реконструкцию, а тем более полную реставрацию. Поэтому при инженерной реставрации таких памятников ограничиваются лишь необходимым укреплением уцелевших частей. Нельзя воспроизводить любой памятник культуры, если нет достоверных сведений о его первоначальном облике. Основная задача реставрации – сохранение памятников истории и культуры, позволяющее последующим поколениям осознать преемственность культуры, придающее смысл настоящему и вселяющее надежды на будущее.

Реставрация зданий и сооружений – исключительно сложный вид работ, требующий совместной деятельности различных специалистов, и в первую очередь архитекторов-реставраторов, инженеров и техников-строителей, а также археологов.

Реставрация – это совокупность мероприятий, которые направлены на восстановление исходного облика и улучшение характеристик старых сооружений, имеющих историческую или культурную ценность. Чаще всего объекты

располагаются в центральной части города или в зонах исторических застроек. После того как поставленные задачи полностью выполнены, строение разрешается полноценно использовать с сохранением архитектурного наследия.

Детальное изучение долговечности и прочности бетона, железобетона и сооружений из них актуально в связи с выявлением причин появления трещин, потеря внешнего вида зданий и т. д.

Реставрационные работы большинства зданий проводят, не разрушая их, а только лишь устраняя «испорченные участки». Для этого необходимо установить причину нарушения внешнего вида здания или его эксплуатационных свойств.

Наиболее интенсивные коррозионные повреждения железобетонных конструкций отмечаются при действии на них жидких агрессивных сред, содержащих хлориды. Агрессивные хлорсодержащие среды вызывают коррозию стальной арматуры в железобетонных конструкциях, которая значительно сокращает сроки эксплуатации водохозяйственных объектов, а также ряда других объектов, подверженных контакту с хлорсодержащими средами.

Наиболее технически сложной и серьезной причиной повреждения и преждевременного разрушения железобетонных конструкций является неконтролируемое проникновение хлорид-ионов из окружающей среды. Важным аспектом является возможность определять содержание хлорид-ионов в железобетонных плитах без их демонтажа и разрушения.

Для проведения испытаний пробы бетона с участков конструкции разной степени коррозии раздробили и измельчили. Удалили легко отделяемые куски крупного заполнителя. Оставшуюся часть измельчили в шаровой планетарной мельнице (Retsch PM 100) до порошкообразного состояния.

Методика подготовки образцов к анализу – общепринятая для анализа бетона и железобетонных конструкций по 6.15.2 СТБ 1168-99, 9.7.3 СТБ 1112.

Количественное определение хлорид-ионов проводили аргентометрией (методом Мора). В качестве индикатора применяли раствор хромата калия  $K_2CrO_4$ . Для определения pH среды пробы бетона массой от 75 до 100 г готовили по традиционной методике для получения вытяжки. Для приблизительного определения pH использовали универсальную индикаторную бумагу. Точное измерение pH производили pH-метром.

### **Анализ результатов**

Хлорид-ионы могут попадать в цементный клинкер на стадии твердения, так как хлориды щелочных металлов часто используют в качестве добавок в цемент как ускорители твердения бетона. Так же хлорид-ионы могут попадать уже в готовые бетонные изделия (плиты) извне. В данном случае бетонные плиты находятся в помещении бассейна с водой, которая постоянно хлорируется для обеззараживания. Но хлорид-ионы отличаются наибольшей активирующей способностью из всех видов анионов. Влияние добавок-ускорителей на сталь заключается в том, что на поверхности металла формируются или разрушаются защитные пленки, а также изменяется электропроводность растворов. Хлорид-ионы в жидкой фазе бетона, контактирующей с арматурой, разрушают пассивирующую пленку на поверхности стали, как правило, в отдельных точках, где их концентрация достигает критиче-

ского значения. Образуются гальванические пары с малым по площади анодом и значительно большим катодом, представленным пассивной поверхностью. Развитие коррозии принимает язвенный характер. Хлористые, сернокислые и азотнокислые соли щелочных металлов образуют с железом хорошо растворимые продукты. Наиболее активно разрушают защитные пленки хлорид-ионы.

Усиленная коррозия арматуры, как правило, связана с присутствием в бетоне хлоридов в количестве, превышающем 0,2 % от массы цемента. Критическое значение содержания хлорид-ионов, установленное Евростандартом EN 206-1 для бетона с напрягаемой стальной арматурой, 0,1–0,2 % от массы цемента [1].

Анализ экспериментальных данных показал, что содержание хлорид-ионов в исследуемых пробах различно. Для надежной защиты арматуры в бетоне необходимо, чтобы щелочность среды бетона была не ниже  $\text{pH} = 11,8$ . При меньших значениях  $\text{pH}$  возможна коррозия арматуры в бетоне. Сталь в щелочной среде пассивна. Наступление пассивности характеризуется резким облагораживанием электродного потенциала металла. Так, железо в активном состоянии имеет потенциал  $-0,4 \text{ В}$ , а в пассивном его потенциал поднимается до  $+1 \text{ В}$ . Пассивность обеспечивается покрытием оксидных пленок:  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  или  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  [2].

В твердеющей бетонной смеси смещение потенциала стали в положительную сторону происходит не сразу. Значение потенциала стали зависит от влажности и от проницаемости бетона для кислорода. Начальное значение  $\text{pH}$  в бетонной смеси велико. Со временем оно изменяется вследствие химизма процессов твердения. Поэтому важен нижний диапазон значений  $\text{pH}$ , при котором коррозия стали не идет, находится в промежутке 11,5–11,8 (по некоторым источникам эта величина составляет 12). Опытным путем установили, что диапазон потенциалов стали в бетоне при  $\text{pH} = 12$ –12,5 находится в области пассивности. Понижение  $\text{pH}$ -среды в бетоне наблюдается при уменьшении концентрации  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  вследствие выщелачивания его проточной водой или в случае использования активных минеральных добавок. Вместе с тем в поверхностных слоях бетона может наблюдаться снижение щелочности вследствие нейтрализации гидроксида кальция кислыми жидкостями и газами (карбонизация). Карбонизация защитного слоя бетона – самое распространенное агрессивное воздействие, которому подвергаются железобетонные конструкции, эксплуатируемые в природной среде. Углекислый газ, находящийся в атмосфере, взаимодействует с гидроксидом кальция и едкими щелочами защитного слоя бетона. В результате этого значение  $\text{pH}$  жидкой фазы бетона падает с 13,0 до 11,0 и более низких значений. Такой бетон утрачивает свою защитную функцию по отношению к стали. Пассивное состояние стали нарушается и начинается процесс коррозии. Активные минеральные добавки в составе портландцемента связывают гидроксид кальция, и концентрация извести в среде может снизиться настолько, что произойдет растворение гидроалюмината кальция [2].

Все исследуемые пробы железобетонных плит показали высокие значения  $\text{pH}$ -среды: от 8,7 до 12,64. Анализ полученных данных позволяет сделать вывод, что значения  $\text{pH}$  исследуемых проб бетона находится в прямой корреляции с данными по содержанию хлорид-ионов.

В области пассивного состояния стали рН-среды водных вытяжек из бетона находится в пределах 11,8–12,9, что не может быть причиной последующей коррозии стальной арматуры. В таких пробах содержание хлорид-ионов от 0,0045 до 0,003 %. Вследствие щелочности жидкой фазы, нормально насыщенного гидроксидом кальция, цементный бетон способен защитить арматуру от коррозии. Отсутствие коррозии арматуры в бетоне обуславливается пассивностью стали в щелочной среде. Смещение потенциала стали с торможением анодного процесса в твердеющем бетоне происходит постепенно. Следует иметь в виду, что рН-среды не может однотипно характеризовать состояние стали в бетоне, так как в нем могут присутствовать активирующие ионы, в нашем случае – хлорид-ионы. Для более детального анализа причин коррозии необходимо учитывать совокупность факторов, влияющих на понижение пассивности стальной арматуры.

Таким образом, исследование строительных смесей аналитическими методами (качественное и количественное определение хлорид ионов, определение рН водных вытяжек из бетона) позволяет изучить совместное влияние процессов карбонизации и наличия хлорид-ионов на процессы коррозии стальной арматуры, определить ее причины и способы ее устранения и предупреждения. Аналитические количественные методы можно отнести к неразрушающим методам контроля степени коррозии строительных объектов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бетон. Часть 1: Общие технические требования, производство и контроль качества: EN 206-1. – Введ. 12.05.2000. – СЕН/ТС 104 (секретариат при DIN). – 103 с.
2. Ferreira, R. M. Probability-based durability analysis of concrete structures in marine environment / Rui Miguel Ferreira. – Guimaraes, Portugal. – 2004.

УДК 72.025.4(476.7)

**Э. А. ТУР\***, **С. В. БАСОВ\***, **В. Н. КАЗАКОВ\*\***,  
**И. Т. СОТНИКОВ\*\*\***

\* Беларусь, Брест, учреждение образования «Брестский государственный технический университет»

\*\* Беларусь, Брест, ООО «РеставрацияИнвест»

\*\*\* Беларусь, Брест, филиал «Брестреставрацияпроект» ОАО «Белреставрация»

## **ЗНАКОВЫЕ НЕДВИЖИМЫЕ ОБЪЕКТЫ ИСТОРИКО-КУЛЬТУРНОГО НАСЛЕДИЯ Г. БРЕСТА И БРЕСТСКОГО РАЙОНА, ИССЛЕДОВАННЫЕ В 2012–2021 ГОДЫ**

К историко-культурному наследию нашей страны принадлежат материальные и духовные ценности, которые имеют неизменное историческое значе-