

2. Оценка прочности на сжатие конструкций и элементов сборного бетона в реальных условиях: СТБ EN 13791–2012. – Минск: Госстандарт - Введ. 10.02.2012. Госстандарт, Минск, 2012. – 18 с.

3. Методы контроля бетона в конструкциях. Часть 4. Определение скорости распространения ультразвукового импульса: СТБ EN 12504-4–2014 – Введ. 01.01.2015. Госстандарт, Минск, 2014. – 15 с.

4. Снежков, Д.Ю. Основы мониторинга возводимых и эксплуатируемых железобетонных конструкций неразрушающими методами / Д.Ю. Снежков, С.Н. Леонович – Минск: БНТУ, 2016. – 330 с.

УДК 666.972.55

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ХЛОРИДНОЙ АГРЕССИИ НА ПОРТОВЫЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫЕ СООРУЖЕНИЯ ЮЖНОЙ ЧАСТИ ПРИМОРСКОГО КРАЯ

¹ШАЛЫЙ Е. Е., КИМ Л. В., ШАЛАЯ Т. Е., ²ЛЕОНОВИЧ С. Н.

*¹Дальневосточный федеральный университет
Владивосток, Россия*

*²Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

В процессе эксплуатации железобетонные конструкции зданий и сооружений подвергаются комплексу внешних воздействий: нагрузок, температур, агрессивных эксплуатационных сред и др. Совместное влияние их приводит к интенсивному развитию повреждений и сокращению срока службы железобетонных конструкций.

Разрушение железобетонных конструкций зависит от времени, в течение которого происходят химические и физические процессы. Изучив различные процессы коррозии железобетона и влияющие на них факторы (свойства материалов, внешние условия и др.), можно оценить срок службы железобетонных конструкций.

При эксплуатации гидротехнических сооружений одним из основных факторов коррозии железобетона является пагубное воздействие хлоридов морской воды на защитный слой. Хлориды,

проникая через поры в бетоне, вступают в химические реакции с арматурой, вызывая ее коррозию. Опасность коррозии рабочей арматуры состоит в том, что образование ржавчины приводит к увеличению объема, занимаемого арматурой и ржавчиной в бетоне, что ведет к возникновению значительных растягивающих напряжений в нем, и интенсивному процессу образования трещин, уменьшению сечения рабочей арматуры [1].

Проникновение хлоридов в бетон (диффузия хлоридов) зависит от типа цемента. Например, при использовании сульфатостойких цементов с низким содержанием трехкальциевого алюмината проникание хлоридов в бетон будет происходить быстрее, чем в бетон на обычном портландцементе при сравнимых составах и уровне прочности [2].

Необходимо отметить, что перемещение и накопление Cl^- до критического содержания у арматуры зависит: от влажности (чем больше влажность, тем больше скорость проникновения); от качества защитного слоя бетона; от типа и количества цемента; проницаемости бетона, водоцементного отношения, времени и условий ухода за бетоном; от температуры (чем выше температура, тем больше глубина проникновения).

Климат южной части Приморского края муссонный с большими перепадами температур зимой. Особенности климатических проявлений в этих условиях, по сравнению с отдаленными от побережья районами, являются более сильные ветры, более частые туманы, большая влажность воздуха, несколько меньшие экстремальные и средние величины осадков, более высокие среднегодовые температуры воздуха. В таких условиях коррозия материала морских сооружений происходит очень интенсивно [3].

Рассматривая воздействия окружающей среды, связанные преимущественно с воздействием на морские железобетонные сооружения хлоридов морской воды можно сделать вывод, что основное разрушение бетона с обнажением арматуры происходит в зоне переменного уровня воды (рис. 1).



Рис. 1. Коррозия в зоне переменного уровня воды (порт Посьет)

Как правило, в российских нормах, при подборе состава бетона для элементов конструкций портовых сооружений, практически не учитываются (либо учитываются, но весьма поверхностно) условия окружающей среды в которых будут эксплуатироваться данные конструкции. Такой недочет иногда приводит к их разрушениям и, в последствии, к большим затратам на ремонт или реконструкцию причалов.

Для предотвращения подобных разрушений, вызванных хлоридной агрессией, нужно, чтобы уровень хлоридов в защитном слое бетона находился ниже пороговых значений. Определять пороговый уровень содержания хлоридов можно путем постоянного мониторинга конструкций, однако в условиях круглосуточной работы порта осуществлять это регулярно достаточно проблематично.

Европейские нормы предлагают методы, при которых следует проектировать конструкции таким образом, чтобы изменения заданных начальных показателей качества, происходящие в течение проектного срока эксплуатации с учетом влияний окружающей среды и предусмотренного уровня технического обслуживания, не приводили к снижению эксплуатационных свойств конструкции более установленного уровня. Одним из таких методов является модель DuraCrete.

Принципиально модель представлена в виде:

$$C_x = C_{sn} \left[1 - \operatorname{erf} \frac{x}{2\sqrt{D_a(t)t}} \right], \quad (1)$$

где C_x – содержание хлоридов на некоторой глубине, % по массе цемента; $C_{сп}$ – поверхностное содержание хлоридов % по массе цемента; x – глубина проникновения хлоридов, м; t – время воздействия, с; $D_a(t)$ – коэффициент диффузии хлоридов, м²/с, определяемый по формуле

$$D_a(t) = D_a(t_0) \left(\frac{t_0}{t} \right)^n = k_c k_e k_l D_0 \left(\frac{t_0}{t} \right)^n, \quad (2)$$

где k_c – постоянный коэффициент, который учитывает влияние изготовления; k_e – постоянный коэффициент, который учитывает влияние окружающей среды; k_l – постоянный коэффициент, который учитывает влияние метода испытаний; D_0 – коэффициент диффузии хлоридов, определенный при стандартных условиях, м²/с; t_0 – эталонное время, с; n – фактор возраста.

Как видно из уравнений, модель DuraCrete использует факторы, учитывающие влияние окружающей среды.

Для верификации расчетной модели, эксплуатируемой на побережье юга Приморского края, была принята железобетонная конструкция на сульфатостойком портландцементе с В/Ц 0,37 и расходом 450 кг/м³; толщина защитного слоя бетона 50 мм. Конструкция эксплуатируется на побережье в 3-х различных частях Приморского края. По предложенной Еврокодами методике выполнен вероятностный расчет содержания хлоридов на некоторой глубине, % от массы цемента на период эксплуатации 30 лет. Результаты вероятностного расчета, а также сравнение вероятностного расчета с натурными испытаниями представлены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты вероятностного моделирование, сравнение с натурными исследованиями

Район исследования	Период эксплуатации (30 лет)	X, мм	Вероятностная модель	Лабораторные испытания
			С1%	С1%
1	2	3	4	5
Порт Владивосток		10	0,3	0,289
		20	0,175	—
		30	0,117	0,119
		40	0,067	—
		50	0,049	0,04

Окончание табл 1

1	2	3	4	5
Порт Находка	10	0,32	0,296	
	20	0,22	—	
	30	0,116	0,118	
	40	0,078	—	
	50	0,039	—	
Порт Посьет	10	0,293	0,299	
	20	0,22	—	
	30	0,165	0,162	
	40	0,120	—	
	50	0,079	0,068	

Из табл. 1 видно, что результаты для вероятностного подхода и при натуральных исследованиях на период 30 лет показывают достаточно хорошую сходимость.

Таким образом, по результатам исследования, можно сделать вывод о том, что в дальнейшем, оперируя данными полученными в ходе вероятностного моделирования, можно достаточно точно рассчитать срок службы бетона прибрежных конструкций в данном районе и надежно определить возможность их эксплуатации без специальной (вторичной) защиты.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Леонович, С.Н. Воздействие хлоридов на железобетонные конструкции: моделирование проникновения в бетон / С.Н. Леонович, А.В. Прасол // Наука и техника. – 2012. – № 2. – С. 34–38.
2. BE95-1347. Dura Crete: Brite EuRam III Project, Modeling of Degradation // Rept R4-5, 1998.
3. СЕВ – Comite Euro International du Beton. Durable Concrete Structures – Design Guide, Thomas Telford. – London, 1992.
4. DuraCrete-Probabilistic Performance Based Durability Design of Concrete Structures: Statistical Quantification of the Variables in the Limit State Functions. Rept No BE 95-1347, 2000. – P. 62–63.