

DOI.org/10.5281/zenodo.1196709
УДК 626-1/-2

Е.Е. Шалый

ШАЛЫЙ ЕВГЕНИЙ ЕВГЕНЬЕВИЧ – аспирант Инженерной школы,
e-mail: john_shamali@mail.ru
Дальневосточный федеральный университет
Суханова ул., 8, Владивосток, 690091

Анализ деградации бетона сооружений на острове Сахалин

Аннотация: В последние годы в Российской Федерации уделяют большое внимание развитию шельфовых зон Арктики и Дальнего Востока. Это связано в первую очередь с интересом государства к добыче углеводородов и развитию Северного морского пути. Однако портовая инфраструктура этих регионов находится в крайне неудовлетворительном состоянии: так, большинство портов Дальнего Востока имеют большой износ причальных сооружений. Поэтому для решения задач по освоению шельфа нужно в первую очередь реконструировать и отремонтировать гидротехнические сооружения уже существующих портов и портовых терминалов, а впоследствии заняться их модернизацией, расширением или строительством новых. Одним из главных условий обеспечения высокого качества и долговечности таких сооружений является учет природно-климатических особенностей места строительства как на стадии проектирования сооружения, так и во время его возведения, реконструкции или капитального ремонта. Поэтому инженеру-строителю всегда необходимо знать и учитывать специфику того района, где он строит сооружение. Шельфовая зона Дальнего Востока находится на стыке крупнейшего на планете материка и самого большого океана. Для климата характерна муссонная циркуляция воздушных масс. В среднем здесь проходит около ста циклонов в год. Некоторые из них обуславливают продолжительную пасмурную погоду с обильным выпадением осадков в виде дождя и снега. Нет ничего удивительного, что в рассматриваемом районе при таких условиях происходит интенсивная коррозия материала конструкций гидротехнических сооружений. Автором проведены исследования хлоридного разрушения морских гидротехнических сооружений (далее ГТС) острова Сахалин. Для определения особенностей конструкции сооружений и планирования работ по контрольно-инспекторскому обследованию проведен анализ проектной, исполнительной и эксплуатационной документации. Определены основные причины коррозионного разрушения ГТС острова Сахалин. Выполнен вероятностный расчет проникновения хлоридов и CO_2 в бетон защитного слоя ГТС в зоне переменного уровня воды. Выполнено сравнение вероятностного расчета содержания хлоридов и CO_2 на некоторой глубине с данными лабораторных исследований.

Ключевые слова: сооружение, море, коррозия, модель, долговечность, хлоридная агрессия, карбонизация.

Введение

Для сооружений, эксплуатируемых на шельфе о. Сахалин, наиболее опасны явления попеременного замораживания и оттаивания водонасыщенных зон конструкции, перепады температур воздуха, электрохимическая коррозия, выщелачивание цементного раствора и др. Эксплуатацион-

ные и природно-климатические воздействия сосредоточены в поверхностном слое бетона наружных и внутренних поверхностей колонн в зоне переменного уровня воды.

Бетон портовых сооружений при внешних воздействиях и вследствие внутренней деградации изнашивается с формированием трещин, локальных зон разрушения (поверхностных и внутренних). К наиболее опасным явлениям относятся попеременное замораживание и оттаивание водонасыщенных зон конструкции, сезонные и суточные перепады температур воздуха, процессы электрохимической коррозии, выщелачивания морской водой цементного раствора и др.

Проблему долговечности цементов и бетонов с конца XIX в. изучали отечественные ученые, которые, установив причины и факторы коррозии, предложили эффективные меры по увеличению стойкости этих строительных материалов [1–6].

Эксплуатационные и природно-климатические воздействия на шельфовые конструкции наиболее опасны в поверхностном слое бетона в зоне переменного уровня воды. Основными факторами коррозии являются уровень углекислого газа, температура воздуха и влажность, которая резко увеличивает скорость карбонизации. Оптимальная относительная влажность для карбонизации составляет от 50 до 75%. Если бетон сухой ($RH < 40\%$), то CO_2 не может раствориться, и карбонизация не происходит. Если бетон очень влажный ($RH > 90\%$), процесс карбонизации отсутствует. Это связано с механизмом транспорта, так как в сухой зоне ионы хлоридов быстрее мигрируют в защитный слой бетона при водопоглощении и гидратационном всасывании. Долговечность бетона конструкции обеспечивается при наличии защитного слоя для арматуры. Иначе происходит ускоренное разрушение в течение месяцев.

Стандарт EN 206-1:2000 требует обеспечить максимальное водоцементное отношение (В/Ц) для гарантирования срока службы 50 лет (табл. 1). СП 28.13330.2012 также дает минимальную прочность на сжатие бетонного материала и бетонного покрытия, необходимого для поддержания достаточной прочности на срок службы более 50 лет (табл. 1).

Таблица 1

Параметры бетона, обеспечивающие срок службы причала 50 лет

Характеристика	Карбонизация		Хлоридная агрессия	
	EN 206-1	СП 28.13330.2012	EN 206-1	СП 28.13330.2012
Класс бетона	XC4	XC4	XS3	XS3
Максимальное В/Ц	0,5	0,45	0,45	0,45
Минимальная прочность на сжатие, МПа	30	35	35	45
Минимальный расход цемента, кг/м ³	300	300	340	340
Минимальный защитный слой бетона, мм	45	25	50	50

Цель настоящей работы – прогнозирование времени насыщения защитного слоя бетона морских конструкций углекислым газом. Для этого нам следует решить следующие задачи:

- 1) оценить срок безопасной эксплуатации морских бетонных сооружений при карбонизации в сочетании с хлоридной агрессией с заданной вероятностью;
- 2) произвести контроль напряженно-деформированного состояния и развития деградационных процессов в защитном слое бетона;
- 3) дать прогноз наступления отказов различного типа для обоснования графика ремонтов и профилактических работ.

Деградация при совместном действии карбонизации и хлоридной ингрессии

Известно, что карбонизация уменьшает щелочность воды в бетоне и инициирует коррозию, но в морских условиях этот эффект снижается из-за водонасыщения бетона. В реакции с гидроксидом кальция образуется карбонат кальция:



Эта реакция снижает pH порового раствора до величины, при которой пассивная пленка на стали арматуры нестабильна, и возникает коррозия.

В высокотехнологичном бетоне карбонизация будет проходить со скоростью до 1 мм в год. Карбонизация значительно увеличивается при высоком В/Ц, низком содержании цемента, коротком периоде отверждения, низкой прочности бетона. Увеличивают скорость карбонизации повышенная проницаемость бетона (трещины), высокая влажность. Наиболее интенсивная скорость карбонизации отмечена при относительной влажности 50–70%. При влажности менее 25% степень карбонизации незначительна, при влажности более 75% поровая вода ограничивает проникновение CO_2 .

Хлорид-индуцированная коррозия – основной фактор снижения долговечности бетона. Сопротивление хлоридной агрессии зависит от проницаемости бетона, толщины защитного слоя, ширины раскрытия трещин. Хлориды содержатся в бетонной смеси, а также дополнительно поступают в защитный слой бетона вследствие капиллярного транспорта морской воды и ионной диффузии. Кислотные электролиты нейтрализуют нормальное щелочное состояние бетона (pH выше 12,6), разрушают пассивную оксидную пленку на поверхности стали с образованием множества анодных и катодных участков.

При депассивации, когда хлоридные ионы проникают и накапливаются на поверхности арматуры, защитный слой разрушается с формированием электрохимических ячеек (рис. 1).

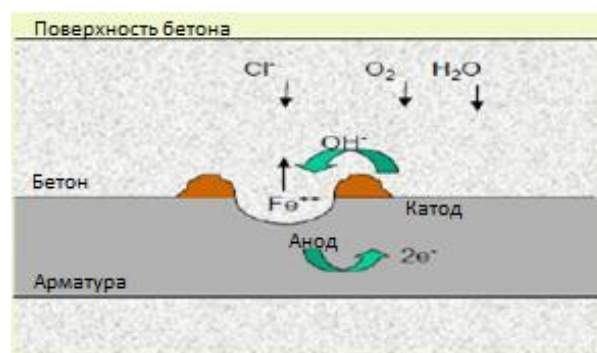


Рис. 1. Электрохимическая ячейка на поверхности арматуры [2].

Хлорид-индуцированная коррозия на поверхности стали включает в себя следующую реакцию:



Пассивированная область становится анодом, а пассивированная поверхность – катодом. В анодной ячейке реакция описывается:



Реакция на катоде протекает следующим образом:



В процессе коррозии образуются два основных продукта ржавчины $\text{Fe}(\text{OH})_2$ и $\text{Fe}(\text{OH})_3$. Эти продукты вызывают значительное расширение (продукты коррозии гидроксида железа могут занимать в 6 раз больше объема, чем сталь), что в конечном счете ведет к растрескиванию, расслаиванию и отслаиванию защитного слоя бетона. Процесс отказа может быть дополнительно ускорен наличием внешней нагрузки.

Хлорид-индуцированная коррозия в основном зависит от трех факторов: коэффициента диффузии, концентрации хлоридов и критического уровня хлорида за пределами коррозии арма-

туры. Исследования [1–10] показывают, что срок службы бетонной конструкции при воздействии хлоридной коррозии более чувствителен к глубине защитного слоя, чем коэффициент диффузии, и более чувствителен к концентрации хлорида, чем критический уровень хлоридов.

Процесс коррозии замедляется и может в конечном итоге прекратиться, когда ограничивается вода или кислород. Очень высокая влажность в бетоне может уменьшить диффузию кислорода до области коррозии и замедлить коррозию арматуры, в то же время нехватка воды в сухом бетоне также снижает коррозионную активность. Важность ионов хлорида в коррозии стали в бетоне имеет понятие уровня хлоридного порога. Это можно определить как уровень хлорирования на глубине стали, что приводит к значительной скорости коррозии.

Было проведено множество исследований для определения порога (или критического значения) концентрации хлорида, ниже которого не происходит активной коррозии. Следует определить предел хлоридной агрессии, длительность инкубации между началом воздействий хлоридов и началом активной коррозии. Пороговое значение хлоридов зависит от множества параметров: бетонной смеси, типа и удельной площади поверхности цемента, В/Ц, содержания сульфатов, срока отверждения, степени карбонизации, температуры и относительной влажности окружающей среды, шероховатости арматуры.

Цемент в бетоне способен связывать хлориды. Также карбонизация подталкивает хлоридный фронт вперед, выделяя хлориды, которые были связаны в негазированном бетоне (градиент свободных хлоридов) [15]. Объем свободных хлоридов трудно измерить, поскольку поток хлоридов идет в обоих направлениях [14]. В хлоридных средах проблема карбонизации считается менее важной, чем проникновение хлорида, поэтому влияние хлоридов на нее мало изучено [8]. Повреждение конструкций, вызванное коррозией, происходит в течение длительного времени (рис. 2).

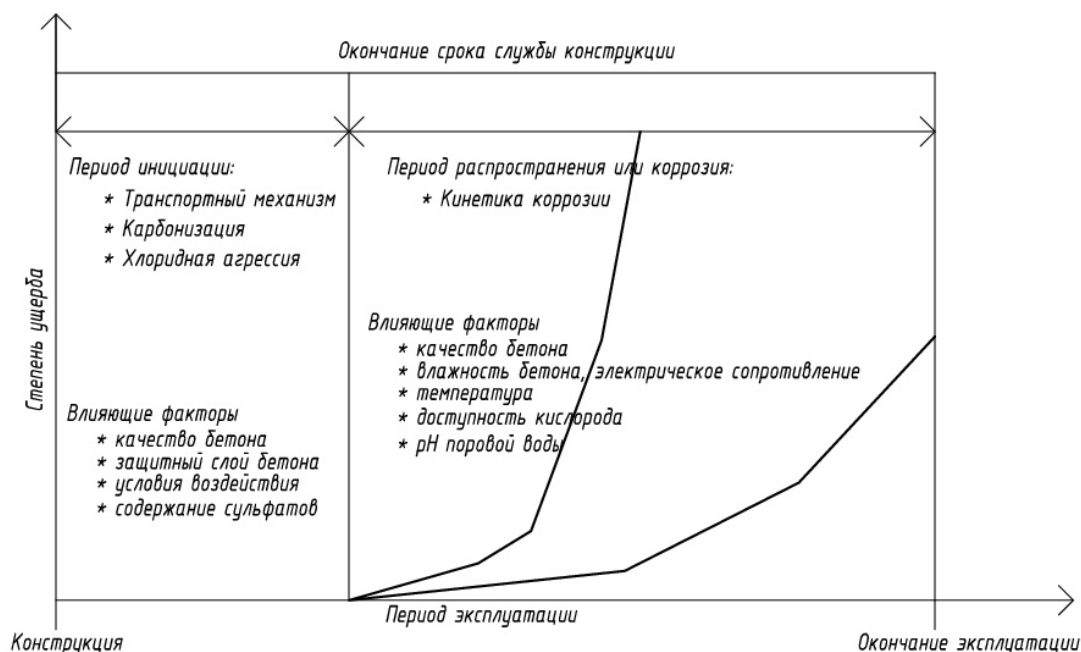


Рис. 2. Временная шкала коррозионного повреждения [8].

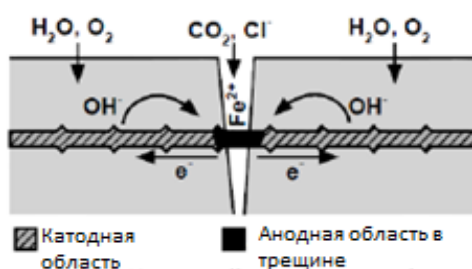


Рис. 3. Усталостная коррозия на трещине [12].

Скорость коррозии зависит от многих факторов: влажность и объем кислорода, проницаемость и удельное сопротивление бетона, градиенты в концентрации ионов хлорида, pH бетонной пористой воды, карбонизации, растрескивания и рассеянного тока и т.д. (рис. 3).

Модель деградации бетона

Автором выбрана модель коррозионной деградации DuraCrete [9], которая основана на концепции переноса хлорида путем диффузии и инициирования арматурной коррозии при превышении содержания активного хлорида на поверхности стали [10]. После того как критическое, «пороговое», содержание хлорида достигло стали и разрушило ее пассивную оболочку, сталь начинает растворяться. Ионы растворенного железа реагируют с образованием продуктов коррозии, в какой-то момент времени увеличивая растягивающие напряжения, и вызывают растрескивание бетонного покрытия.

Потеря сечения арматуры может стать критической в отношении долговечности конструкции. В двухступенчатой концепции инициирования период инициации считается доминирующим, а периодом распространения пренебрегают. Модель DuraCrete включает в себя формулировку предельного состояния для инициирования коррозии, вызванной хлоридом, которая упрощается путем указания того, что отказ (т.е. инициирование коррозии) происходит при

$$C > C_{crit}, \quad (8)$$

где C – содержание хлорида на поверхности армирования, C_{crit} – критическое содержание.

Критическое содержание хлорида является сложной функцией конкретных свойств, в частности pH, вода, кислород, наличие пустот, поэтому в настоящее время нет устоявшегося предельного значения концентрации хлорида, а есть, скорее, постепенное увеличение вероятности коррозии с увеличением содержания хлорида. Для эксплуатируемых конструкций (в отличие от лабораторных образцов) значение 0,4% хлоридного иона по массе цемента считается лучшим средним значением.

Согласно модели DuraCrete для переноса хлорида, содержание хлорида в стали $C(x, t)$ является зависимой от времени функцией, описываемой

$$C_x = C_{sn} \left[1 - \operatorname{erf} \frac{x}{2\sqrt{D_a(t)t}} \right], \quad (9)$$

где C_x – содержание хлоридов на некоторой глубине, в % от массы цемента; C_{sn} – поверхностное содержание хлоридов, в % от массы цемента; x – глубина проникновения хлоридов, м; t – время воздействия, с; $D_a(t)$ – коэффициент диффузии хлоридов, $\text{м}^2/\text{с}$.

Модель DuraCrete обычно применяется на этапе проектирования, но нами она использована для этапа эксплуатации. Одним из входных параметров является измеренное значение коэффициента диффузии 28-суточного бетона. Но ее невозможно измерить для бетона, которому, например, 20 лет. В то же время содержание хлоридов на поверхности, глубина защитного слоя и их статистическое распределение могут быть установлены экспериментально.

R.V. Polder [12] предложил путем сопоставления полевых результатов с вычисленными по модели DuraCrete (9) два отклонения от модели, одно из которых – коэффициент окружающей среды. Первоначальный расчет включает в себя тип цемента, окружающую среду и продолжительность периода отверждения. В последующем исследовании DuraCrete и использовании своей базы данных C. Gehlen предложил коэффициент окружающей среды для бетона в морской среде, основанный только на температуре [11]. Его вывод основывается на том, что в зонах прилива и всплеска влияние длительности активного периода отверждения относительно невелико, поскольку бетон остается влажным из-за воздействия окружающей среды. Признавая, что надлежащим отверждением после литья бетона не следует пренебрегать, принята формулировка Gehlen коэффициента окружающей среды, рассчитанная как

$$K_C = \exp \left[b_e \left(\frac{1}{T_{ref}} - \frac{1}{T_e} \right) \right], \quad (10)$$

где b_e – параметр регрессии; T_{ref} – эталонная температура; T_e – среднегодовая температура воздуха.

Второе отклонение касается временной зависимости коэффициента диффузии. Было предложено отклонение относительно значения показателя старения. Для цементного бетона DuraCrete дает значения в пределах от 0,6 до 0,8. Скорее всего, эти относительно высокие значения основаны на данных, полученных из связующих веществ, состоящих из портландцемента и шлака, которые добавлялись отдельно во время бетонирования. С. Gehlen предложил для прибрежных конструкций использовать значение 0,45 [11]. Принимая во внимание измененный коэффициент окружающей среды и показатель старения, R.V. Polder [12] назвал свою модель DuMaCon, которая является частной версией модели DuraCrete.

Основные результаты

Верификация модели выполнена автором путем измерений на причалах о. Сахалина (рис. 4). Коллективом кафедры ГТЗиС ИШ ДВФУ, в который входил автор, была обследована железобетонная конструкция на сульфатостойком портландцементе с В/Ц=0,4 и расходом цемента 450 кг/м³. Толщина защитного слоя 50 мм. По модели DuMaCon выполнен вероятностный расчет содержания хлорида на определенной глубине, в % от массы бетона, на срок службы 40 лет (табл. 2).



Рис. 4. Порт Холмск [7].







Таблица 2

Результаты вероятностного расчета в зоне переменного уровня воды

Период эксплуатации	X, мм	Cl, %
40 лет	10	0,293
	20	0,22
	30	0,165
	40	0,120
	50	0,079

Результаты вероятностного расчета сравнивались с экспериментальными данными (табл. 3).

Результаты обследования прибрежных конструкций о. Сахалин
(портландцемент, класс XS3; автор снимков Е.Е. Шальт)

Конструкция	Место расположения	Год возведения	С1, %	Глубина, мм	
Стена причала	Холмск	1980	0,149	1-10	
			0,085	10-30	
			0,082	30-50	
Стена причала	Корсаков	1981	0,162	1-10	
			0,094	10-30	
			0,080	30-50	
Пешеходная эстакада (колонна)	Холмск	1983	0,20	1-10	
			0,115	10-30	
			0,069	30-50	
Пешеходная эстакада (плита)	Холмск	1983	0,253	1-10	
			0,241	10-30	
			0,089	30-50	
Надстройка пирса	Холмск	1980	0,31	1-10	
			0,254	10-30	
			0,012	30-50	
Надстройка пирса	Корсаков	1981	0,42	1-10	
			0,26	10-30	
			0,0125	30-50	

Для расчета скорости карбонизации P. Schiessel [13] предложил следующее уравнение:

$$K = \sqrt{\frac{2D_b \cdot C_{s,atm}}{m_c \cdot C_{CO_2}/100}}, \quad (11)$$

где D_b – константа конкретной диффузии, m^2/c ; $C_{s,atm}$ – концентрация CO_2 в атмосфере, %; m_c – содержание цемента, кг; C_{CO_2} – представляет собой концентрацию CO_2 для переноса всех продуктов в карбонаты, mg/m^3 .

Эта модель была изменена С. Gehlen [11] и использует первый закон Фика:

$$x_c = \sqrt{2 \cdot k_{RH} \cdot k_c \cdot (k_t \cdot R_{ACC,0}^{-1} + \varepsilon_t) \cdot C_s \cdot \sqrt{t_{SL}} \cdot \left(\frac{t_0}{t_{SL}}\right)^{\frac{(p_{SR} T_{0W})^{b_w}}{2}}}, \quad (12)$$

где x_c – глубина карбонизации, м; t_{SL} – срок службы конструкции, год; k_{sis} – коэффициент упрочнения; ε_t – погрешность, вызванная ускоренной процедурой карбонизации.

Параметры модели приведены в табл. 4, расчетная глубина карбонизации – в табл. 5.

Таблица 4

Основные параметры модели

Параметры	Ед. изм.	Значения		
		Северо-восток	Восток	Юго-восток
$RH_{real}(k_c)$	%	$\mu=84$ $\sigma=4,6$ $a_r=77$ $b_r=100$	$\mu=79$ $\sigma=3,9$ $a_r=75$ $b_r=100$	$\mu=81$ $\sigma=5,2$ $a_r=74$ $b_r=100$
$RH_{ref}(k_c)$	%	65/(-)		
g_e	–	2,5		
f_e	–	5,0		
t_c	день	1		
b_c	–	$\mu= -0,567 / \sigma= 0,024$		
k_t	–	$\mu= 1,25 / \sigma= 0,35$		
$R_{ACC,0}^{-1}$	($mm^2/год$)/ (kg/m^3)	$\mu=1552$		
ε_t	($mm^2/год$)/ (kg/m^3)	$\mu=315,5 / \sigma= 48$		
C_s	kg/m^3	$\mu= 8,15 \times 10^{-4} / \sigma= 1 \times 10^{-4}$		
b_w		$\mu=0,446 / \sigma=0,163$		
T_{0W}	–	0,464	0,408	0,275
$p_{SR}(W)$	–	0,240	0,359	0,239
$t_0(W)$	год	0,0767 (equal 28 days)		
a	мм	50		
Δa	мм	$\mu=+5 / \sigma= 5$		
t_p	год	1-100		

Расчетная глубина карбонизации

Время эксплуатации	x_{cIU_k}	
	x_{c_2} , мм	u_{k_2} , мм/ГОД
Северо-восток		
10	10,54	1,0540
25	16,67	0,6668
30	18,26	0,6087
50	23,57	0,4714
100	33,33	0,3333
Восток		
10	12,970	1,297
25	20,500	0,820
30	22,460	0,749
50	28,996	0,580
100	41,010	0,410
Юго-восток		
10	11,880	1,188
25	18,780	0,751
30	20,580	0,686
50	26,560	0,531
100	37,570	0,376

На рисунках 5 и 6 показаны диаграммы изменения глубины карбонизации во времени.

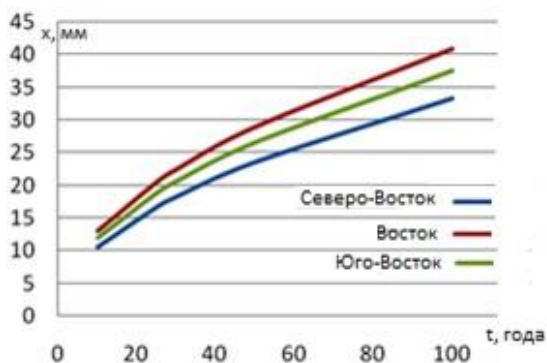


Рис. 5. Зависимость глубины и времени карбонизации. Рис. Е.Е. Шалого

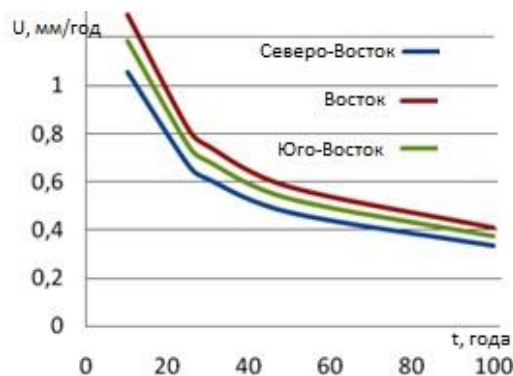


Рис. 6. Зависимость скорости и времени карбонизации. Рис. Е.Е. Шалого

Обсуждение результатов

Задача карбонизации нами решена с целью прогнозирования времени насыщения бетонных структур углекислым газом. Разработка модели прогнозирования для карбонизации имеет важное значение для анализа долговечности и оценки срока службы бетонных конструкций.

Используя данные, полученные в ходе вероятностного моделирования процесса деградации, можно с определенной вероятностью рассчитать срок службы бетона причальных конструкций и оценить возможность их эксплуатации без дополнительных защитных мероприятий.

Заключение

Итак, автором выполнен анализ механизма коррозионного разрушения шельфовых конструкций, сформулировано предельное состояние для химической реакции хлорида в защитном слое бетона шельфовых конструкций. Проведена верификация расчетных моделей бетона защитного слоя портовых сооружений о. Сахалин. Выполненные полевые измерения проникновения

хлоридов в бетон показали, что при глубине 30–50 мм в зоне переменного уровня концентрация хлоридов превышает 0,4% веса цемента (порог коррозии) при возрасте конструкции порядка 30 лет. Но при глубине 60 мм (нормативная толщина) срок службы бетона увеличивается до 50 лет.

Обследование в портах городов Холмск и Корсаков подтвердило, что локально, в определенных случаях, достигается максимальная концентрация хлоридов и возникает коррозия арматуры. Срок службы обследуемых сооружений не достигал проектного, но концентрация ионов хлорида в бетоне в зоне усиления, подвергнутой коррозионному разрушению, составила 0,3% по отношению к бетонной массе.

Моделирование концентрации ионов хлора в бетоне защитного слоя в зависимости от срока службы и климатических условий (глубина армирования 50 мм) позволило сравнить содержание хлорида (на некоторой глубине при вероятностном расчете) с измеренными данными.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Леонович С.Н. Алгоритм расчета долговечности железобетонных конструкций при хлоридной агрессии // Перспективы развития новых технологий в строительстве и подготовке кадров Республики Беларусь: сб. тр. междунар. науч.-метод. семинара / под ред. Н.П. Блещика, А.А. Борисевича, Т.М. Пецольда. Брест: БрГТУ, 2001. С. 432–435.
2. Леонович С.Н. Вероятностная оценка коррозии арматуры в существующих железобетонных конструкциях при хлоридной агрессии // Перспективы развития новых технологий в строительстве и подготовке кадров Республики Беларусь: сб. тр. междунар. науч.-методич. семинара / под ред. Н.П. Блещик, А.А. Борисевича, Т.М. Пецольда. Брест: БрГТУ, 2001. С. 435–440.
3. Леонович С.Н. Модели периода инициирования коррозии арматуры // Строительные материалы. 2012. № 9. С. 74–75.
4. Розенталь Н.К. Коррозионная стойкость цементных бетонов низкой и особо низкой проницаемости. М.: Центр проектной продукции в строительстве, 2006. 520 с.
5. Розенталь Н.К. О максимально допустимом содержании хлоридов в бетоне // Строительные материалы. 2017. № 1–2. С. 82–84.
6. Розенталь Н.К. Способ оценки коррозионного состояния стальной арматуры в железобетонных конструкциях // Изучение стойкости железобетона в агрессивных средах / под. ред. В.М. Москвина, Ю.М. Савиной. М.: Стройиздат, 1980. С. 72–80.
7. Технический отчет по инженерно-экологическим изысканиям в Холмском морском торговом порту / ПриМорПроектБюро. Владивосток, 2015.
8. Bazant Z. Physical model for steel corrosion in concrete sea structures, part 1-theory, part 2-application. J. Struct. Div. Am. Soc. Civ. Eng., 1979(105);ST6:1137-1166.
9. DuraCrete. Models for Environmental Actions on Concrete Structures. Document BE95-1347/R3. Contract BRPR-CT95-0132, Project BE95-1347. Gouda, 1999.
10. DuraCrete R17, 2000, DuraCrete Final Technical Report, Document BE95-1347/R17, May 2000, The European Union – Brite EuRam III, DuraCrete – Probabilistic Performance based Durability Design of Concrete Structures, includes General Guidelines for Durability Design and Redesign, Document BE95-1347/R15, 2000.
11. Gehlen C. Probabilistische Lebensdauerbemessung von Stahlbetonbauwerken, Deutscher Ausschuss für Stahlbeton 510, Berlin, 2000.
12. Polder R.B., Visser J. Redistribution of chloride in blended cement concrete during storage in various climates, 3rd RILEM Workshop Testing and Modelling Chloride Ingress into Concrete, Eds. C. Audrade, J. Kropp, PRO 38, RILEM SARL publ., 2004.
13. Schiess P. Corrosion of Steel in Concrete. Report of the TC60-CSC RILEM. Chapman and Hall. London, 1988, 154 p.
14. Vesikari E. Carbonation and Chloride Penetration in Concrete with Special Objective of Service Life Modelling by the Factor Approach Research report VTT-R-04771-09, 2009.
15. Yoon I.-S., Deterioration of Concrete due to Combined reaction of Carbonation and Chloride Penetration: Experimental Study Key Engineering Materials. 2007(348–349): 729–732.

THIS ARTICLE IN ENGLISH SEE NEXT PAGE

DOI.org/10.5281/zenodo.1196709

Shalyi E.

EVGENII SHALYI, Postgraduate, School of Engineering, e-mail: john_shamali@mail.ru
Far Eastern Federal University
8 Sukhanova St., Vladivostok, Russia, 690091

The degradation processes of structures in Sakhalin Island

Abstract: In Russia, the development of the Arctic and Far East shelf zones has received much attention in recent years. This is primarily due to the State's interest in hydrocarbon extraction and the development of the Northern Sea Route. However, the port infrastructure of those regions remains in extremely poor condition. In most of the Russian Far East ports, berthing facilities are out-dated and worn-out, so, to meet the challenge of the shelf development, consideration must primarily be given to the renovation and repair of the hydro-technical installations of the existing ports and port terminals. After that, one needs to commit to their modernisation, expansion and the construction of new ones. A fundamental prerequisite for ensuring high quality and durability of such facilities is the consideration of the natural-climatic features of the construction site both at the design stage and during the construction works or capital repairs. That is why the civil engineer needs to be made aware of the peculiarities of the area under construction. The Far East shelf zone is the one where the largest continent of the planet borders on the largest ocean. The climate is characterised by the monsoon circulation of air masses. The region is affected by an average one hundred cyclones a year. Some of them cause enduring cloudy weather with heavy precipitation falling as rain or snow. No wonder an intensive corrosion of the materials of hydraulic structures is observed in that area. The author has undertaken studies of the chloride destruction of the offshore hydraulic structures (hereinafter referred as HS) of the Sakhalin ports. To determine the peculiarities of the facilities when planning the inspection survey, there were examined the project, performing and operational documentations. There have been identified the basic causes of the corrosion attack on the Sakhalin HS, carried out the computation of the infiltration of chlorides and CO₂ into the concrete of the protective layer of the HS in the area of variable water level, and made comparison between the probability calculations of the chloride and CO₂ content at certain depth and the data of laboratory researches.

Key words: structure, sea, corrosion, model, durability, chloride aggression, carbonization.

REFERENCES

1. Leonovich S.N. Algorithm for Calculating the Durability of Reinforced Concrete Structures in Chloride Aggression. Prospects for the development of new technologies in the construction and training of personnel in the Republic of Belarus, BrFTU, 2001, P. 432–435.
2. Leonovich S.N. Probabilistic assessment of corrosion of reinforcement in existing reinforced concrete structures in chloride aggression. Prospects for the development of new technologies in the construction and training of personnel in the Republic of Belarus, BrFTU, 2001, P. 435–440.
3. Leonovich S.N. Models of the corrosion initiation period. *Building Materials*. 2012;9:74–75.
4. Rosental N.K. Corrosion resistance of cement concrete of low and particularly low permeability, FGUP CPP. M., 2006. 520 p.
5. Rosental N.K. Maximum allowable content of chlorides in concrete. *Building Materials*. 2017;1-2:82–84.
6. Rosental N.K. The method of assessing the corrosion condition of steel reinforcement in reinforced concrete structures. Study of the resistance of reinforced concrete in corrosive environments. M., Stroisdat, 1980, p. 72–80.
7. Technical report on engineering and environmental surveys at the Kholmsk Commercial Sea Port. PrimorProjectBuro. Vladivostok, 2015.

8. Bazant Z., Physical model for steel corrosion in concrete sea structures, part 1-theory, part 2-application. J. Struct. Div. Am. Soc. Civ. Eng., 1979(105);ST6:1137–1166.
9. DuraCrete. Models for Environmental Actions on Concrete Structures. Document BE95-1347/R3. Contract BRPR-CT95-0132, Project BE95-1347. Gouda, 1999.
10. DuraCrete R17, 2000, DuraCrete Final Technical Report, Document BE95-1347/R17, May 2000, The European Union – Brite EuRam III, DuraCrete – Probabilistic Performance based Durability Design of Concrete Structures, includes General Guidelines for Durability Design and Redesign, Document BE95-1347/R15, 2000.
11. Gehlen C. Probabilistische Lebensdauerbemessung von Stahlbetonbauwerken, Deutscher Ausschuss für Stahlbeton 510, Berlin, 2000.
12. Polder R.B., Visser J. Redistribution of chloride in blended cement concrete during storage in various climates, 3rd RILEM Workshop Testing and Modelling Chloride Ingress into Concrete, Eds. C. Audrade, J. Kropp, PRO 38, RILEM SARL publ., 2004.
13. Schiess P. Corrosion of Steel in Concrete. Report of the TC60-CSC RILEM. Chapman and Hall. London, 1988, 154 p.
14. Vesikari E. Carbonation and Chloride Penetration in Concrete with Special Objective of Service Life Modelling by the Factor Approach Research report VTT-R-04771-09, 2009.
15. Yoon I.-S., Deterioration of Concrete due to Combined reaction of Carbonation and Chloride Penetration: Experimental Study Key Engineering Materials. 2007(348–349): 729–732.