

УДК 691.328.1

ОЦЕНКА ХЛОРИДНОГО РАЗРУШЕНИЯ МОРСКИХ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ ГОРОДА ХОЛМСКА (о. САХАЛИН)

С. Н. Леонович¹, Е. Е. Шалый², Л. В. Ким², Т. Е. Шалая², А. Г. Джоголюк²

¹Белорусский национальный технический университет (г. Минск),

²Дальневосточный федеральный университет (г. Владивосток)

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. 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 тут 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.

Авторами проведены исследования хлоридного разрушения морских гидротехнических сооружений (далее ГТС) Холмского морского торгового порта. Для выявления особенностей конструкции сооружений и планирования работ по контрольно-инспекторскому обследованию осуществлен анализ проектной, исполнительной и эксплуатационной документации. Определены основные причины коррозионного разрушения ГТС Холмского порта. Выполнен вероятностный расчет проникновения хлоридов в бетон защитного слоя ГТС в зоне переменного уровня воды. Выполнено сравнение вероятностного расчета содержания хлоридов на некоторой глубине с данными лабораторных исследований.

Ключевые слова: морские гидротехнические сооружения; хлоридная агрессия; верификация модели.

Введение. Бетон и железобетон в настоящее время являются одним из основных строительных материалов в гидротехническом строительстве. Из них создаются гравитационные и свайные причальные, оградительные и шельфовые сооружения.

Известно, что в зависимости от вида цемента, заполнителей и технологических

особенностей бетонам присущи различные физико-механические свойства, которые необходимо учитывать, чтобы обеспечить соответствие бетона заданным инженерным требованиям как по прочности, так и по долговечности. Данная проблема особенно ярко предстает при проектировании морских гидротехнических сооружений, рабо-

тающих в суровых климатических условиях побережья Дальнего Востока России. Это связано с тем, что в регионе наблюдается концентрация большинства из наиболее неблагоприятных климатических факторов на

планете. Прежде всего, это очень низкие температуры воздуха и воды, мощные морские течения, повышенная солнечная радиация, а также агрессивное воздействие морской воды (табл. 1).

Таблица 1

Воздействие морской воды на бетон и железобетон

№ п.п.	Вид воздействия	Определяющие факторы воздействия
1	Химическое	1) воздействие веществ, растворенных в морской воде, непосредственно на строительные материалы (металл) или соединения, входящие в состав этих материалов (бетон); 2) всевозможные химические грузы, которые попадают в воду
2	Физическое	1) давление воды на стенки пор и капилляров материала химических новообразований, кристаллов солей, выпавших из раствора при испарении; 2) напряжения, возникающие при временном увлажнении и высыхании бетона
3	Механическое	1) гидростатическое или гидродинамическое давление воды при воздействии на сооружение разности напоров стоячих, разбитых или прибойных волн; 2) нагрузки при воздействии льда на сооружение

Целью работы является верификация расчетной модели, приемлемой для решения вероятностной задачи определения концентрации хлора в защитном слое бетона ГТС и применимой для суровых условий Дальнего Востока России.

Оценка коррозионного воздействия морской воды на ГТС г. Холмска. Побережье острова Сахалин в районе месторасположения морского порта г. Холмска в силу отсутствия закрытых бухт повсеместно подвержено воздействию приливно-отливных явлений и штормового волнения.

В районе морского порта г. Холмска присутствуют все виды морских течений, из которых наибольшее влияние оказывают постоянные, периодические и дрейфовые течения.

Однако, несмотря на суровые климатические условия, причиной многочисленных повреждений железобетона сооружений и их элементов является химическое воздействие морской воды, которая представляет собой полностью ионизированный слабый раствор химических элементов.

Эколого-геохимическая оценка морских вод осуществлялась по результатам единовременного отбора точечных проб из вод акватории морского порта г. Холмска, в районе причалов. По величине рН вода акватории

Южной гавани слабощелочная, значение водородного показателя составляет 8,2 во всех исследуемых пробах. Прозрачность воды более 30 см (по шрифту Снеллена). Содержание растворенного кислорода колеблется от 7,7 до 8,8 мг/л, количество взвешенных веществ – от 108 мг/л до 246 мг/л. В таблице 2 представлены основные соли, содержащиеся в пробах.

Таблица 2

Содержание основных солей в водах акватории морского порта Холмск

№ п.п.	Вид соли	Химическая формула	Количество, %
1	Хлористый натрий	NaCl	77,6
2	Хлористый магний	MgCl ₂	11,1
3	Сернокислый магний	MgSO ₄	4,7
4	Сернокислый кальций	CaSO ₄	3,6
5	Сернокислый калий	K ₂ SO ₄	2,5
6	Углекислый калий	K ₂ CO ₃	0,3
7	Бромистый магний и др.	MgBr ₂ и др.	0,2

Как видно из таблицы 2, определяющую роль здесь играет содержание в первую очередь свободных хлор-ионов Cl⁻ и сульфатных SO₄²⁻.

Механизм хлоридной коррозии гидротехнических сооружений. Практика строительства и эксплуатации морских гидротехнических сооружений показывает, что железобетон обладает меньшей стойкостью, чем

бетон в морской среде, так как в этом случае действует коррозия арматуры.

Экспериментальные и теоретические исследования по коррозии железобетона [1-4] показали, что важными параметрами влияния агрессивной среды на железобетонные конструкции являются: а) скорость проникновения агрессивной среды в тело бетона; б) глубина нейтрализации бетона агрессивным веществом, которое изменяет физико-механические свойства бетона и характеризует его защитные функции по отношению к арматуре; в) глубина разрушения бетона, через которую выражается уменьшение поперечного сечения конструкции при повреждениях бетона агрессивной средой.

Согласно СП 28.13330.2012 «Защита строительных конструкций от коррозии», для бетонных сооружений при высокой плотности бетона и изготовлении его на сульфатостойком цементе, для части сооружения, находящейся под водой, морскую воду можно считать неагрессивной. В то же время в зоне периодического смачивания (охватывает зоны переменного горизонта жидкой среды и капиллярного подсоса) морская вода считается сильноагрессивной средой. Отсюда следует, что к бетону и железобетону в конструкциях, располагаемых в разных частях (зонах) сооружения, могут предъявляться различные требования с точки зрения их плотности, прочности и долговечности.

Толщина защитного слоя бетона для несущей конструкции причала должна быть 50 мм, для остальных слоев – 30 мм (см.: СП 28.13330.2012 «Защита строительных конструкций от коррозии», табл. Г1). При большей ширине в бетон могут проникать частицы различных газов и солей, что впоследствии и приведет к коррозии арматуры. При такой ширине трещин в разные годы разными авторами устанавливались свои критические концентрации хлоридов в бетоне (в % по массе бетона), которые колеблются от 0,1 % (Moser K., Edwardsen C.) до 2,0 % (Schissl P.). В приарматурной зоне эти значения варьируются от 0,025 до 0,05 % (Cady P.D.).

По СП 28.13330.2012 пороговое значение концентрации принимается на уровне 0,1 %.

При исследовании процессов коррозии бетона принято считать, что долговечность железобетонных конструкций определяется промежутком времени от формирования фронта химического превращения в защитном слое бетона до достижения им рабочей арматуры. Длительность безопасной эксплуатации железобетонных конструкций в агрессивных средах определяется продолжительностью продвижения фронта химического превращения в защитном слое бетона.

Таким образом, наличие в морской воде NaCl особенно опасно для гидротехнических сооружений, так как соль диссоциирует на кислотный остаток и ион металла:



Положительно заряженные ионы (катионы) перемещаются к катоду, отрицательно заряженные ионы (анионы) – к аноду. Следствием этого является изменение материала, осаждение или разложение металлов (электрохимическое разрушение).

Верификация модели хлоридной агрессии. Для подробного анализа хлоридной коррозии был выполнен вероятностный расчет концентрации хлоридов в бетоне защитного слоя на период эксплуатации 30 лет на основе модели DuraCrete.

Принципиально модель представлена в виде

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

где C_x – содержание хлоридов на некоторой глубине, % по массе цемента; C_{sn} – поверхностное содержание хлоридов, % по массе цемента; x – глубина проникновения хлоридов, м; t – время воздействия, с; $D_a(t)$ – коэффициент диффузии хлоридов, $\text{м}^2/\text{с}$, определяемый по формуле [3]:

$$D_a(t) = D_a(t_0) \left(\frac{t_0}{t} \right)^n = k_c k_e k_t D_0 \left(\frac{t_0}{t} \right)^n, \quad (3)$$

где k_c – постоянный коэффициент, учитывающий влияние изготовления; k_e – постоянный коэффициент, учитывающий влияние окружающей среды; k_t – постоянный коэффициент, учитывающий влияние метода испытаний; D_0 – коэффициент диффузии хлоридов, определенный при стандартных условиях, m^2/c ; 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 в порту г. Холмска, была принята железобетонная конструкция на сульфатостойком портландцементе с В/Ц 0,37 и расходом 450 кг/м^3 ; толщина защитного слоя бетона 50 мм. По предложенной Еврокодами методике выполнен вероятностный расчет содержания хлоридов на некоторой глубине в процентах от массы бетона на период эксплуатации 30 лет. Значения параметров модели представлены в таблице 3.

Таблица 3

Экспериментально рассчитанные значения m и K_G для образцов цементного камня на портландцементе разных марок

№ п.п.	Параметр	m , кг жидкости/кг бетона
1	C_{sn}	0,37
2	x	0,05
3	D_0	$1,08 \cdot 10^{-12}$
4	t	1576800000
5	k_c	1,325
6	k_e	1
7	k_t	0,25
8	t_0	2419200

Подставив значения из таблицы 3 в формулу (1), получим содержание хлоридов на некоторой глубине. Результаты вероятностного расчета представлены в таблице 4.

Таблица 4

Результаты вероятностного моделирования

Конструкция исследования	Период эксплуатации	X , мм	Cl, %
Гидротехническое сооружение в зоне переменного уровня воды	30 лет	10	0,293
		20	0,22
		30	0,165
		40	0,120
		50	0,079

Опираясь на данные таблицы 4, можно сделать вывод о том, что в зоне переменного уровня воды превышен порог концентрации хлоридов. Это должно приводить к коррозии рабочей арматуры, а впоследствии и к потере несущей способности всего сооружения в целом.

Хлоридная коррозия гидротехнических сооружений морского торгового порта Холмск. Чтобы подтвердить данные вероятностного моделирования, авторами данной статьи в сентябре 2016 года было проведено натурное обследование причальных комплексов Холмского морского торгового порта и отобраны образцы защитного слоя бетона для испытаний на наличие хлоридной коррозии.

Для определения особенностей конструкции сооружений и планирования работ по обследованию проведен анализ проектной, исполнительной и эксплуатационной документации. По имеющимся данным о конструкции причалов был сделан вывод о том, что обследуемые гидротехнические сооружения строились либо реконструировались в период с 1981 по 1985 год. Таким образом, срок их эксплуатации составляет более 30 лет. Первое после окончания строительства обследование некоторых причалов – в 2010 году.

За период эксплуатации в тяжелых климатических условиях дефекты конструкций сооружения, выявленные при обследовании 2010 года, получили дальнейшее развитие. Кроме того, появились новые дефекты, о чем свидетельствуют результаты обследования, выполненного авторами (см. табл. 5). При обследовании определялись прочность бетона сооружений, толщина защитного слоя бетона, ширина раскрытия трещин, показатель pH и концентрация хлоридов в защитном слое бетона.

Основные гидротехнические сооружения представляют собой оторочки эстакадной конструкции. Опорами служат предварительно напряженные колонны-оболочки диаметром 1600 мм, толщиной стенок 150 мм и длиной 8 м, установленные с продольным шагом 6 м в отдельных бетонных фундаментах. Конструк-

ция верхнего строения сборная, железобетонная, состоящая из железобетонных балок таврового сечения, установленных с шагом 3 м. Полки этих балок образуют лицевую сторону причалов и имеют выступ для опирания отбойных устройств. Головная часть состоит из монолитного железобетона и имеет в плане закругленную форму. Помимо этого на территории порта имеется подъемно-переходной мост, который в период штормов частично находится под водой. Подъемно-переходной мост состоит из двух пролетных строений – берегового длиной 27 м и морского длиной 33 м, шарнирно опертых на подъемную опору.

Основным элементом надстройки являются железобетонные балки таврового сечения. Состояние балок в целом удовлетворительное. Они имеют дефекты в виде сколов с об-

нажением арматуры в основном в верхней части стыка бортовых балок и в местах опирания отбойных устройств. На отдельных пролетах монолитного пояса тавровых балок наблюдается интенсивная коррозия бетона защитного слоя. 90 % поверхности монолитного пояса имеет разрушения до обнажения крупного заполнителя, а местами и до обнажения арматуры. Поверхность балок покрыта сетью продольных и поперечных трещин. Трещины раскрытием до 25 мм. Наибольшее раскрытие трещин и разрушение несущих конструкций гидротехнических сооружений наблюдалось в зоне переменного горизонта воды в районе подъемно-переходного моста (до 50 мм). Результаты обследования прочностных характеристик, а также лабораторных испытаний представлены в таблице 5.

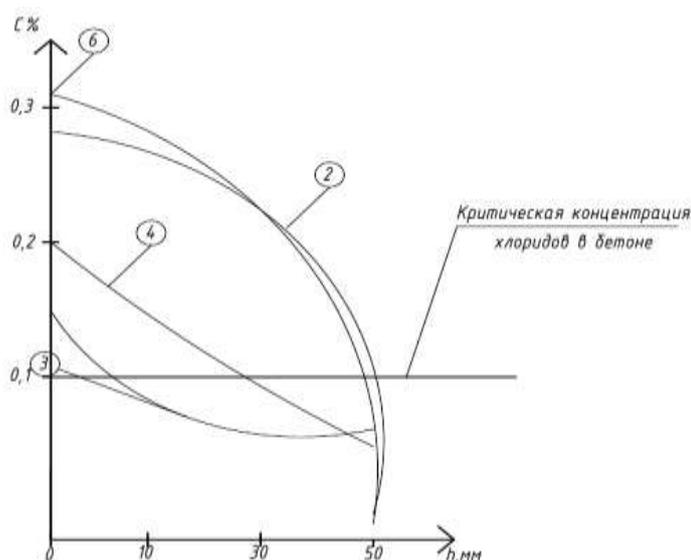
Таблица 5

Результаты вероятностного моделирования

№ п.п	Место отбора пробы	pH	Пористость бетона	Cl, %	Глубина отбора	R_m , МПа	Фото объектов исследования
1	Пролет пешеходного моста	10,6	1,1	-	-	31,7	
2	Колонна пешеходного моста	11,2	-	0,20	1-10	39,0	
				0,115	10-30		
				0,069	30-50		
3	Тело причала	11,5	2,8	0,149	1-10	40,2	
				0,085	10-30		
				0,082	30-50		
4	Пролет пешеходного моста	11,7	2,2	0,253	1-10	31,7	
				0,241	10-30		
				0,089	30-50		

Окончание табл. 5

№ п.п	Место отбора пробы	pH	Пористость бетона	Cl, %	Глубина отбора	R_m , МПа	Фото объектов исследования
5	Колесоотбойный брус	11,7	4,3	-	-	33,8	
6	Балка железобетонной надстройки	10,6	3,98	0,31	1-10	37,8	
				0,254	10-30		
				0,012	30-50		



Хлоридные профили отобранных образцов защитного слоя бетона ГТС:

2 – проба из колонны пешеходного моста; 3 – проба из тела причала (советский бетон);
4 – проба из тела причала (японский бетон); 6 – проба из балки надстройки

По результатам обследования (см. рисунок) можно сделать вывод о том, что у всех исследованных конструкций превышен порог концентрации хлоридов в приарматурной зоне. Наибольшие потери прочности обнаружены в бетоне колесоотбойного бруса и пешеходного моста. Потеря прочности в колесоотбойном брус вызвана сколами защитного слоя бетона с оголением и последующей коррозией арматуры. Потеря прочности в бетоне защитного слоя пешеходного моста произошла вследствие отслоения гидроизоляции

с последующей коррозией бетона в результате воздействия на сооружение углекислого газа воздуха, хлоридов и сульфатов от брызг морской воды.

Сравнение результатов натурного исследования и вероятностного расчета приведены в таблице 6.

Согласно данным таблицы 6, результаты вероятностного подхода и натурных исследований гидротехнических сооружений на период эксплуатации 30 лет показывают достаточно хорошую сходимость.

Результаты вероятностного моделирования

Конструкция исследования	Период эксплуатации	X_i , мм	Вероятностная модель	Лабораторные испытания
			Cl, %	Cl, %
Гидротехническое сооружение в зоне переменного уровня воды	30 лет	10	0,293	0,253
		20	0,22	0,241
		30	0,165	-
		40	0,120	-
		50	0,079	0,089

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.

Выводы

1. Сформулировано предельное состояние при хлоридной коррозии бетона защитного слоя гидротехнических сооружений.
2. Выполнена верификация расчетной модели, приемлемой для решения вероятностной задачи определения концентрации хлора в защитном слое бетона гидротехнических сооружений о. Сахалин.
3. Обследованием гидротехнических со-

оружений г. Холмска подтверждено, что локально в отдельных случаях достигается предельная концентрация хлоридов и происходит коррозия арматуры. Срок службы обследованных балок пролетных строений не достиг проектного срока службы 100 лет, но концентрация ионов хлора в бетоне в зоне арматуры, подверженной коррозионному разрушению, составила до 0,3 % по отношению к массе бетона.

4. Выполнено моделирование концентрации ионов хлора на минимально допустимой, в соответствии с требованиями норм для гидротехнических сооружений, глубине расположения арматуры (50 мм) в зависимости от срока эксплуатации и климатических условий.

5. Выполнено сравнение вероятностного расчета содержания хлоридов на некоторой глубине с лабораторными 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: сборник трудов VII 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: сборник трудов VII Междунар. науч.-метод. семинара / под ред. Н. П. Блещика, 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. О максимально допустимом содержании хлоридов в бетоне // Строительные материалы. 2017. № 1-2. С. 82-84.
5. Розенталь Н. К. Коррозионная стойкость цементных бетонов низкой и особо низкой проницаемости. М.: Федеральное гос. унитарное предприятие «Центр проектной продукции в строительстве», 2006. 520 с.
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 / «ООО ПриМорПроектБюро». Владивосток, 2015.
8. DuraCrete. Models for Environmental Actions on Concrete Structures // Document BE95-1347/R3. Contract BRPR-CT95-0132, Project BE95-1347. Gouda, 1999.
9. Schiessl P. Corrosion of Steel in Concrete // Report of the TC60-CSC RILEM. London: Chapman and Hall, 1988. 154 p.

Информация об авторах

ЛЕОНОВИЧ Сергей Николаевич – иностранный член РААСН, доктор технических наук, профессор, декан строительного факультета, Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь. E-mail: leonovichsn@tut.by

ШАЛЫЙ Евгений Евгеньевич – аспирант, младший научный сотрудник научно-конструкторской лаборатории проектирования морских инженерных сооружений МНОЦ "Арктика" Инженерной школы Дальневосточного федерального университета, г. Владивосток. E-mail: john_shamali@mail.ru

КИМ Лев Владимирович – кандидат технических наук, доцент, заведующий научно-конструкторской лабораторией проектирования морских инженерных сооружений МНОЦ «Арктика» Инженерной школы Дальневосточного федерального университета, г. Владивосток. E-mail: Kim_lvl@dvfu.ru

ШАЛАЯ Татьяна Евгеньевна – аспирант Дальневосточного федерального университета, г. Владивосток. E-mail: shalayate@gmail.com

ДЖОГОЛЮК Алексей Геннадьевич – аспирант Дальневосточного федерального университета, г. Владивосток. E-mail: xflame@bk.ru

UDC 691.328.1

ESTIMATION OF MARINE HYDROLIC STRUCTURES CHLORIDE DESTRUCTION, KHOLMSK, SAKHALIN

S. N. Leonovich¹, E. E. Shalyi², L. V. Kim², T. E. Shalaya², A. G. Dzhogolyuk²

¹Belarusian National Technical University (Minsk),

²Far Eastern Federal University (Vladivostok)

Abstract. In recent years, the Russian Federation has paid much attention to the Arctic and the Far East shelf zones development. This is primarily aligned with the state's interest in hydrocarbon production and the growth of the Northern Sea Route. However, the port infrastructure of these regions is in an extremely unsatisfactory condition. Most of the Russian Far East ports have a large depreciation of berthing facilities, therefore, for solving offshore development problems first of all necessary to reconstruct and repair the hydraulic structures of existing ports and port terminals, and then modernize them, expand or build new ones. One of the main factors for ensuring the high quality and durability of such facilities is the consideration of the natural and climatic features of the construction site, both at the design stage of the structure and during its erection, reconstruction or capital repairs. Therefore, civil engineer always has to know and take into account specifics of the area where construction site is.

Far East shelf zone situated at the junction of the largest continent and the largest ocean on the planet. The climate is characterized by air masses monsoon circulation. On average, there are about a hundred cyclones per year. Some of them cause a prolonged overcast weather with heavy precipitation in the form of rain and snow. No wonder that there is an intensive corrosion of the hydraulic structures material in this area under consideration of these conditions.

The authors carried out studies of chloride destruction of the offshore hydraulic structures (hereinafter referred as GTS) of the Kholmsk Sea Commercial Port. To determine the features of the facilities design and the inspection survey work planning, was created analysis of the design, executive and maintenance documentation. Main causes of Kholmsk port GTS corrosive destruction were determined. A probabilistic calculation of the chlorides penetration into the concrete of the GTS protective layer in the variable water level zone was performed. A comparison of the probabilistic calculation of the chloride content at some depth with the data of laboratory studies was done.

Keywords: marine hydraulic structures; chloride aggression; model verification.

REFERENCES

1. Leonovich S. N. Algoritm rascheta dolgovechnosti zhelezobetonnykh konstrukcij pri hlорidnoj agressii [Algorithm for Calculating the Durability of Reinforced Concrete Structures in Chloride Aggression], *Perspektivy razvitiya novyh tekhnologij v stroitel'stve i podgotovke kadrov Respubliki Belarus: sbornik trudov VII Mezhdunar. nauch.-metod. seminar* [Prospects for the development of new technologies in the construction and training of personnel in the Republic of Belarus], Brest: BrFTU, 2001, pp. 432-435.
2. Leonovich S. N. Veroyatnostnaya ocenka korrozii armatury v sushchestvuyushchih zhelezobetonnykh konstrukciyakh pri hlорidnoj agressii [Probabilistic assessment of corrosion of reinforcement in existing reinforced concrete structures in chloride aggression], *Perspektivy razvitiya novyh tekhnologij v stroitel'stve i podgotovke kadrov Respubliki Belarus: sbornik trudov VII Mezhdunar. nauch.-metod. seminar* [Prospects for the development of new technologies in the construction and training of personnel in the Republic of Belarus], Brest: BrFTU, 2001, pp. 435-440.
3. Leonovich S. N. Modeli perioda iniciirovaniya korrozii armatury [Models of the corrosion initiation period], *Stroitel'nye materialy* [Building Materials], 2012, No. 9, pp. 74-75.
4. Rosental N. K. O maksimal'no dopustimom sodержanii hlорidov v betone [Maximum allowable content of chlorides in concrete], *Stroitel'nye materialy* [Building materials], 2017, No. 1-2, pp. 82-84.
5. Rosental N. K. Korroziionnaya stojkost' cementnykh betonov nizkoj i osobo nizkoj pronicaemosti [Corrosion resistance of cement concrete of low and particularly low permeability], Moscow: FGUP CPP, 2004, 432 p.
6. Rosental N. K. Sposob ocenki korroziionnogo sostoyaniya stal'noj armatury v zhelezobetonnykh konstrukciyakh [The method of assessing the corrosion condition of steel reinforcement in reinforced concrete structures], *Izuchenie stojkosti zhelezobetona v agressivnykh sredah* [Study of the resistance of reinforced concrete in corrosive environments], Moscow: Stroisdat, 1980, pp. 72-80.
7. Tekhnicheskij otchet po inzhenerno-ehkologicheskim izyskaniyam v Holmskom morskом torgovom portu [Technical Report about Engineering - Environmental Surveys in Kholmsk Sea Commercial Port], "ООО PMPB", Vladivostok, 2015.
8. DuraCrete. Models for Environmental Actions on Concrete Structures, *Document BE95-1347/R3. Contract BRPR-CT95-0132, Project BE95-1347*, Gouda, 1999.
9. Schiessl P. Corrosion of Steel in Concrete, *Report of the TC60-CSC RILEM*, London: Chapman and Hall, 1988, 154 p.

Information about the authors

LEONOVICH Sergey Nikolaevich – foreign member of RAASN, Doctor of Sc., Full Professor, Dean of the Faculty of Civil Engineering, Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus. E-mail: leonovichsn@tut.by

SHALYI Evgeny Evgenyevich – PhD student, junior researcher R&D center "Arctic" School of Engineering Far Eastern Federal University, Vladivostok. E-mail: john_shamali@mail.ru

KIM Lev Vladimirovich – Cand. of Sc., dozent. Head of R&D center "Arctic" School of Engineering Far Eastern Federal University, Vladivostok. E-mail: Kim_lvl@dvfu.ru

SHALAYA Tatyana Evgenyevna – PhD student, School of Engineering Far Eastern Federal University, Vladivostok. E-mail: shalayate@gmail.com

DZHOGOLYUK Alexey Gennadyevich – PhD student, School of Engineering Far Eastern Federal University, Vladivostok. E-mail: xflame@bk.ru

Библиографическая ссылка

Оценка хлоридного разрушения морских гидротехнических сооружений города Холмска (о. Сахалин) / С. Н. Леонович, Е. Е. Шалый, Л. В. Ким, Т. Е. Шалая, А. Г. Джоголюк // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Материалы. Конструкции. Технологии. – 2018. – № 2(6). – С. 7-15.