

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ХЛОРИДНОЙ АГРЕССИИ ПРИ ВОЛНОВЫХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ НА БЕТОННЫЕ ПРИЧАЛЫ

Шалый Е.Е, Леонович С.Н., Ким Л.В, Шалая Т.Е.

**Введение.** Большинство портов Дальнего Востока России имеют большой износ причальных сооружений. Намечены меры по решению проблемы [1], включая реконструкцию паромной переправы Ванино–Холмск в морском порту Ванино Хабаровского края [1].

### **Воздействие среды на гидротехнические сооружения порта Ванино**

Порт Ванино - крупнейший транспортный узел Хабаровского края (рис. 1). Климат района - континентальный с муссонной циркуляцией атмосферы. В зимний период здесь господствуют сухие, холодные воздушные массы. Летом на территорию поступает сравнительно прохладный воздух, поступающий со стороны Охотского и Японского морей. атмосферы, её сезонными изменениями, интенсивностью циклонической деятельности. Годовое количество осадков составляет 849 мм. Основное количество осадков выпадает в тёплый период май-октябрь (73%), что составляет 620 мм [2].



**Рисунок 1 – Общий вид на паромную переправу Ванино–Холмск в морском порту Ванино**

При таком достаточно сложном и тяжелом климате происходит интенсивное коррозионное разрушение гидротехнических сооружений, особенно это заметно в зоне переменного уровня воды. Наиболее опасным фактором для этой зоны является хлоридная агрессия морской воды.

## Компьютерное моделирование волнового воздействия

Для определения наиболее подверженного коррозионному действию морской воды участка пирса применялось моделирование с помощью программного комплекса MIKE Zero. Для моделирования использовались данные по изменению положения уровня воды перед причальным сооружением в период с октября по декабрь. За нулевой уровень принят уровень моря 5% обеспеченности [2].

Результаты моделирования представлены на рис. 2. Наибольшие колебания значений уровня воды при шторме происходят в юго-западной части паромной переправы. Для нее был выполнен вероятностный расчет концентрации хлоридов.

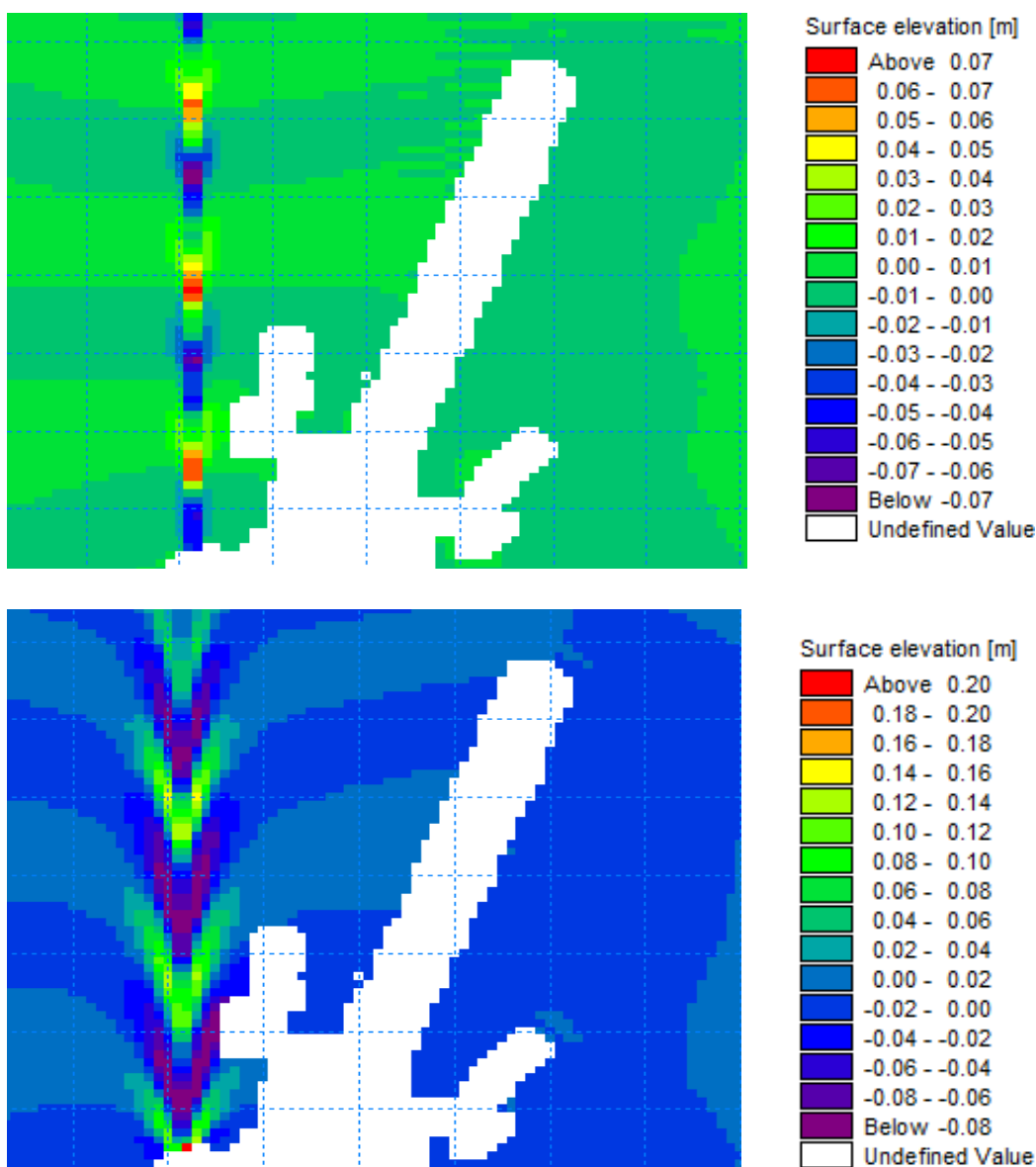


Рисунок 2 – Уровни воды у причала в период начала и период шторма

## Деградация морских железобетонных причальных сооружений в результате воздействия хлоридов морской воды

Для методики прогнозирования срока службы железобетонных конструкций с учетом климатических условий бухты Ванина, позволяющей учитывать влияние внешних воздействий, подходящая модель - это DuraCrete [3]. Ее основное преимущество в сравнении с другими моделями проникновения хлоридов в железобетонную конструкцию состоит в том, что она позволяет произво-

дить расчеты на основании лабораторных измерений свойств материалов, которые описывают транспортные свойства хлоридов, а также непосредственно использовать доступные данные по проникновению хлоридов в железобетонные конструкции, полученные ранее в других исследованиях.

Модель в большой степени построена на наблюдениях проникновения хлоридов в реальные конструкции, что уменьшает потребность в верификации. DuraCrete-модель также позволяет учитывать уменьшающуюся диффузивность бетона с возрастом. Кроме того, DuraCrete-модель математически простая, что позволяет экономить машинное время при расчетах [4, 5].

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, в % по массе цемента;  $C_{sn}$  – поверхностное содержание хлоридов в % по массе цемента;  $x$  – глубина проникновения хлоридов, м;  $t$  – время воздействия, с;  $D_a(t)$  – коэффициент диффузии хлоридов, м<sup>2</sup>/с, определяемый по формуле [3]:

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

где  $k_c$  – постоянный коэффициент, который учитывает влияние изготовления;  $k_e$  – постоянный коэффициент, который учитывает влияние окружающей среды;  $k_t$  – постоянный коэффициент, который учитывает влияние метода испытаний;  $D_0$  – коэффициент диффузии хлоридов, определенный при стандартных условиях, м<sup>2</sup>/с;  $t_0$  – эталонное время, с;  $n$  – фактор возраста.

Как видно из уравнений, модель DuraCrete использует факторы, учитывающие влияние окружающей среды (табл. 1) [2].

Таблица 1 – Параметры климатических факторов окружающей среды о. Сахалин

Район исследования	Параметр	Значение
Бухта Ванина	$k_{c,T}$	2,01
	$k_{D,RH}$	0,87
	$k_{D,T}$	0,596

Для верификации расчетной модели была принята железобетонная конструкция на сульфатостойком портландцементе с В/Ц 0,37 и расходом 450 кг/м<sup>3</sup>; толщина защитного слоя бетона 50 мм. По предложенной методике выполнен вероятностный расчет содержания хлоридов на некоторой глубине, в % от массы цемента на период эксплуатации 30 лет (табл. 2).

Таблица 2 – Содержание хлоридов в защитном слое бетона

Район	Период эксплуатации	X, мм	Вероятностная модель
			C1%
Бухта Ванина	30 лет	10	0.293
		20	0.22
		30	0.158
		40	0.107
		50	0.068

**Вывод.** Отбор проб для коррозионного анализа иногда сложно осуществить. С помощью компьютерного моделирования можно выбрать наиболее изношенные участки. С помощью вероятностных моделей можно достаточно точно рассчитать остаточный срок службы бетона гидротехнических конструкций.

#### **СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. ФЦП «Социально-экономическое развитие Дальнего Востока и Забайкалья на период до 2025 года» / Постановление Правительства РФ.
2. Технический отчет по инженерно-гидрометеорологическим изысканиям / ПриМорПроектБюро, Владивосток, 2015.
3. DuraCrete. Models for Environmental Actions on Concrete Structures // Document BE95-1347/R3. Contract BRPR-CT95-0132, Project BE95-1347. Gouda, 1999.
4. Алексеев, С.Н. Коррозионная стойкость железобетонных конструкций в агрессивной промышленной среде. – М.: Стройиздат, 1976.
5. Леонович, С.Н. Модели периода иницирования коррозии арматуры // Строительные материалы. 2012. № 9. С. 74-75.
6. Розенталь, Н.К. О максимально допустимом содержании хлоридов в бетоне // Строительные материалы. 2017. № 1-2. С. 82-84.