

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПОДПРИЧАЛЬНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ НАДВОДНОЙ ЧАСТИ ПРИЧАЛА № 4 ПОРТА ЮЖНЫЙ

Заволока М.В., Воронов Ю.Н., Заволока Ю.В. (Одесская государственная академия строительства и архитектура)

Проведено исследование по установлению причин интенсивной коррозии бетона и арматуры, приведших к отдельным, локальным разрушениям основных железобетонных конструкций причала № 4 порта Южный после 22 лет эксплуатации.

Для оценки технического состояния подпричальных железобетонных конструкций причала № 4 порта Южный было проведено обследование основных несущих элементов - кордонных коробов, кордонных ригелей и тыловой стенки.

Причал № 4 построен и введен в эксплуатацию в 1980 г. и эксплуатируется до настоящего времени в сложных условиях при одновременном на него воздействии динамических и технологических нагрузок, биологической коррозии и агрессивного воздействия морской воды. Присутствуют все три вида коррозии. Состав морской воды Черного моря приведен в таблице 1.

Таблица 1[1]

Наименование	Общая соленость, г/л	Содержание ионов, г/л					
		Cl <sup>-</sup>	SO <sup>2-</sup> <sub>4</sub>	CO <sup>2-</sup> <sub>3</sub>	Na <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>
Черное море	18	9,9	1,4	0,04	5,5	0,67	0,22

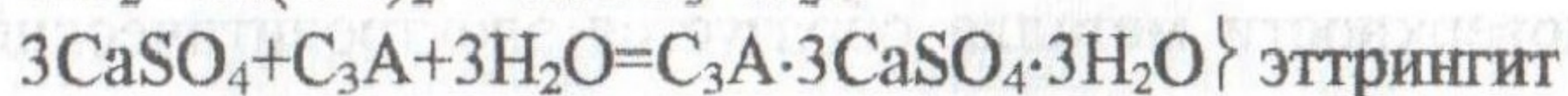
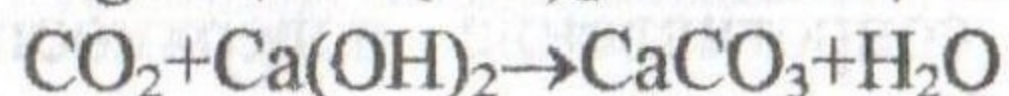
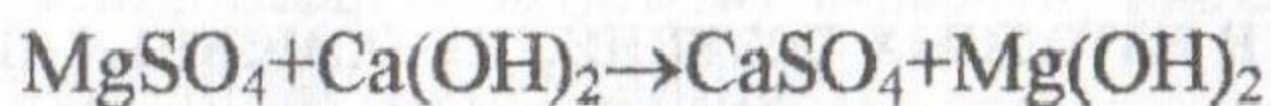
Морская вода представляет собой сложную физико-химическую систему, в которой содержатся соли - электролиты, агрессивные по отношению к бетону: хлорид натрия, сульфат и хлорид магния, сульфат кальция (табл. 1). При контакте с бетоном развиваются процессы взаимодействия этих солей с цементным камнем.

Коррозионное действие морской воды определяет главным образом MgSO<sub>4</sub>, который реагирует с гидроксидом кальция с образованием гипса и гидроксида магния. Образовавшийся гипс, реагируя с выделяющимся при гидролизе силикатов кальция гидроксидом кальция, образует



гидросульфатоалюминат кальция. Одновременно идут процессы образования гидроалюмината кальция. Установлено, что наибольшее значение для коррозионного повреждения цементного камня имеет образование гидросульфатоалюминатов кальция и гипса.

Механизм коррозии может быть описан следующими уравнениями:



Этtringит и частично  $\text{CaSO}_4$  выделяются с увеличением объема и вызывают расширение. Это обуславливает развитие внутреннего давления и, как следствие, - развитие внутренних напряжений и образование микротрещин, которые разрастаются и по наиболее слабым сечениям образуют макротрещины, в итоге, это приводит к разрушению бетона. Необходимо так же отметить, что в летний период, в теплой морской воде, коррозия бетона усиливается.

Кроме химического воздействия, кристаллизация солей в порах бетона приводит к его разрушению вследствие давления кристаллов соли, так как кристаллизация происходит там, где вода испаряется. Этот вид воздействия наблюдается в надводной части бетона. Бетон в зоне переменного уровня воды, подвергающийся попеременному увлажнению и высушиванию, разрушается быстрее, чем постоянно увлажняемый бетон.

Сильное хлоридное воздействие морской воды наблюдается в зонах обрызгивания ею железобетонных конструкций причала № 4, где происходит частое увлажнение и высыхание. В таких зонах железобетонные конструкции находятся в сильноагрессивной среде.

В армированном бетоне вследствие поглощения солей возникают анодная и катодная зоны, в результате электролитических процессов происходит осаждение на арматуре продуктов коррозии, которое вызывает разрушение окружающего бетона. Хотя раствор соли перемещается в бетоне в результате капиллярного подсоса, он действует на бетон только в том случае, когда вода проникает в бетон. По этой причине необходимо обеспечивать надежную непроницаемость и плотность бетона, и достаточную толщину защитного слоя арматуры (5-8 см).

Действия сульфатов подтверждаются по внешнему виду бетона, где разрушение начинается на углах и гранях, затем наблюдается растрескивание, шелушение и потеря прочности.

В условиях, при которых эксплуатируется причал № 4, может развиваться и микробиологическая коррозия путем создания агрессивной среды на поверхности материала, образующейся в результате накопления таких



продуктов жизнедеятельности микроорганизмов, как кислоты, сульфиды, аммиак, сероводород и другие агрессивные ионы по отношению к стали и бетону. Содержание сероводорода в воздухе в количестве  $0,03 \text{ мг/м}^3$  уже способствует развитию тионовых бактерий, что приводит к микробиологической коррозии бетона [2,3]. Коррозию арматуры вызывают также сульфато восстанавливающиеся бактерии. Они непосредственно влияют на скорость анодных и катодных реакций, их обменные процессы или продукты метаболизма изменяют сопротивление поверхностной пленки металла, на поверхности металла образуется электролитический барьерный слой.

Характер и интенсивность разрушений бетона и арматуры конструкций причала № 4 свидетельствуют о наличии микробиологической коррозии.

Визуальным обследованием установлено, что железобетонные конструкции верхнего строения причала № 4 порта Южный имеют характерные дефекты, вызванные как условиями технологии при производстве работ, так и условиями длительной эксплуатации в агрессивной среде (технологической и природной). К таким дефектам относятся: раковины, трещины, пустоты, отколы углов и граней конструкций, коррозия арматуры с потерей рабочего сечения, высолы, разрыхление бетона и др.

Инструментальная проверка прочности бетона конструкций причала № 4 проводилась комплексно-ультразвуковым методом по ГОСТ 17624-87 и механическим методом по ГОСТ 22690-88 (методом упругого отскока).

Величину упругого отскока измеряли прибором ОМШ-1, а определение скорости прохождения ультразвука в бетоне конструкций проводили прибором УК-14П путем сквозного и поверхностного прозвучивания. Численные значения прочности бетона ( $R_{сж}$ ) согласно ГОСТ 17624-87 определяли по формулам:

$$R_{сж} = A v^4 \quad \text{и} \quad R_{сж} = R_{\text{макс}} \cdot v / 8,87 v_{\text{макс}} - 7,87 v,$$

где  $v$  - скорость прохождения ультразвука в бетоне, км/с;

$v_{\text{макс}}$  - наибольшая скорость ультразвука в конструкции (эталонном образце), км/с;

$R_{\text{макс}}$  - прочность бетона эталонного образца, км/с;

$A$  - эмпирический коэффициент.

При одностороннем доступе к конструкциям проводилось поверхностное прозвучивание бетона с помощью устройства УППР-2М при постоянной базе, равной 120 мм, а переход от скорости при поверхностном прозвучивании к скорости при сквозном прозвучивании проводился по формуле:



$$v_c = v_n \cdot K,$$

где  $v_c$  - скорость прохождения ультразвука в бетоне при сквозном прозвучивании, км/с;

$v_n$  - скорость прохождения ультразвука при поверхностном прозвучивании, км/с;

$K$  - переходной коэффициент.

Кроме того использовались "Расчетные таблицы для определения прочности бетонов на сжатие ультразвуковым методом" под редакцией И.Н. Жуленева, применяемые для определения прочности бетона при отсутствии или ограниченном количестве градуировочных образцов, построенные с учетом теории подобия с использованием формулы:

$$R_{сж} = C v^{3,75},$$

где  $C$  - расчетный коэффициент, определяемый по формуле:

$$\lg C = \lg R - 3,75 \lg v$$

Исследования показали, что прочность бетона надводной части причала № 4 в зонах разрушения снижена и колеблется в среднем от 150 кгс/см<sup>2</sup> до 210 кгс/см<sup>2</sup>, минимум равен 130 кгс/см<sup>2</sup>, максимум 240 кгс/см<sup>2</sup>, что составляет 43-80% от проектной, равной 300 кгс/см<sup>2</sup>.

Для дальнейшей нормальной эксплуатации причала № 4 необходимы работы по ремонту, усилению и защите железобетонных конструкций от трех видов коррозии. Для прекращения активных деструктивных процессов в бетоне и арматуре основных несущих железобетонных элементов причала № 4, вызванных тремя видами коррозии, следует применить проникающую гидроизоляцию, как наиболее перспективную. В данном случае логично применить эффективный канадский гидроизоляционный материал "Ксайпекс", опыт применения его в порту Южный уже имеется. "Ксайпекс" - проникающая гидроизоляция, представляет собой порошок, состоящий из цемента, кварцевого песка и активных химических добавок. Идея работы "Ксайпекса" основана на использовании принципа диффузии насыщенных растворов. Гидроизоляционный эффект достигается благодаря образованию и росту древовидных кристаллов в порах и капиллярах влажного бетона, в результате кристаллы пронизывают и уплотняют структуру бетона. Проникающая гидроизоляция становится составной частью бетона, образуя единую с ним прочную и долговечную структуру.



Обработка "Ксайпексом" защищает поверхность бетона от химической агрессии различных сред, включая хлориды, а также предотвращает коррозию арматуры. Важно отметить, что при контакте с влагой древовидные кристаллы постоянно растут внутри капилляров, обеспечивая эффективное действие "Ксайпекса" на весь период службы железобетонной конструкции.

#### Литература.

1. Алексеев С.Н., Иванов Ф.М., Модры С., Шиссель П. Долговечность железобетона в агрессивных средах. - М.: Стройиздат. 1990. - С.104-110.
2. Заволока Ю.В., Кобринец В.М., Заволока М.В. Заволока Ю.М. Оценка технического состояния и усиление железобетонных конструкций. - Одесса: ИМК "Город мастеров", 2000. - С.57-79.
3. Заволока М.В., Мишугин А.В., Заволока Ю.В. Биокоррозия бетона. - Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. - Вип. № 9. - Одеса, 2003. - С.89-100.