

56

КОРРОЗИЯ МОРСКИХ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ



Маркович Р.А., Главный специалист НТО по антикоррозионной защите ОАО «ЛенморНИИпроект»



Колгушкин А.В., инженер-проектировщик Отдела гидротехнических сооружений ОАО «ЛенморНИИпроект», аспирант ИСФ СПбГУ

В настоящее время все существующие морские причалы построены с использованием металлоконструкций из углеродистых и низколегированных сталей, причем большая часть из них имеет металлическое свайное основание. Сталь превосходит железобетон по прочностным и технологическим показателям. Металлическое свайное основание позволяет увеличить технологические нагрузки на причалы. Использование нового мощного сваебойного оборудования практически вытеснило железобетонное свайное основание из морского гидротехнического строительства.

При проектировании металлических свайных оснований из углеродистых и низколегированных сталей для оценки предполагаемого срока службы требуется учитывать многие факторы, в том числе скорости коррозии, износа и воздействия механических нагрузок. Коррозионное разрушение углеродистых и низколегированных сталей, эксплуатирующихся в морских условиях, виды коррозий и методы борьбы с ними изучаются давно. В зависимости от условий эксплуатации скорость коррозионных процессов и характер коррозионных

разрушений для углеродистых и низколегированных сталей изменяются в широких пределах, поэтому их стойкость обычно рассматривается применительно к конкретной зоне, характеризующейся конкретными условиями. К зонам относятся: атмосфера, зона забрызгивания, зона переменного смачивания, зона полного погружения и зона погружения в донный грунт. Характер коррозионных разрушений углеродистых и низколегированных сталей, эксплуатирующихся в морских условиях, приведен в таблице 1.

Таблица 1

ВИД И ТИП КОРРОЗИОННЫХ РАЗРУШЕНИЙ	СХЕМАТИЧЕСКИЙ ВИД РАЗРУШЕНИЙ	УСЛОВИЯ ВОЗНИКНОВЕНИЯ РАЗРУШЕНИЙ
Сплошная коррозия Равномерная		Коррозия металла в активном состоянии. Коррозия незащищенной углеродистой стали.
Сплошная коррозия Неравномерная		Коррозия металла в активном состоянии. Коррозия незащищенной углеродистой стали.
Местная коррозия Коррозия пятнами		Коррозия металла в активном состоянии. Коррозия стали при разрушении лакокрасочного покрытия. Площадь коррозионных разрушений значительно превосходит их глубину.
Местная коррозия Коррозия язвами		Коррозия металла в активном состоянии. Коррозия стали в зоне отдельных разрушений покрытия. Площадь коррозионных разрушений соизмерима с их глубиной.
Местная коррозия Точечная (питтинговая) коррозия		Коррозия металла в пассивном состоянии или при изоляции пористым покрытием. Коррозия алюминия, нержавеющей стали. Коррозия стали при отдельных порах в лакокрасочном покрытии. Площадь коррозионных разрушений значительно меньше их глубины.
Структурно- или компонентно-избирательная коррозия Межкристаллитная коррозия		Избирательное разрушение по границам кристаллитов гетерогенных сплавов.
Структурно- или компонентно-избирательная коррозия		Корродирует один из компонентов сплава, поверхность при этом обогащается компонентом с более благородным потенциалом.

Основное внимание при проектировании и строительстве гидротехнических сооружений уделяется вопросам предотвращения возникновения и развития неравномерной коррозии. Наиболее надежной является информация о разрушении металлов в реальных условиях эксплуатации гидротехнических сооружений, а не результаты модельных лабораторных экспериментов. На основании требований существующей нормативно-правовой базы все гидротехнические сооружения должны проходить техническое освидетельствование. Задачей освидетельствования является: обследование сооружения,

определение технического состояния и износа отдельных основных элементов сооружения и всего сооружения в целом. Комплексная система технического контроля гидротехнических сооружений морского транспорта, включающая методики определения технического состояния и оценки износа сооружений, регламентирована РД 31.3.3-97 «Руководство по техническому контролю гидротехнических сооружений морского транспорта». Методика обследования сооружений разработана для наблюдения за техническим состоянием конструкции причалов, определения дефектов, спо-

собных привести к остановке эксплуатации. В процессе обследования сооружения необходимо различать коррозионные повреждения и повреждения механического характера.

К коррозионным разрушениям относятся:

- общая равномерная поверхностная коррозия с одинаковой по всей площади толщиной прокорродировавшего слоя, равномерной окраской продуктов коррозии;
- местная поверхностная коррозия с отдельными очагами: пятнами; язвенная; точечная;
- сквозная коррозия является развитием местной коррозии и характеризуется ограниченным, но прогрессирующим разрушением в виде отверстия;
- межкристаллическая коррозия – разрушение металла по границам зерен, при котором резко падает его прочность с отсутствием внешних признаков разрушения.

К повреждениям механического характера относятся:

- трещины, вызванные концентрацией напряжений, повышенной хладоломкостью, остаточным напряжением от сварки, реализацией усталостных явлений;
- разрушение под действием расчетных нагрузок, вызванные дефектами стали.

Согласно РД 31.3.3-97 дефекты металлических конструкций по степени их опасности следует подразделять на три категории: малозначительные, значительные и критические. Малозначительные дефекты – повреждения, не вызывающие изменения прочностных характеристик металла, недопустимого уменьшения сечений металлических элементов несущих конструкций и опасного перенапряжения других конструктивных элементов. К значительным дефектам следует относить такие, при которых в элементах возникают напряжения, равные или превышающие нормативные, изменя-



Рис. 1. Язвенная и сквозная коррозия морских причалов



Рис. 2. Коррозионные повреждения

ется пространственное положение и форма элементов, а также нарушается их целостность, и если все это создает предаварийную ситуацию.

К критическим следует относить дефекты металлоконструкций, развитие которых может вызвать обрушение всего сооружения или отдельных его частей и привести к выводу сооружения из эксплуатации. К таким дефектам относятся:

- уменьшение площади сечения основных несущих элементов конструкций до значений, при которых напряжения в этих элементах будут близки к пределу текучести стали;
- сквозную коррозию несущих металлических элементов;
- нарушение сплошности шпунтовых стенок на участке длиной свыше 5 м;
- массовый излом и остаточный изгиб опор эстакадных конструкций [1].

При осмотре металлоконструкций необходимо фиксировать механические повреждения, изменение пространственного положения элементов, изменение внешнего вида поверхности металла, распределение по поверхности продуктов коррозии и их характер, степень сохранности защитных покрытий или устройств.

В случаях, когда устанавливаются аномальные отклонения в скорости коррозии металлоконструкций, а также при необходимости определения эффективности работы системы электрохимической защиты конструкций, проводятся измерения электродного потенциала и катодной поляризации. С целью получения информации о коррозионных дефектах и получения прочностных показателей стали необходимо брать ее образцы непосредственно из сооружения.

Измерение остаточной толщины стенок металлоконструкций непосредственно на месте рекомендуется производить ультразвуковыми толщиномерами; а измерение толщины антикоррозионных покрытий – магнитными толщиномерами. При определении скорости коррозии элементов, выполненных из проката, в

качестве исходных данных следует принимать геометрические размеры прокатных профилей или труб, руководствуясь соответствующими стандартами или ТУ.

Для того чтобы проанализировать механизм коррозии ГТС, рассмотрим износ двух причалов разных конструкций. В данном анализе сооружения эстакадного типа и типа больверк сопоставляются не по технологическим нагрузкам, а по старению элементов конструкции свайного основания. Это сделано для выявления схожих черт разрушений и сравнительной характеристики по работе элементов конструкции в условиях морской среды.

Анализ проведен на основании внеочередных обследований 2005 г. сквозного пирса, расположенного в Кольском заливе, и причала типа «больверк», расположенного в Финском заливе.

Пирс, построенный в 1975 г., выполнен в виде эстакадной конструкции с двухъярусным верхним строением и с палами. Основанием эстакады являются стальные трубы диаметром 720, 820 и 1020 мм и короба из четырех шпунтов Ларсен-V. Общее количество поперечных рядов свай 49, расстояние между рядами 2,0; 4,3; 10,6 м, шаг свай 3,1 м. Количество свай в рядах различное: от четырех до десяти свай. Отметка низа свай изменяется от минус 22,820 м до минус 23,650 м.

Коррозия обследованных свай носит язвенный характер. Язвы занимают до 30% площади, размер язв от 0,5 до 2,0 см и глубиной от 1,5 до 3,0 мм. Зона максимальной коррозии располагается на отметках от 0,000 м до +1,000 м. Потеря толщины стенки трубы в указанной зоне составляет от 5,9 до 5,7 мм, что составляет 53-51% от построечной толщины (рис. 3).

Конструкция второго причала, реконструированного в 1966 г., представляет собой больверк с лицевой стенкой из металлического шпунта Ларсен-V, погружаемого до отметки минус 16,8 м. Коррозия обследованной лицевой стенки носит язвенный характер. Коррозия

происходит вдоль ребер шпунта и распространяется на стенки. Зона максимальной коррозии располагается на отметках от 0,000 м до минус 1,000 м. Потеря толщины полки шпунта в указанной зоне от 11,4 до 11,6 мм, что составляет 54–55% от построечной толщины (рис. 4).

Как видно из рис. 3 и 4, наиболее значительные коррозионные разрушения концентрируются в зонах забрызгивания и переменного смачивания.

Скорость общей коррозии в морской воде приблизительно одинакова для углеродистых и низколегированных сталей и составляет 0,05-0,1 мм/год, в то же время низколегированные стали более склонны к язвенной коррозии, особенно марганцовистые стали в зоне термического влияния сварных соединений.

Различие в коррозионном поведении различных марок сталей проявляется главным образом в сварных соединениях. Это определяется разностью электродных потенциалов трех элементов сварного соединения: основного металла, сварной шов и зона термического влияния. Поэтому выбор сварочных электродов и технологии сварки производится с таким расчетом, чтобы указанные элементы имели приблизительно одинаковые потенциалы. Это достигается применением соответствующих сварочных материалов.

Большое влияние на скорость коррозии оказывает прокатная окалина. Она имеет высокую электропроводность, а ее стационарный потенциал в морской воде на 0,3-0,5 В более положительный, чем потенциал стали, причем для сталей, легированных хромом и медью, эта разница наибольшая. Поэтому обязательным является удаление окислы при строительстве гидротехнических сооружений. Наличие окислы, условия дифференциальной аэрации в потоке воды, механические напряжения и прочее способствуют язвенной коррозии, скорость которой составляет: средней – 0,1-0,4 мм/год, максимальной – 0,4-1,0 мм/год.

Труба Ø1020x11 Гост 10704-91
Ст. 3 Гост 10706-76

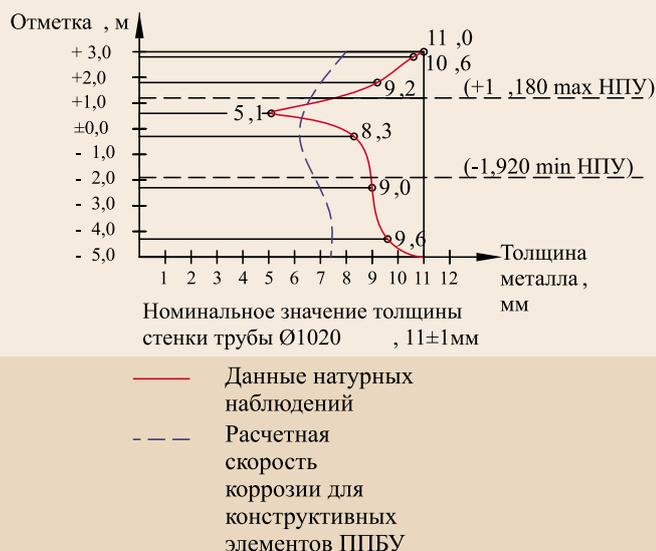


Рис. 3. Измеренная остаточная толщина стенки сваи

Шпунт Ларсен V Сталь Ст.3
Лицевая стенка

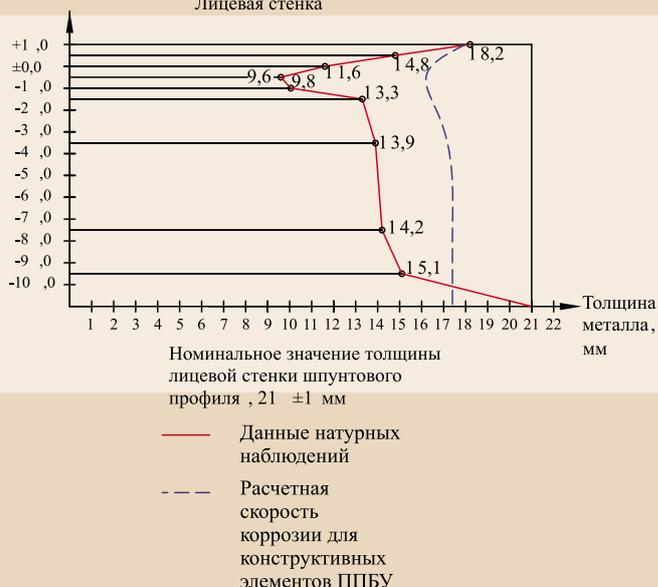


Рис. 4. Измеренная остаточная толщина лицевой стенки шпунта

В зависимости от условий эксплуатации и состояния средств защиты скорость коррозии в подводной зоне гидротехнических сооружений может изменяться в широких пределах. Например, при использовании металлоконструкций с прокатной окалиной и отсутствии эффективных средств защиты в подводной зоне могут иметь место язвенные поражения до 1 мм/год. В случае электрокоррозии под действием блуждающих токов или вследствие неправильного электроснабжения сварочных работ при достройке или ремонте гидротехнических сооружений коррозионные повреждения могут развиваться со скоростью до 5 мм/год.

На металлоконструкциях, оснащенных современными средствами защиты, коррозия, как правило, носит равномерный характер и скорость ее не превышает 0,05 мм/год. Повышенные скорости коррозии (до 0,4 мм/год) имеют место на гидротехнических сооружениях, эксплуатирующихся в замерзающих портах, где лакокрасочные покрытия разрушаются значительно быстрее, и разрушения носят эрозионно-коррозионный характер.

Металлоконструкции в зоне переменного смачивания, так же как и в подводной зоне, подвергаются воздействию морской воды, однако имеются и специфические отличия, влияющие на характер коррозии:

- повторно-периодическое воздействие морской воды и атмосферы, т.е. отсутствие диффузионных ограничений по кислороду;
- механическое разрушение лакокрасочного покрытия при швартовках, в битом льду и при швартовках. Средняя скорость коррозии в зоне переменного смачивания несколько больше, чем в подводной зоне (0,05-0,20 мм/год), а максимальная скорость язвенной коррозии может составлять до 1 мм/год.

В качестве средства защиты в районе зоны переменного смачивания используются лакокрасочные покрытия, причем к ним предъявляются дополнительные требования: стойкость в морской воде, атмосфере и высокой абразивостойкости. Несмотря на высокую коррозионную агрессивность морской атмосферы, скорость коррозии надводных конструкций не превышает 0,1 мм/год вследствие

их доступности для осмотра и восстановления лакокрасочных покрытий в течение всего периода эксплуатации. Расчетные скорости коррозии углеродистых и низколегированных сталей приведены в Правилах постройки и классификации плавучих буровых установок: скорость коррозии принимается по данным об износе выбранных сталей в условиях, соответствующих условиям эксплуатации плавучих буровых установок и морских стационарных платформ без учета положительного влияния защитных мероприятий по уменьшению износа, при этом наличие окислы на поверхности металлоконструкций исключается. Расчетные скорости коррозии элементов плавучих буровых установок и морских стационарных платформ приведены в таблице 2.

Как видно из сравнения данных натурных наблюдений и данных, основанных на расчетных скоростях коррозии (см. рис. 3 и 4), скорость коррозии морских ГТС выше, чем расчетная скорость коррозии ППБУ. Основной причиной коррозионных разрушений, приводящих к критическим дефектам металлоконструкций ГТС, является присутствие прокатной окислы на поверхности металла. Очистка металла от окислы является составной частью подготовки поверхности металла к окрашиванию. Пренебрежение какой-либо частью процедуры при противокоррозионной защите металлоконструкций приводит к снижению долговечности конструкций, эксплуатирующихся в условиях высокой коррозионной агрессивности. Для надежной эксплуатации металлоконструкций ГТС использование современных методов защиты металла от коррозии при постройке является обязательным.

Таблица 2

НАИМЕНОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНОГО ЭЛЕМЕНТА	РАСЧЕТНАЯ СКОРОСТЬ КОРРОЗИИ, ММ /ГОД
1. Колонны:	
• в районе соединения с понтонами;	0,14
• по уровню переменной ватерлинии;	0,16
• надводная часть;	0,10
• подводная часть.	0,12
2. Верхний корпус:	
• борта, транцы;	0,11
• переборки;	0,10
• опорные балки;	0,13
• главная палуба;	0,10
• открытые участки верхней палубы, подверженные воздействию атмосферных осадков.	0,13