

**ОЦЕНКА КОРРОЗИОННОЙ СТОЙКОСТИ ГЛУБОКОВОДНОЙ
БУРОВОЙ ПЛАТФОРМЫ ДЛЯ УСЛОВИЙ ЧЕРНОГО МОРЯ**

Приведены результаты исследований коррозионных процессов конструктивных элементов плавучих сооружений на основе отечественных и зарубежных материалов, определены скорость коррозии в зависимости от температуры морской поверхности и оценка объема коррозии металла.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *буровая платформа, коррозия, соленость, Черное море.*

Потребность решения проблемы коррозии во всех промышленных странах непрерывно растет, поскольку основными средствами морской добычи нефти и газа являются плавучие буровые установки, которые в течение длительного промежутка времени находятся в морской среде. Это определяет актуальность проблемы анализа и защиты морских буровых платформ от коррозии корпуса.

Целью работы является систематизация и анализ данных о темпах и характеристиках коррозии конструктивных элементов в зависимости от температуры морской поверхности.

Результаты. К числу основных требований конструирования глубоководных буровых платформ относится обеспечение их надежной эксплуатации за период не менее 50-и лет. При этом, по существующей статистике аварий на таких платформах, коррозия корпуса является одной из основных причин критического уменьшения прочности конструкции и, как следствие, развитие аварийной ситуации. Учитывая перспективу освоения энергоносителей в глубоководных районах Черного моря, целью настоящей работы является анализ скорости коррозии металлического корпуса платформы для условий центральных глубоководных этого моря.

Морская вода является хорошо аэрированным (8 мг/О_2) нейтральным ($\text{pH} = 7,2 - 8,6$) электролитом с высокой электропроводимостью, обусловленной наличием от 2 (Балтийское море) до 40 ‰ (Красное море) солей (главным образом, хлоридов и сульфатов натрия, магния, кальция и калия), в Черном море соленость воды в приповерхностном слое составляет 17 – 18 ‰ [1]. Особенности морской воды как коррозионной среды являются:

- высокая концентрация солей (от 2 до 39 ‰), снижающая омическое сопротивление электролита;
- большое содержание хлоридов – более 80 % общего солесодержания (ион Cl^- – является сильнейшим активатором коррозии);
- энергичное перемешивание с одновременной аэрацией, способствующее увеличению содержания растворенного кислорода и уменьшающее концентрационную поляризацию. Скорость коррозии в зоне периодического смачивания в 3 – 5 раз больше, чем в зоне полного погружения;
- одновременное содержание в воде ионов хлора и кислорода, являю-

щегося сильным окислителем (до 10 мг/л);

– присутствие биологических факторов, вызывающих биокоррозию и обрастание корпусов платформ.

Все это делает морскую воду активной коррозионной средой.

На поверхности металла в морской воде протекают два электродных процесса: окисление металла и восстановление окислителя, чаще всего растворенного в воде кислорода [2]. Обследование плавучих сооружений показало, что скорость коррозии, отнесенная к обеим сторонам обшивки, составляет примерно 0,025 – 0,125 мм/год (в зависимости от условий). Эти величины характеризуют только поверхностную (равномерную) коррозию, без учета сквозных повреждений.

Рассмотрим наиболее подверженные коррозии участки корпуса платформы. Наибольшая коррозионная опасность наблюдается в местах переменного смачивания поверхности (район ватерлинии). В зоне брызг и переменном уровне смачивания на ускорение коррозии оказывают влияние концентрация кислорода, и скорость его диффузии через границу раздела фаз газ-жидкость. Способствует же началу коррозионного разрушения возникновение термогальванических пар из-за неодинаковой температуры отдельных участков одного и того же металла конструкции. Более нагретый участок металла, как правило, является анодным и подвергается более сильной коррозии. Добавим, что разница в температуре между поверхностными слоями воды (толщина слоя 0,5 м) и более глубокими слоями может составлять несколько градусов. Поэтому в результате температурного перепада возникает гальваническая пара, создающая анодную поляризацию более теплых частей корпуса, расположенных ближе к поверхности воды [3]. На движение кислорода в морской воде оказывает влияние испарение, а также перемешивание воды и относительная влажность атмосферы. Влияние температуры в подводной зоне на скорость коррозии незначительное, так как там нет таких резких перепадов температуры, как в атмосферном воздухе. В связи с тем, что морская коррозия идет с кислородной деполяризацией и преимущественно с диффузионным контролем доставки кислорода к катодам корродирующей поверхности, очевидно, что перемешивание или увеличение скорости движения морской воды будет также одним из основных факторов ускорения коррозионного процесса. Этот фактор может влиять на скорость коррозии металлов и сплавов различными путями. Он может привести к увеличению количества кислорода, достигающего поверхности металла, к разрушению защитных пленок, а также вызвать образование элементов дифференциальной аэрации. При высоких скоростях движения вода оказывает механическое воздействие, приводящее к смыванию защитных покрытий. Воздействие, оказываемое движением водной среды на неподвижные конструкции, определяется также количеством абразивного материала, переносимого вместе с водой, формой конструкционного элемента и свойствами металла или сплава, используемого в каждом конкретном случае. В целом углеродистые стали и цинк корродируют быстрее при увеличении скорости среды; скорость коррозии стали может возрасти вдвое при изменении скорости движения морской воды от нуля до 1 м/с, скорость коррозии цинка может увеличиться еще больше.

Коррозионные разрушения металлических элементов определяются множеством факторов, которые необходимо учитывать на стадиях проектирования и строительства. Расчетные скорости коррозии углеродистых и низколегированных сталей приведены в Правилах Российского Морского Регистра судоходства. Скорость коррозии принимается по данным об износе выбранных сталей в соответствующих условиях эксплуатации плавучих буровых установок и морских стационарных платформ без учета положительного влияния защитных мероприятий по уменьшению износа. По статистике (вероятность 0,3437) большинство аварий происходит от коррозионных разрушений, следствием чего является потеря прочности конструкции [4 – 6].

Температура поверхности воды в Черном море колеблется в первом приближении от 5 до 25 – 27 °С, причем сезонные изменения температуры зависят от многих факторов. При температуре 5 °С, коррозионные поражения металла при переменном смачивании имеют вид язв (в районе ватерлинии). Выше этого района металл по сравнению с переменной ватерлинией не корродирует. Для температуры от 15 °С и выше характерна сплошная коррозия по всей поверхности с язвенными поражениями в области ватерлинии.

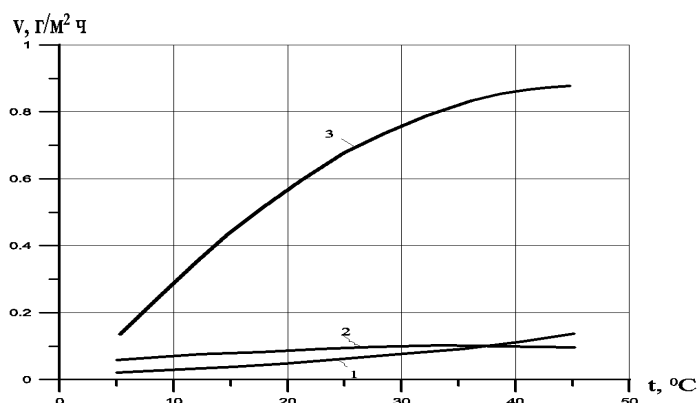
Зависимость между скоростью коррозии стали и изменением температуры морской воды определяется многими факторами и в общем случае является нелинейной функцией. Такая зависимость представлена на рис. по данным исследования углеродистой стали 4с при периодическом погружении в естественной морской воде и газовой фазе над ней.

Эту зависимость можно представить в виде следующей аппроксимации

$$V = 0,3659 \ln T - 0,5014$$

с уровнем достоверности $R^2 = 0,9734$, где T – температура приповерхностного слоя моря в диапазоне от 5 до 45 °С.

С учетом упрощенного соотношения для изменения температуры приповерхностного слоя Черного моря, скорость коррозии можно представить в следующем виде:



Р и с . Зависимость скорости коррозии стали 4с от температуры в газовой фазе (1); при полном (2) и периодическом (3) погружении.

$$V = 0,3659 \ln \left(10 \sin \left(\frac{2\pi n}{365} \right) + 15 \right) - 0,5014,$$

где n – число дней от начала условного года.

Оценка объема коррозии металла в течение одного года равна:

$$Q = \int_{n=0}^{365} 0,3659 \left\{ \ln \left[10 \sin \left(\frac{2\pi n}{365} \right) + 15 \right] - 0,5014 \right\} dn$$

Численное решение этого интеграла равно $160,46 \text{ г/м}^2$ или $0,0205 \text{ мм/год}$, за 50 лет $1,25 \text{ мм}$. Учитывая, что площадь поверхности переменного смачивания для глубоководной платформы *TLP*-конфигурации равна примерно 160 м^2 для одной из четырех опор и при расчетном сроке эксплуатации платформы 50 лет, находим, что общий объем коррозионных разрушений составляет 5135 кг .

Выводы и перспективы дальнейших исследований Коррозионные разрушения ведут к потере прочности конструкции буровых платформ, что является следствием многих аварий таких установок. Полученные оценки коррозионных разрушений платформы за различные периоды ее эксплуатации являются основой для выбора средств защиты от этого негативного явления. В частности расчет количества и массы протекторов электрохимической защиты выполняется по методикам, изложенным в ГОСТах 9.056-75, 26 251-84. В перспективе целесообразным является использование комбинированных средств защиты при помощи полимерных материалов (барьерная защита), новых типов красок с высоким содержанием цинка (электрохимическая защита) и навесных протекторов, параметры которых определяются на основе указанных стандартов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Жук Н.П. Курс теории коррозии и защиты металлов. – М.: Металлургия, 1976. – 472 с.
2. Хоникевич А.А. Химия и коррозия в судостроении: Учебник для вузов. – Л.: Судостроение, 1988. – 224 с.
3. Петракки Д. Коррозия корпусов судов / Пер. с итал. Н.Л. Козлова. – Л.: Судпромгиз, 1959. – 141 с.
4. Accident statistics for floating offshore units on the UK Continental Shelf 1980 – 2005. Det Norske Veritas / UK Health & Safety Executive. Research Report Series. – 2007. – Report RR567. – 89 p.
5. Патин С.А. Нефть и экология континентального шельфа. – М.: ВНИРО, 2001. – 247 с.
6. Алексеев С.П. О комплексной системе обеспечения безопасности освоения морских нефтегазовых месторождений Сахалина // Морские исследования и технологии изучения природы Мирового океана. – С.-Пб., 2005. – вып.1. – С.21-38.

Материал поступил в редакцию 10.09.2010 г.