

УДК 622.276.04

КОРРОЗИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ В УСЛОВИЯХ МОРСКИХ НЕФТЕГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА УСТАЛОСТНОЕ ТРЕЩИНООБРАЗОВАНИЕ

Староконь И.В., Фролова Н.В., Романенко О.А., Болбот Н.В.

*Российский государственный университет нефти и газа им. И.М. Губкина, Москва,
e-mail: starokon79@mail.ru*

В статье рассматривается специфика коррозионных процессов на морских нефтегазовых сооружениях. Подробно описываются причины возникновения коррозионных дефектов. Рассматривается влияние температуры, солености, скорости морских течений. Показывается, что с увеличением температуры возникают анодные зоны на более перегретых конструктивных элементах морских стационарных платформ (МСП). Приводится классификация участков расположения морских нефтегазовых сооружений в зависимости от температурных воздействий. Рассматривается влияние растворенных в морской воде солей и показывается их влияние на скорость коррозии. Отмечается, что на коррозионные процессы также оказывают влияние морские течения и качество работы систем защиты от коррозии. Опираясь на статистику, полученную в результате проведения диагностических обследований МСП, авторами проведен анализ коррозионного износа в атмосферной, подводной и переменного смачивания зонах, что позволило выявить участки наиболее интенсивного коррозионного износа, расположенные в зоне переменного смачивания.

Ключевые слова: усталостные трещины, морские нефтегазовые сооружения, морские стационарные платформы, коррозионные процессы

CORROSION PROCESSES IN THE CONDITIONS OF SEA OIL AND GAS FIELDS AND THEIR INFLUENCE ON FATIGUE PROGRESS

Starokon I.V., Frolova N.V., Romanenko O.A., Bolbot N.V.

Russian state University of oil and gas named after I.M. Gubkina, e-mail: starokon79@mail.ru

In article specifics of corrosion processes on sea oil and gas constructions is considered. The reasons of emergence of corrosion defects are in detail described. Influence of temperature, salinity, speed of sea currents is considered. It is shown that with increase in temperature there are anode zones on more superheated constructive elements of the sea stationary platforms (SSP). Classification of sites of an arrangement of sea oil and gas constructions depending on temperature influences is given. Influence of the salts dissolved in sea water is considered and their influence on corrosion speed is shown. It is noted that sea currents and quality of work of systems of protection against corrosion also have impact on corrosion processes. Relying on the statistics received as a result of carrying out diagnostic inspections of MSP, authors carried out the analysis of corrosion wear in atmospheric, underwater and variable wetting zones that allowed will reveal the sites of the most intensive corrosion wear located in a zone of variable wetting.

Keywords: fatigue cracks, sea oil and gas constructions, sea stationary platforms, corrosion processes

Морские нефтегазовые месторождения России расположены на территории 13 морей, так же отечественные нефтегазовые компании занимаются освоением месторождений принадлежащих иностранным государствам, например, месторождение «Белый Тигр» принадлежащее Вьетнаму. Климат этих месторождений существенно различается, что оказывает существенное влияние коррозионные процессы морских нефтегазовых сооружений. Так например, средняя температура воды в Баренцевом море в июле-августе не превышает плюс десяти градусов Цельсия, в то время как этот же период температура средняя воды в Черном море превышает значение плюс двадцати восьми градусов Цельсия. Отличаются моря и уровнем солености воды. Например, соленость воды в Азовском море не превышает значение 13,8%, в то время как в Баренцевом море этот показатель составляет порядка 35% [1]. Однако соленость и температурный режим это далеко

не все факторы влияющие на скорость коррозионных процессов. Помимо этого следует учитывать, что на скорость коррозии оказывают влияние состояние и химический состав материала конструктивных элементов МНГС, фактор сезонности, влажность воздуха, конструктивная форма сварных соединений и элементов, время работы, характер нагрузки элементов и другие факторы [1, 2, 3]. Перейдем к подробному рассмотрению факторов, влияющих на скорость коррозии в условиях морского нефтегазового месторождения. Как уже говорилось выше, важным фактором, влияющим на ускорение коррозионных процессов, является температура. Как это показано в работе [2], скорость электрохимической коррозии с увеличением температуры возрастает. Как известно, температура поверхности сооружения изменяется в зависимости от высоты расположения конструктивных элементов МНГС. Можно выделить четыре уровня изменения температуры

МНГС в зависимости от его высотного положения [1, 2]: атмосферная, переменного смачивания, подводная, слоя донных грунтов. Подводная зона характеризуется неоднородным температурным полем, обусловленными различными течениями, температуры в этой зоне колеблются от 0 °С и выше. Атмосферная зона характеризуется колебанием температур от -65 °С до +5...+10 °С на Северных месторождениях и от +10 °С до +80 °С на месторождениях стран Персидского залива. Наиболее неблагоприятная с точки зрения кинетики воздействия температурных полей является зона периодического смачивания, т.к. она находится в зоне действия атмосферного температурного поля и температурного поля набегающих волновых потоков, характеризующихся высокой частотой. Помимо этого надо учитывать ежесуточное изменение температуры (температурные циклы день-ночь-день) и сезонное изменение температуры. При изучении морских нефтегазопроводов следует учитывать дополнительное температурное поле со стороны перекачиваемого продукта. Как правило, это поле значительно отличается от температуры окружающей среды и имеет некоторую свою величину, что обусловлено увеличением вязкости нефти и невозможностью ее транспортировки по трубопроводам ниже определенных температур или образованием газоконденсатных пробок при перекачке газа. Кроме того, температура нефти, выходящей из скважины, может достигать до 100 °С. Ускорению коррозионного разрушения способствует возникновение термогальванических пар из-за разницы температуры отдельных участков одного и того же металла элемента МНГС. Участок конструктивного элемента МНГС с большей температурой становится анодным и подвергается более сильной коррозии [1, 2]. Этот процесс интенсивно протекает в зоне переменного смачивания и поверхностных слоях воды, для которых характерно резкое изменение температуры, а также на участках, подвергаемых воздействию от брызг морской воды. Данный процесс практически не оказывает влияния в подводной зоне, что обусловлено отсутствием резких перепадов температуры, характерных для надводной зоны. Значительное влияние на скорость коррозионных процессов оказывает соленость. Общеизвестно, что в морской воде содержится большое количество растворенных в ней солей, сильно отличающихся по своему химическому составу и концентрации в различных морях. В морской воде растворены соли натрия, магния, кальция, брома и некоторых других метал-

лов [1, 2]. Наиболее распространенной, порядка 78% от общего числа растворенных солей, является натриевая соль. Второй по распространенности, порядка 11%, является магниевая соль. За ними следуют соли калия и кальция с содержанием 3% от общего числа растворенных солей. Далее следуют соли брома и некоторых других металлов, с содержанием порядка 0,2%. Значительное влияние на концентрацию солей оказывают речные стоки, доставляющие в море речную воду с низким содержанием солей. Высокая концентрация солей различных металлов в морской воде делает ее электролитом с высокой электропроводностью. Так например, при общей солености 2-3% электропроводность морской воды составляет около 2,5-3,0·10⁻² [Ом·см]⁻¹ [2]. Из вышесказанного очевидно, что высокое содержание ионов хлора и некоторых других кислотных остатков превращает морскую воду в высокоагрессивную коррозионную среду. Значительное влияние на скорость коррозионных процессов оказывают морские течения. В связи с тем, что с морским течением постоянно доставляются новые коррозионно-активные элементы еще не вступившие в реакцию, к уже пораженным коррозией участкам конструктивных элементов МНГС, существенно ускоряются коррозионные процессы. Следует также отметить, что коррозионные поражения МНГС начинаются в результате нарушения работы систем защиты от коррозии [1]. Как показал анализ отчетов инспекционных обследований морских платформ, коррозионные процессы наиболее интенсивно протекают в зонах с поврежденным лакокрасочным покрытием или другом изоляционном материале. Слабая адгезия лакокрасочного покрытия либо его полное отсутствие приводили к серьезным коррозионным повреждениям даже при наличии действующих систем ЭХЗ. Помимо этого следует учитывать, что на скорость коррозии оказывают влияние состояние и химический состав материала конструктивных элементов МНГС, фактор сезонности, температура воздуха и воды, влажность воздуха, конструктивная форма сварных соединений и элементов, время работы, характер нагрузки элементов и другие факторы [1, 2, 3, 4, 5]. К настоящему моменту разработаны различные теории коррозии под давлением. Однако в рассматриваемом нами процессе исследования коррозионного воздействия на напряженное состояние МНГС авторами предлагается обратиться к классической теории механики разрушения [3]. Совершенно очевидно, что существенное воздействие на изменение напря-

женного состояния оказывают различные формы нарушения поверхности конструктивных элементов МНГС. Если рассматривать сплошную поверхностную коррозию, то она приводит к равномерному утонению толщины стенок труб с равномерным снижением общей несущей способности. Гораздо более опасными являются язвенные или точечные коррозионные поражения, распространяющиеся от поверхности вглубь основного металла с малыми радиусами закругления на конце дефекта. Такие поражения резко изменяют форму поверхности конструктивного элемента МНГС, приводя к изменению общей картины напряженного состояния, и становятся потенциально перенапряженными элементами, известными в классической механике разрушения как концентраторы напряжений. Эти элементы характеризуются коэффициентами концентрации напряжений K , которые определяют истинное напряженное состояние на участке с КД путем умножения значения K на величину номинальных напряжений. Значение величины концентрации напряжений тем больше, чем острее форма коррозионного дефекта. Коррозионный дефект в виде каверны представляет собой локальное углубление, характеризующееся параметрами длины, ширины, глубины и радиусом закру-

пления на конце каверны [1, 3]. Для того, чтобы установить историю изменения напряженного состояния МНГС, требуется установить, с какой скоростью развивался коррозионный дефект, т.е. установить скорость коррозии. Соотрудниками ООО «Институт «ШЕЛЬФ» были выполнены экспериментальные исследования, в результате которых было установлено, что скорость коррозии образцов полностью погруженных в воду составляет от 60 до 130 мкм/год, скорость коррозии в зоне переменного смачивания может достигать до 1,3мм/год. Однако эти исследования проводились без учета влияния систем электрохимической защиты от коррозии, изоляционного покрытия, протекторной защиты и др. способов борьбы с коррозионным износом, т.е. при так называемой свободной коррозии. В действительности МНГС защищаются от коррозии различными методами. Для того, чтобы установить величину действительного коррозионного износа обратимся к данным материалов диагностирования МСП. На платформе МСП-4 была произведена ультразвуковая толщинометрия стенок конструктивных элементов. Рассмотрим МСП-4, установленную на Голицынском месторождении. Результаты обследования были обработаны автором и сведены в таблице [3].

Оценка коррозионного износа МСП-4

Наименование измеряемого параметра	Зона/глубина		
	Стойки МСП 1420x15,7мм		
	Подводная	Переменного смачивания	Атмосферная
Проектная толщина,мм	15,7	15,7	15,7
Минимальное замеренное значение,мм	13,3	12,87	13,1
Среднее замеренное значение,мм	14,31	13,81	14,6
Максимальное замеренное значение,мм	15,4	14,75	15,4
Количество замеров	90	70	68
Средний износ, %	8,8	12	7
Вертикальные раскосы подводной части 530x12мм:			
	Глубина 45 м	Глубина 35 м	Глубина 10 м
Проектная толщина,мм	12	12	12
Минимальное замеренное значение,мм	11,04	11,04	10,2
Среднее замеренное значение,мм	11,28	11,4	10,56
Максимальное замеренное значение,мм	11,6	11,5	11,3
Количество замеров	65	68	74
Средний износ, %	6	5	12
Элементы диафрагм подводной части 478x11мм:			
	Глубина 40,5 м	Глубина 6 м	-
Проектная толщина,мм	11	11	-
Минимальное замеренное значение,мм	9,57	8,58	-
Среднее замеренное значение,мм	10,12	9,68	-
Максимальное замеренное значение,мм	10,6	10,4	-
Количество замеров	45	75	-
Средний износ, %	8	12	-

Из результатов приведенных в таблице следует, что наибольший коррозионный износ конструктивных элементов МСП, равный приблизительно 12% от начальной толщины стенки, достигается в зоне переменного смачивания. В подводной зоне коррозионный износ более низкий и колеблется в диапазоне 5-8,8% (в зависимости от подводных течений). В атмосферной зоне коррозионный износ в среднем составляет 7% [3]. Анализ большего количества статистического материала диагностики МСП, расположенных на различных месторождениях Черного моря показал, что средний коррозионный износ верхних поясов ферм платформы, например МСП-4, находящейся в эксплуатации более 30 лет, составляет 10,8%, нижних поясов – 14,6%, раскосов – 10% и стоек 9%. На платформе МСП-5, находящейся в эксплуатации более 20 лет и установленной в том же районе, коррозионный износ элементов верхних строений более высокий, чем в упомянутой выше платформы, и говорит о том, что интенсивность коррозионного поражения зависит от множества факторов [3]. Средняя скорость коррозии элементов верхних строений, находится в пределах 0,04-0,13 мм/год. Оценивая степень поражения металлоконструкций производственных опорных блоков МСП необходимо отметить, что все элементы платформ затронуты коррозией, однако интенсивность коррозионного процесса во

многим зависит от мест расположения элементов, их конструктивных особенностей и качества изготовления. Однако для всех МСП можно отметить одну очень важную тенденцию: фактическое состояние металлоконструкций надводных частей производственных блоков в зоне переменного смачивания характеризуется наибольшим коррозионным износом. Средний износ элементов в этой зоне составляет от 25 до 40%. Максимальный износ отдельных элементов достигает 75-85%. В настоящее время исследования специфика коррозионного воздействия продолжают. По соглашению между авторами все права на защиту диссертации по материалам данной статьи принадлежат Староконь И.В.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бородавкин П.П. Морские нефтегазовые сооружения: учебник для вузов. Часть 1. Конструирование. – М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2006. – 555 с.
2. Колгушкин А.В., Беляев Н.Д. Влияние природных факторов на скорость коррозии морских ГТС // Предотвращение аварий зданий и сооружений-2009. – Режим доступа: URL: <http://www.pamag.ru/src/pressa/137.pdf>
3. Староконь И.В. О влиянии коррозионного воздействия на развитие усталостных трещин на морских нефтегазовых сооружениях (МНГС) // «Фундаментальные исследования» № 11 (часть 5). – 2012. – С. 1214-1220.
4. Цыкало В.В. Состояние причального фронта морских портов России // Наука и техника транспорта, 2005. – № 2. М., – С. 63-70.
5. СНиП 33-01-2003. Гидротехнические сооружения. Основные положения. – М.: Госстрой России, 2004.