

УДК 622.276.04

ИССЛЕДОВАНИЕ КОРРОЗИОННЫХ ПРОЦЕССОВ ОПОРНЫХ БЛОКОВ МОРСКИХ СТАЦИОНАРНЫХ ПЛАТФОРМ В УСЛОВИЯХ ЧЕРНОГО МОРЯ

¹Староконь И.В., ²Ивненко Ю.В.¹*Российский государственный университет нефти и газа им. И.М. Губкина,
Москва, e-mail: starokon79@mail.ru;*²*ЗАО НИЦ «Горный Эксперт», Москва, e-mail: yuraivnen@mail.ru*

В статье рассматриваются особенности коррозионных процессов опорных блоков морских стационарных платформ (ОБ МСП), расположенных на месторождениях Черного моря. Авторами проводится анализ факторов, влияющих на коррозионные процессы в условиях морского месторождения. Кратко объясняется механизм влияния каждого из этих факторов на коррозионные процессы. Отмечается, что помимо традиционно учитываемых факторов следует учитывать также качество работы системы электрохимической защиты от коррозии, состояние защитных покрытий, морское обрастание и наличие механических повреждений. В статье проводится анализ коррозионных поражений опорного блока и отмечается влияние этих дефектов на напряженное состояние элементов ОБ МСП. Приводится сравнительный анализ природно-климатических условий на различных месторождениях Черного моря. Основываясь на данных, приведенных в отчетах о технической диагностики опорных блоков, расположенных на Голицынском, Стрелковском и Штормовом месторождениях, авторы вычислили скорости коррозии для элементов опорного блока в зависимости от их местоположения в подводной, периодического смачивания или надводной зонах.

Ключевые слова: коррозионный процесс, опорный блок, морские стационарные платформы, скорость коррозии, морские месторождения, Черное море

THE RESEARCHING OF CORROSION PROCESSES FOR OFFSHORE PLATFORMS IN THE CONDITION OF BLACK SEA

¹Starokon I.V., ²Ivnenko Y.V.¹*Russian State oil and gas university named after I.M. Gubkin, Moscow, e-mail: starokon79@mail.ru;*²*ZAO «Mountain Expert», Moscow, e-mail: yuraivnen@mail.ru*

The article discusses the features of corrosion processes of fixed offshore platforms (MSP), located within the deposits of the Black sea. The authors analyze the factors influencing corrosion processes in the marine environment field. Briefly explain the mechanism of influence of each of these factors on the corrosion processes. It is noted that in addition to the traditionally considered factors should be taken into account also the quality of work of cathodic protection system against corrosion, the condition of protective coatings, marine fouling and mechanical damage. In the article the analysis of corrosion damages of the support block, and noted the impact of these defects on the stress state of the elements of the SMEs. Based on the data provided in the reports on technical diagnostics support blocks located on Golitsyn, Strelkovsky and Storm deposits, the authors have calculated corrosion rates for elements of the support block, depending on their location in a submarine, periodic wetting or surface areas.

Keywords: corrosion process, base plate, fixed offshore platforms, corrosion, offshore, Black sea

В настоящее время добыча нефти и газа на морских месторождениях производится при помощи морских стационарных платформ. Агрессивная морская среда, в которой эксплуатируются эти платформы, приводит к коррозии металла. Коррозия, уменьшая площадь поперечного сечения и величину момента сопротивления элемента при изгибе, вызывает перенапряжение элементов ОБ МСП и ухудшает сопротивляемость конструкции разрушению. Помимо этого, коррозионное поражение поверхности элементов платформ в виде каверн вызывает значительную концентрацию напряжений в элементах, а в некоторых случаях значения напряжения могут превышать максимально допустимый предел. Кроме того, коррозионные поражения способ-

ствуют возникновению и развитию таких опасных дефектов, как усталостные трещины [5, 6]. В последнее время наша страна получила доступ к месторождениям нефти и газа, расположенным на шельфе Черного моря. В связи с этим исследование коррозионных процессов опорных блоков морских стационарных платформ для черноморских месторождений является актуальной и своевременной задачей. Кратко опишем факторы, влияющие на коррозионные процессы в условиях морских месторождений. Одним из таких факторов является температура. Детально вопрос о тепловом состоянии элементов МСП был рассмотрен в работе [3]. С увеличением температуры скорость электрохимической коррозии увеличивается, что обусловлено возникновением

термогальванических пар из-за разности температуры отдельных участков одного и того же конструктивного элемента МСП [2]. Нагретый под воздействием солнечной радиации до более высокой температуры надводный участок конструктивного элемента МСП является анодом и подвергается более интенсивному коррозионному износу в отличие от подводной зоны с малыми температурными перепадами конструктивных элементов [2, 3–5]. Значительное влияние на скорость коррозии оказывает растворенная в морской воде соль, которая превращает морскую воду в электролит с высокой степенью электропроводности [2]. По мнению профессора П.П. Бородавкина [1], значительное влияние на коррозионные процессы МСП оказывают морские течения [1, 2], которые постоянно доставляют новые коррозионно-активные элементы (например, насыщенную солью воду), еще не вступившие в реакцию, к уже пораженным коррозией участкам конструктивных элементов МСП, тем самым многократно увеличивая коррозионные процессы. Следует также отметить, что коррозионные поражения опорного блока начинаются в результате нарушения работы систем защиты от коррозии [1]. Как показал анализ отчетов диагностических обследований морских платформ, расположенных на Черном море, коррозионные процессы наиболее интенсивно протекают в зонах с поврежденным лакокрасочным покрытием (или с другим изоляционным материалом). 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 МСП, фактор сезонности, концентрация растворенного в воде кислорода, температура воздуха и воды, влажность воздуха, конструктивная форма сварных соединений и элементов, время работы, характер нагрузки элементов, наличие в воде бактерий, количество осадков и их распределение за данный промежуток времени и другие факторы [1, 2, 4, 5]. Помимо этого, авторы хотели бы подчеркнуть тот факт, что наличие механических повреждений в конструктивных элементах опорного блока, таких как вмятины или задиры, значительно ускоряет коррозионные процессы. Немаловажным является фактор морского обрастания, который играет решающую роль для элементов, расположенных в подводной зоне. Обрастание конструкций организмами, имеющими твердую оболочку,

замедляет коррозию, ограничивая доступ кислорода к металлу. Авторами было исследованы демонтированные элементы платформы, располагавшиеся в подводной зоне и имевшие слой морского обрастания приблизительно 30 см. В результате исследования было установлено, что поверхность элементов практически полностью сохранила защитный слой лакокрасочного покрытия, а скорость коррозии, рассчитанная как разница между проектной и фактической толщиной за время эксплуатации, составила приблизительно 0,01 мм/год.



Рис. 1. Сквозная коррозия элементов ОБ МСП



Рис. 2. Трещины коррозионной усталости элементов ОБ МСП

Опыт обследования металлоконструкций МСП показывает, что встречаются разные виды коррозионного поражения. Это может быть как сквозная коррозия (рис. 1), так и питтинговая коррозия, коррозионное растрескивание, язвенная и др. Если оценивать влияние сплошной поверхностной коррозии, то она приводит к равномерному утонению толщины стенок труб с равномерным снижением общей несущей способности, т.к. изменяются такие важные характеристики, определяющие напряженное состояние элементов платформы, как площадь поперечного сечения, момент сопротивления при изгибе и кручении. Безусловно, такое изменение характеристик элементов негативно влияет на безопасную эксплуатацию платформы, однако существенно

более опасными являются язвенные или точечные коррозионные поражения, трещины коррозионной усталости (рис. 2), которые распространяются от поверхности вглубь основного металла с малыми радиусами закругления на конце дефекта. Такие поражения резко изменяют форму поверхности конструктивного элемента МСП, приводя к изменению общей картины напряженного состояния, и становятся потенциально перенапряженными элементами, которые в механике разрушения получили название концентраторы напряжений. Напряженное состояние в этом случае описывается с помощью коэффициентов концентрации напряжений K , которые определяют истинное напряженное состояние на участке с коррозионным дефектом 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 закругления на конце каверны. Для того чтобы установить историю изменения напряженного состояния МСП, требуется установить, с какой скоростью развивался коррозионный дефект, а именно установить скорость коррозии. Сотрудниками 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 1,3 мм/год. На практике МСП защищаются от коррозии различными методами. Такая защита осуществляется как с помощью специальных антикоррозионных защитных покрытий, так и с помощью размещения протекторов или применения других методов электрохимзащиты от коррозии. Применение этих методов существенно снижает скорость коррозии. Так, в «Правилах строительства и эксплуатации ПБУ/МСП» приводятся данные о скоростях коррозии для элементов опорного блока в зависимости от пространственного местоположения конструктивного элемента, условий примыкания к нему других элементов и других факторов. Отметим, что максимальная скорость коррозии для элементов опорных блоков морских стационарных платформ, равная 0,18 мм/год, характерна для раскосов. А для колонн, расположенных в зоне переменного смачивания, скорость коррозии составляет 0,16 мм/год. Основываясь на данных обследований платформ на шельфе Черного моря,

авторы зафиксировали большие скорости коррозии для элементов, находящихся в зонах переменного смачивания. Для лучшего понимания коррозионных процессов в условиях Черного моря кратко опишем и дадим сравнение природно-климатических условий основных месторождений, расположенных на шельфе Черного моря. «Голицынское» газоконденсатное месторождение (ГКМ) расположено в мелководной части северо-западного района Черного моря. Глубины моря от 29 до 45 м. Рельеф дна ровный с уклоном 2 м/км. По климатическим особенностям северо-западная часть Черного моря относится к умеренно-континентальной зоне, которая характеризуется мягкой влажной зимой и теплым летом. Средняя температура января от плюс 2,6 до плюс 3°C, летом температура поднимается до плюс 32°C. В январе-феврале температура воздуха может в течение нескольких дней понижаться до минус 5 – минус 10°C. Зимой верхний слой воды в северо-западной части Черного моря охлаждается до плюс 3 – минус 0,5°C. В летний сезон вода прогревается до плюс 22 – плюс 23°C. За год выпадает около 300 мм осадков, максимальная часть их приходится на первую половину лета. Участку дна Голицынского ГКМ соответствует зона действия северной ветви постоянного течения, движущегося с юго-востока на северо-запад. Скорости течений в данном районе невелики – около 15–30 см/с. При сильных ветрах могут возникать местные дрейфовые течения, вызванные нагоном, скорость которых в отдельных случаях может достигать 100 см/с. С глубиной моря скорости течения быстро затухают. Основным фактором, вызывающим волнение моря, является периодически дующий ветер. На погоду с волнением моря более двух баллов ежемесячно выпадает от 18 до 20 дней. Штормовые ветры наблюдаются в основном осенью и зимой. Сила ветров редко достигает 4–5 баллов. В районе установки платформы наблюдаются волны высотой до 3 м. В штормовую погоду они могут достигать 8 м, а в период ураганов – до 12 м (повторяемость от 30 до 50 лет). Расчетное значение скорости ветра принято 56 м/с. Высота волн 1% обеспеченности принята равной 12,5 м. Соленость воды верхнего слоя моря подвержена сезонной изменчивости. Зимой соленость на поверхности увеличивается до 18,15%. Летом в северо-западной части моря наблюдается значительное опреснение. Соленость снижается до 14%. Сезонные колебания уровня моря создаются соотношением между приходными и расходными составляющими водного баланса. Наиболее низкий уровень

отмечается зимой. Весной уровень в связи с увеличением речного стока повышается быстрее и в июне достигает максимума. Амплитуда годового хода уровня составляет от 20 до 25 см. Детальное описание природно-климатических условий месторождений

Черного моря содержится в диссертационном исследовании Ю.В. Ивненко. В настоящей же статье приведем краткую сравнительную характеристику природно-климатических условий для Голицынского, Стрелкового и Штормового месторождений (табл. 1).

Таблица 1

Сравнительная характеристика природно-климатических условий нефтегазовых месторождений Черного моря

Параметр	Голицынское	Стрелковое	Штормовое
Подводная часть			
Разница температур воды (сезонная)	23 °С	22 °С	20 °С
Скорость течения (max)	100 см/с	30 см/с	80 см/с
Скорость течения (min)	15 см/с	15 см/с	15 см/с
Волнение	12 м	2 м	8 м
Соленость	18,15 ‰	13 ‰	18,15 ‰
Переменного смачивания			
Разница температур воздуха (суточная)	42 °С	65 °С	40 °С
Скорость течения (max)	100 см/с	30 см/с	80 см/с
Скорость течения (min)	15 см/с	15 см/с	15 см/с
Волнение	12 м	2 м	8 м
Соленость	18,15 ‰	13 ‰	18,15 ‰
Влажность воздуха	80 %	80 %	80 %
Надводная часть			
Разница температур воздуха (суточная)	42 °С	65 °С	40 °С
Влажность воздуха	80 %	80 %	80 %
Скорость течения (max)	100 см/с	30 см/с	80 см/с

Таблица 2

Скорости коррозии для различных групп конструктивных элементов МСП с учетом их пространственного месторасположения

Наименование элементов	Зоны	Месторождение		
		Голицынское	Стрелковое	Штормовое
		Скорость коррозии элементов, вычисленная по результатам диагностических обследований, мм/год		
Колонны	Подводная	0,0331	0,0641	0,0104
	Переменного смачивания	0,2468	0,0050	0,2993
	Надводная	0,1029	0,0467	0,004
Раскосы	Подводная	0,1053	0,0196	0,0401
	Переменного смачивания	0,0532	0,1186	0,0289
	Надводная	0,0103	0,0182	0,0024
Диафрагмы	Подводная	0,0654	0,0066	0,0280
	Переменного смачивания	0,0150	0,0052	0,0315
	Надводная	0,0132	0,0063	0,0175

Систематизация данных факторов позволит в дальнейшем составить систему уравнений, при помощи которых становится возможным рассчитать удельный вес каждого из факторов в коррозионном процессе. Получение значений удельного веса каждого из коррозионных факторов позволит предсказать интенсивность коррозионных процессов на перспективных месторождениях нефти и газа, расположенных в Черном море. В настоящее время авторы продолжают исследования в этом направлении. Подготовлены экспериментальные установки, на которых будет изучаться влияние различных коррозионных факторов на элементы опорного блока МСП в условиях Черного моря. Результаты проведения эксперимента будут опубликованы позже. Авторами был обработан большой объем отчетов о технической диагностике МСП, что позволило определить скорости коррозии для различных групп конструктивных элементов МСП с учетом их пространственного месторасположения (табл. 2). Расчеты проводились по формуле

$$V_k = \frac{\delta_0 - \delta_\phi}{T},$$

где V_k – скорость коррозии (мм/год); δ_0 – исходная толщина (мм); δ_ϕ – фактическая толщина (мм); T – время эксплуатации (в годах).

Отметим, что имеющиеся у авторов данные убедительно доказывают что скорость коррозии 0,2993 мм/год для колонн, расположенных в зоне переменного смачивания, в 1,89 раза больше, чем указанная в «Правилах строительства и эксплуатации ПБУ/МСП» 0,16 мм/год. В настоящее время исследования продолжают.

Список литературы

1. Бородавкин П.П. Морские нефтегазовые сооружения: учебник для вузов. Ч. 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. – URL: <http://www.pamag.ru/src/prensa/137.pdf>.

3. Староконь И.В. Исследование влияния окружающей среды на тепловое состояние конструктивных элементов опорных блоков морских стационарных платформ // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 5.

4. Староконь И.В., Фролова Н.В., Романенко О.А., Болбот Н.В. Коррозионные процессы в условиях морских нефтегазовых месторождений и их влияние на усталостное трещинообразование // Современные наукоемкие технологии. – 2013. – № 5. – С. 81–84.

5. Староконь И.В. О влиянии коррозионного воздействия на развитие усталостных трещин на морских нефтегазовых сооружениях (МНГС) // Фундаментальные исследования. – 2012. – № 11–5. – С. 1214–1219.

6. Староконь И.В. основы теории и практики образования усталостных трещин на морских нефтегазовых сооружениях // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 4; URL: www.science-education.ru/104-6605.

References

1. Borodavkin P.P. Morskije neftegazovye sooruzeniya: uchebnik dlya vuzov. CHast 1. Konstruirovaniye. M.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2006. 555 p.
2. Kolgushkin A.V., Belyaev N.D. Vliyanie prirodnykh faktorov na skorost korrozii morskikh GTS // Predotvrascheniye aviariy zdaniy i sooruzeniy. 2009. URL: <http://www.pamag.ru/src/prensa/137.pdf>.
3. Starokon I.V. Issledovanie vliyaniya okrujayushey sredy na teplovoe sostoyaniye konstruktivnykh elementov opornykh blokov morskikh stacionarnykh platform // Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya. 2014. no. 5.
4. Starokon I.V., Frolova N.V., Romanenko O.A., Bolbot N.V. Korroziionnyye protsessy v usloviyah morskikh neftegazovykh mestorojdeniy i ih vliyanie na ustalostnoye treschinoobrazovanie // Sovremennyye naukoemkie tehnologii. 2013. no. 5. pp. 81–84.
5. Starokon I.V. O vliyaniy korroziionnogo vozdeystviya na razvitie ustalostnykh treschin na morskikh neftegazovykh sooruzheniyah (MNGS) // Fundamentalnyye issledovaniya. 2012. no. 11–5. pp. 1214–1219.
6. Starokon I.V. osnovy teorii i praktiki obrazovaniya ustalostnykh treschin na morskikh neftegazovykh sooruzheniyah // Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya. 2012. no. 4; URL: www.science-education.ru/104-6605.

Рецензенты:

Бородавкин П.П., д.т.н., профессор, генеральный директор АО «Интергаз», г. Москва;
Литвин И.Е., д.т.н., генеральный директор ООО «СТД», г. Москва.