УДК 622.276.04

О ВЛИЯНИИ КОРРОЗИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА РАЗВИТИЕ УСТАЛОСТНЫХ ТРЕЩИН НА МОРСКИХ НЕФТЕГАЗОВЫХ СООРУЖЕНИЯХ (МНГС)

Староконь И.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. Кратко описываются причины возникновения коррозионных дефектов. В связи с тем, что решение задачи определения условий зарождения и развития усталостных трещин лежит в области определения действующих величин переменных напряжений, автором предлагается подход, при котором коррозионые дефекты следует рассматривать как концетраторы напряжений, влияющих на напряженное состояние МНГС и характеризуемых величиной коэффициента концетрации напряжений (*K*). На основе проведенных исследований автором предлагается используемый в ВРД 39-1.10-004-99 подход, позволяющий численно определить величины *K*. Опираясь на статистику, полученную в результате проведения диагностических обследований МСП, автором проведен анализ коррозионного износа в атмосферной, подводной и переменного смачивания зонах, что позволило определить, что наиболее интенсивно коррозионный износ идет в зоне переменного смачивания и дать характеристику коррозионным дефектам. Используя полученные автором данные, был проведен численный расчет величин коэффициентов концетрации напряжений при различных параметрах коррозионных дефектов.

Ключевые слова: усталостные трещины, морские нефтегазовые сооружения, коррозионное воздействие, переменные напряжения, коэффициент концетрации напряжений

ABOUT IMPACT OF CORROSION ON THE PROGRESS OF FATIGUE CRACKS IN THE OFFSHORE OIL AND GAS INSTALLATIONS

Starokon I.V.

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

The article considers the specificity of the corrosion processes in the offshore oil and gas installations. The paper briefly describes the causes of corrosion defects. In connection with the fact that the solution of the problem of determination of the conditions of the origin and development of fatigue cracks lies in the determination of the effective values of the variables stresses the author of the proposed approach, in which corrosion defects should be considered as concetration stresses affecting the stress state of the offshore structure and characterized by the value of the coefficient concetration stress (K). On the basis of conducted studies, the author proposes used in the VRD 39-1.10-004-99 the approach, which allows to quantify the value K. Based on the statistics collected as a result of diagnostic surveys of offshore structure, the author of the analysis of corrosion in atmospheric, underwater and changing wetting zones, which allowed to specify, that the most intensive corrosion wear is in the zone of changing wetting and to give the characteristic to the corrosion defects. Using the data obtained by the author was held numerical calculation of values of the coefficients declared stresses at different parameters of corrosion defects.

Keywords: fatigue cracks, offshore oil and gas structures, corrosion effects, variable stress, coefficient concetration stress

Агрессивная морская водная среда, характерная для условий эксплуатации МНГС, вызывает коррозию металла. При наличии напряжений, вызванных различными нагрузками, коррозионное воздействие приводит к образованию и развитию трещин на МНГС, способных привести к разрушению либо течи с последующим затоплением всего сооружения. В настоящей статье речь пойдет о коррозионной усталости МНГС и влиянии этого явления на перераспределение напряжений в конструктивных элементах МНГС. Проблемой усталостного разрушения МНГС занимались как отечественные, так и зарубежные авторы. Детальный анализ приведен в работах [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7]. Коррозия в условиях морского месторождения имеет свои специфические особенности и зависит от разных факторов. С увеличением **температуры** скорость электрохимической коррозии увеличивается, что обусловлено возникновением термогальванических пар из-за разности температуры отдельных участков одного и того же конструктивного элемента МНГС [4]. Нагретый под воздействием солнечной радиации до более высокой температуры надводный участок конструктивного элемента МНГС является анодом и подвергается более интенсивному коррозионному износу в отличие от подводной зоны с малыми температурными перепадами конструктивных элементов [4]. Значительное влияние на скорость коррозии оказывает растворенная в морской воде **соль**, которая превращает морскую воду в электролит с высокой степенью электропроводности [4]. По мнению профессора Бородавкина П.П., значительное влияние на коррозионные процессы МНГС оказывают морские

течения [1], которые, постоянно доставляют новые коррозионно-активные элементы (например, насыщенную солью воду), еще не вступившие в реакцию, к уже пораженным коррозией участкам конструктивных элементов МНГС, тем самым многократно увеличивая 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 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 МНГС, фактор сезонности, температура воздуха и воды, влажность воздуха, конструктивная форма сварных соединений и элементов, время работы, характер нагрузки элементов и другие факторы [1,4,5, 6, 7]. К настоящему моменту разработаны различные теории коррозии под напряжением. Однако в рассматриваемом нами процессе исследования коррозионного воздействия на напряженное состояние МНГС автором предлагается обратиться к классической теории механики разрушения. Совершенно очевидно, что существенное воздействие на изменение напряженного 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 **концетраторы напряжений**. Эти элементы характеризуются коэффициентами концетрации напряжений K, которые определяют истинное напряженное состояние на участке с КД путем умножения значения K на величину номинальных напряжений. Значение величины концетрации 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 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 1,3 мм/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, направленная в перпендикулярном направлении к оси трубы, что позволяет определить вертикальную скорость коррозии или параметр скорости увеличения глубины коррозионного дефекта. Рассмотрим МСП-4, установленный на Голицынском месторождении. Общая высота опорного блока составляет 60 м, блок имеет 4 опорные стойки, выполненные из труб 1420×15,7 мм. По высоте конструкция опорного блока перебита 5 горизонтальными диафрагмами 478×11 мм. Вертикальные раскосы выполнены из труб 530×12 мм. Результаты обследования были обработаны автором и сведены в табл. 1.

Из результатов, приведенных в табл. 1, 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 %. 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 у упомянутой выше платформы, и говорит о том, что интенсивность коррозионного поражения зависит от множества факторов. 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 многом 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 %. Рассмотрим теоретические основы процесса трещинообразования МНГС при коррозионном воздействии.

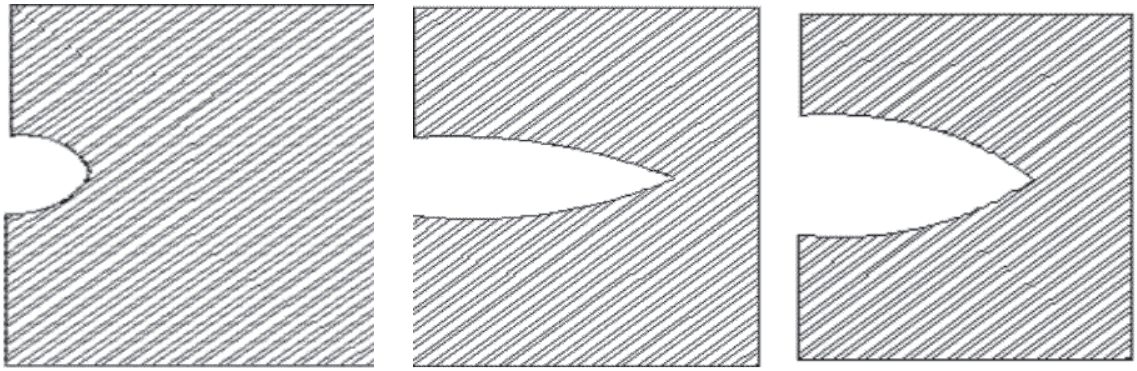
Таблица 1

Оценка коррозионного износа МСП-4

Наименование измеряемого параметра	Зона/глубина		
Стойки МСП 1420×15,7 мм			
	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 530×12 мм:			
	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 478×11 мм:			
	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**	**-**

Реальный процесс образования коррозионных каверн характеризуется постоянным изменением их геометрических параметров, и, что самое важное, изменением радиуса на фронте трещины. Кратко процесс развития коррозионного дефекта можно описать так [2]: обнажение металла и возникновение локального углубления (рис. 1, а); реппасивация с образованием оксидной пленки, препятствующей развитию коррозионного дефекта (рис. 1, б); разрушение оксидных пленок и продвижение дефекта (рис. 1,*в*). Дефект не развивается, если обобщенная сила развития дефекта (G) менее обобщенной силы сопротивления (Г), что соответствует инкубационной стадии или стадии остановки вследствие снижения уровня напряжений, встречи фронта КД с более прочным материалом, с оксидной пленкой и т.д. Малые КД растут устойчиво

при условии равенства обобщенной силы развития дефекта и обобщенной силы сопротивления [2]. Скачкообразный же рост КД происходит при условии превышения величины обобщенной силы развития дефекта над величиной обобщенной силы сопротивления. Наиболее типично скачкообразное развитие коррозионного дефекта с последовательным изменением соотношений между величинами G и Г [2].



а б в

Рис. 1. Развитие коррозионного дефекта:
а – образование локального углубления; б – реппасивация; в – продвижение дефекта

В реальности вся поверхность пораженного коррозией конструктивного элемента МНГС имеет порядка 500–600 и даже более язвенных КД со сложной пространственной формой, что делает крайне затруднительным процесс вычислений. В этой связи возникает проблема оценки их совместного действия на напряженное состояние МНГС, т.е. возникает задача схематизации дефекта. Решением этой задачи занимались многие авторы, однако наиболее полное и апробированное на практике решение было предложено в [3], что делает его возможным для решения задачи исследования влияния КД на напряженное состояние МНГС. Суть этого решения заключалась в следующем. Вся поверхность исследуемого конструктивного элемента МНГС разбивается на многочисленные участки с язвенными КД, выделяемыми на фоне общей поверхностной коррозии. Далее предлагается провести анализ одиночного КД на конструктивном элементе МНГС цилиндрической формы с наружным диаметром $D_{\text{Н}}$ и толщиной стенки трубы δ (рис. 2), рассматривая его как углубление высотой *H,* длиной *L* вдоль оси трубы, угловым размером Θ. С целью сокращения числа исследуемых КД следует изучить возможность их схематизации, рассматривая два КД, расположенных близко друг от друга как одиночный дефект большего размера [3]. Для того чтобы оценить возможность осуществления подобной схематизации, следует учитывать такой параметр, как величина линии влияния, т.е. взаимовлияние этих дефектов на их напряженно-деформированные состояние. Рассмотрим КД-1, имеющий размеры L_1, W_1 и КД-2, имеющий размеры L_2, W_2.(рис. 3). Расстояние $E_{\text{ВЛ}}$, на котором эти дефекты начнут влиять друг на друга, определяется из условия

$$E_{\text{ВЛ}} = 0{,}5\max\left[\min\left(L_1, W_1\right), \min\left(L_2, W_2\right), 5\delta\right]. \quad (1)$$

Если расстояние *E* между дефектами не превышает $E_{\text{ВЛ}}$, то возможно дефекты рассматривать как одиночный дефект с размерами *H*, *L* и *W* в продольном и окружном направлениях. Глубина *H* объединенного дефекта принимается равной наибольшей из H_1, H_2:$H = \max(H_1, H_2)$. Таким же образом исследуются близкорасположенные дефекты, последовательно рассмотренные парами.

Распределение напряжений на участке трубы с КД оказывается весьма сложным и зависящим от многих параметров (диаметр трубы, толщина стенки, размеры дефекта, кольцевые и продольные номинальные напряжения). Авторами документа [3] проведен конечно-элементный анализ, что позволило им получить следующие зависимости:

$$K_z = \frac{1+\eta\alpha_0}{2\eta} + \frac{1-\eta\alpha_0}{2\eta}\,\text{th}\left[\frac{\sqrt{3}}{2}\left(\frac{L}{\sqrt{R(\delta - H)}} + \eta\pi - \pi\right)\right]; \quad (2)$$

$$K_{\theta} = \frac{\pi\eta + 2(1-\eta)\sin\frac{\Theta}{2}}{\eta\left[\pi - \frac{\Theta}{2}(1-\eta)\right]} + \frac{(\alpha_0 - 1)\left(\pi - \frac{\Theta}{2}\right)}{\pi}, \quad (3)$$

где K_z и K_θ – коэффициенты концентрации напряжений в продольном и кольцевом направлениях; R-радиус конструктивного элемента МНГС; δ – толщина стенки конструктивного элемента МНГС; L, Θ, H– длина в продольном направлении, угловой размер в кольцевом направлении и глубина дефекта; а значения η и α_0 определяются из соотношений:

$$\eta = \frac{\delta - H}{\delta}; \quad (4)$$

$$\alpha_0 = 3 - 2^{\frac{3\eta - 1}{2\eta}}. \quad (5)$$

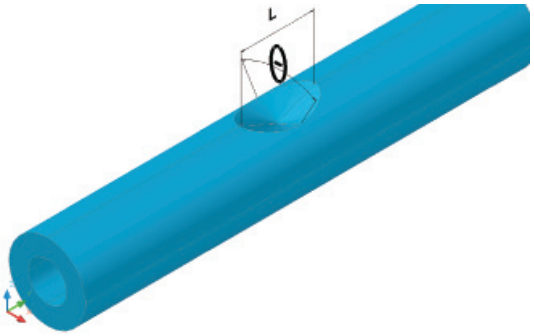


Рис. 2. Коррозионный дефект конструктивного элемента МНГС

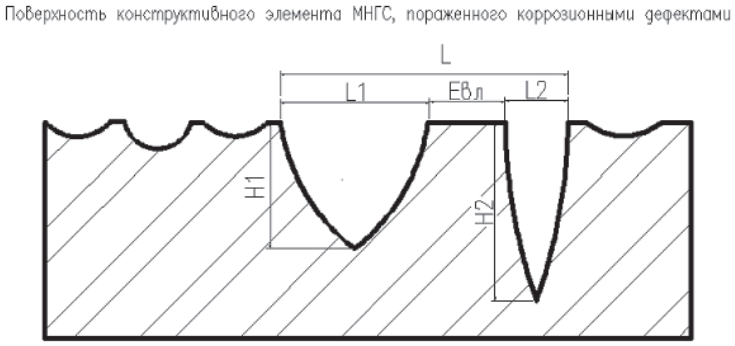


Рис. 3. Схематизация двух коррозионных дефектов конструктивного элемента МНГС.

Исходя из приведенных выше соображений, рассчитаем коэффициенты концентрации напряжений для типовых конструктивных элементов МНГС при различных соотношениях толщины стенки и глубины дефекта, а также угловых размерах КД. Подробные результаты расчетов величины *К, с* шагом по длине коррозионного дефекта равного минимальной скорости коррозии 0,04 мм приведены в диссертационной работе Староконь И.В. Сокращенные результаты приведены в табл. 2.

Выводы

а) интенсивность коррозионного процесса во многом зависит от мест расположения элементов, их конструктивных особенностей и качества изготовления. Установлено, что коррозионные процессы МНГС, наиболее интенсивно идут в зонах переменного смачивания;

б) доказано, что коррозионные процессы влияют на напряженное состояние МНГС и предложен способ численной оценки этого влияния;

в) рассчитаны величины коэффициентов концентрации напряжений для типовых конструктивных элементов МНГС;

г) установлено, что концентрация напряжений на участке конструктивного элемента МНГС с КД зависит диаметра трубы, толщины стенки, углового размера дефекта и его протяженности;

д) расчеты показали, что величина концентрации напряжений увеличивается с увеличением глубины КД и понижается с увеличением углового размера КД и его линейной длины.

Список литературы

1. Бородавкин П.П. Морские нефтегазовые сооружения: учебник для вузов. Часть 1. Конструирование. – М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2006. – 555 с.

2. Болотин В.В. Ресурс машин и конструкций. – М.: Машиностроение, 1990. – 448 с.

3. Методические рекомендации по количественной оценке состояния магистральных газопроводов с коррозионными дефектами, их ранжирования по степени опасности и определению остаточного ресурса: ВРД 39-1.10-004-99. – М.: ОАО Газпром, 2000. – 49 с.

4. 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/pressa/137.pdf.

Таблица 2

Значения коэффициентов концентрации напряжений типовых конструктивных элементов МСП при различных параметрах коррозионных дефектов

Глубина коррозионного дефекта H, мм	Длина коррозионного дефекта L, мм											Угловой размер коррозионного дефекта Ω, градусы						
	1	5	10	15	20	25	30	35	40	50	60	1	5	10	20	45	135	160
1. Для конструктивного элемента диаметром 478мм и толщиной стенки 11 мм																		
0,04	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,00	1,00	1,00	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01
0,52	1,11	1,10	1,10	1,09	1,09	1,09	1,08	1,07	1,07	1,05	1,03	1,17	1,17	1,12	1,13	1,12	1,08	1,07
1	1,21	1,20	1,19	1,19	1,18	1,17	1,16	1,15	1,14	1,12	1,09	1,31	1,31	1,21	1,23	1,22	1,14	1,13
1,52	1,32	1,31	1,30	1,29	1,28	1,27	1,26	1,25	1,23	1,21	1,18	1,44	1,45	1,29	1,32	1,31	1,19	1,18
2	1,42	1,41	1,40	1,38	1,37	1,36	1,35	1,33	1,32	1,29	1,26	1,56	1,57	1,34	1,39	1,38	1,23	1,21
2,52	1,54	1,52	1,50	1,49	1,47	1,46	1,45	1,43	1,42	1,39	1,36	1,67	1,69	1,39	1,46	1,44	1,25	1,23
3	1,64	1,62	1,60	1,58	1,56	1,55	1,53	1,52	1,51	1,48	1,45	1,77	1,79	1,41	1,50	1,49	1,26	1,23
2. Для конструктивного элемента диаметром 530мм и толщиной стенки 12 мм																		
0,04	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,00	1,00	1,00	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01
0,52	1,10	1,10	1,09	1,09	1,08	1,08	1,08	1,07	1,07	1,06	1,04	1,15	1,16	1,11	1,12	1,11	1,14	1,08
1	1,19	1,19	1,18	1,17	1,17	1,16	1,15	1,14	1,14	1,12	1,10	1,28	1,29	1,20	1,22	1,21	1,26	1,13
1,52	1,29	1,29	1,28	1,27	1,26	1,25	1,24	1,23	1,22	1,20	1,17	1,41	1,42	1,27	1,30	1,29	1,39	1,18
2	1,39	1,38	1,37	1,36	1,34	1,33	1,32	1,31	1,30	1,28	1,25	1,52	1,53	1,33	1,37	1,36	1,50	1,22
2,52	1,49	1,48	1,46	1,45	1,44	1,42	1,41	1,40	1,39	1,36	1,34	1,63	1,64	1,37	1,43	1,42	1,62	1,24
3	1,58	1,57	1,55	1,54	1,52	1,51	1,50	1,48	1,47	1,45	1,42	1,72	1,74	1,40	1,48	1,46	1,25	1,23
3. Для конструктивного элемента диаметром 1420мм и толщиной стенки 15,7 мм																		
0,04	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,00
0,52	1,07	1,07	1,07	1,07	1,07	1,07	1,07	1,06	1,06	1,06	1,06	1,12	1,12	1,09	1,09	1,09	1,11	1,06
1	1,15	1,14	1,14	1,14	1,13	1,13	1,13	1,13	1,12	1,12	1,11	1,22	1,23	1,16	1,17	1,16	1,20	1,11
1,52	1,22	1,22	1,22	1,21	1,21	1,20	1,20	1,20	1,19	1,18	1,18	1,32	1,33	1,22	1,24	1,23	1,30	1,15
2	1,30	1,29	1,29	1,28	1,28	1,27	1,27	1,26	1,26	1,25	1,24	1,41	1,42	1,27	1,30	1,29	1,39	1,18
2,52	1,38	1,37	1,36	1,36	1,35	1,35	1,34	1,33	1,33	1,32	1,31	1,50	1,51	1,32	1,36	1,35	1,48	1,21
3	1,45	1,44	1,43	1,43	1,42	1,41	1,41	1,40	1,39	1,38	1,37	1,58	1,59	1,35	1,41	1,39	1,57	1,23
3,52	1,53	1,52	1,51	1,50	1,49	1,49	1,48	1,47	1,46	1,45	1,44	1,66	1,68	1,38	1,45	1,44	1,65	1,25
4	1,60	1,59	1,58	1,57	1,56	1,55	1,54	1,54	1,53	1,51	1,50	1,73	1,75	1,40	1,48	1,47	1,26	1,23

5. Староконь И.В. Анализ отечественной нормативной документации по безопасности эксплуатации морских нефтегазовых сооружений (МНГС) // Естественные и технические науки. – 2009. – № 6. – С. 346. – 347.

6. Староконь И.В. Анализ зарубежных норм оценки рисков морских нефтегазовых сооружений на основе изучения нормативной документации // Естественные и технические науки. –2009. – № 6. – С. 343. – 345.

7. Староконь И.В., Калинина М.В., Шишкин С.В. О влиянии коррозионного воздействия на развитие усталостных трещин н морских нефтегазовых сооружениях // Аспирант и соискатель. – 2012. – № 3. – С. 105–108.

References

1. Borodavkin P.P. Morskie neftegazovyie sooruzheniya: Uchebnik dlya vuzov. Chast 1. Konstruirovanie. – M.: OOO «Nedra-Biznestsentr», 2006. 555 p.

2. Bolotin V.V. Resurs mashin i konstruktsiy M.: Mashinostroenie, 1990. 448 p.

3. VRD 39-1.10-004-99 «Metodicheskie rekomendatsii po kolichestvennoy otsenke sostoyaniya magistralnyih gazoprovodov s korrozionnyimi defektami, ih ranzhirovaniya po stepeni opasnosti i opredeleniyu ostatochnogo resursa» M.: OAO Gazprom», 2000. 49 p.

4. Kolgushkin A.V., Belyaev N.D. Vliyanie prirodnyih faktorov na skorost korrozii morskih GTS // Predotvraschenie avariy zdaniy i sooruzheniy. 2009 URL: http://www.pamag.ru/src/pressa/137.pdf.

5. Starokon I.V. Analiz otechestvennoy normativnoy dokumentatsii po bezopasnosti ekspluatatsii morskih neftegazovyih sooruzheniy (MNGS) // Estestvennyie i tehnicheskie nauki. 2009. no.6. pp. 346–347.

6. Starokon I.V. Analiz zarubezhnyih norm otsenki riskov morskih neftegazovyih sooruzheniy na osnove izucheniya normativnoy dokumentatsii // Estestvennyie i tehnicheskie nauki. 2009. no. 6. pp. 343-345.

7. Starokon I.V., Kalinina M.V., Shishkin S.V. O vliyanii korrozionnogo vozdeystviya na razvitie ustalostnyih treschin n morskih neftegazovyih sooruzheniyah // Aspirant i soiskatel-2012 no. 3 pp. 105–108.

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.

Работа поступила в редакцию 13.11.2012.