

БЕЗОПАСНОСТЬ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА

УДК 622.242.422 622.276.04 622.279.04
DOI: 10.35108/isvp20203(33)104-107

ПРАКТИКА ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДОВ ТЕПЛОЙ ДИАГНОСТИКИ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЛОКАЛЬНЫХ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ ЭЛЕМЕНТОВ МОРСКИХ СТАЦИОНАРНЫХ ПЛАТФОРМ С КОРРОЗИОННЫМИ ДЕФЕКТАМИ

И. В. Староконь

Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина, г. Москва, Россия

На сегодняшний день в мире ведется освоение морских месторождений нефти и газа. Это освоение ведется с использованием различных гидротехнических сооружений, наиболее распространенными из которых являются морские стационарные платформы. В процессе эксплуатации морские платформы подвергаются активному коррозионному воздействию. В результате этого воздействия в элементах платформы образуются каверны, трещиноподобные дефекты и иные опасные для эксплуатации коррозионные поражения, являющиеся концентраторами напряжений и способные вызвать критическое перенапряжение элементов платформы, что может привести к авариям и инцидентам. Для предотвращения этих опасных ситуаций необходимо своевременно выявлять опасные коррозионные дефекты. На основании формул, полученных автором, приводится практическое решение задачи, позволяющие определить размеры коррозионных поражений и на основе температурных контрастов рассчитать локальное перенапряжение в элементах морской платформы.

Ключевые слова: морские стационарные платформы, коррозионные дефекты, каверны, экспериментальное исследование, неразрушающий контроль, тепловая диагностика.

THE PRACTICE OF USING THERMAL DIAGNOSTICS METHODS TO ASSESS LOCAL OVERVOLTAGE OF ELEMENTS OF FIXED OFFSHORE PLATFORMS WITH CORROSION DEFECTS

I. V. Starokon

Russian State University of Oil and Gas (National Research University) named after I.M. Gubkin, Moscow, Russia

Today, the world is developing offshore oil and gas fields. This development is carried out using various hydraulic structures, the most common of which are offshore fixed platforms. During operation, offshore platforms are exposed to active corrosive effects. As a result of this impact, caverns, crack-like defects and other corrosive lesions dangerous for operation are formed in the platform elements, which are stress concentrators and can cause critical overvoltage of the platform elements, which can lead to accidents and incidents. To prevent these dangerous situations, dangerous corrosion defects must be identified in a timely manner. On the basis of the formulas obtained by the author, a practical solution to the problem is presented, which makes it possible to determine the size of corrosion damage and, based on temperature contrasts, calculate the local overvoltage in the elements of the offshore platform.

Keywords: offshore fixed platforms, corrosion defects, caverns, experimental research, non-destructive testing, thermal diagnostics.

Введение

В РФ активно ведется освоение шельфовых месторождений нефти и газа с использованием морских стационарных платформ. Следует отметить, что добыча нефтегазовых ресурсов в целом ведется в сложных условиях, в процессе которой сооружения подвергаются различным воздействиям как со стороны окружающей среды (температурное, вибрационное и др.) [1–6], так и со стороны перекачиваемого продукта. Согласно Федеральному закону № 116 «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» морские стационарные платформы относятся к числу опасных производственных объектов. Опасные производственные объекты (ОПО) – это объекты, при эксплуатации которых имеется значительный риск возникновения аварийной ситуации. Аварии на ОПО могут привести к возникновению пожаров и чрезвычайных ситуаций, сопровождающихся значительными жертвами среди персонала платформ и существенным экологическим ущербом.

Следует отметить, что Россия обладает большим количеством морских стационарных платформ, построенных еще во времена СССР. На протяжении долгого времени эти платформы эксплуатировались в крайне неблагоприятных условиях окружающей среды. К этим условиям можно отнести как действие нагрузок (ледовых, волновых и т. д.), так и различных воздействий. Одним из самых агрессивных воздействий в морских условиях является коррозионное [7–11]. Коррозионное воздействие может вызывать как поверхностную коррозию, при которой происходит образование каверн, так и сквозную (рис. 1).



Рис. 1. Сквозная коррозия и каверны на элементе морской платформы

Методы исследования

Следует отметить, что коррозионное воздействие вызывает значительную локальную концентрацию напряжений, в том числе и превышающих допустимые номинальные значения. Очень важен тот факт, что если сквозные повреждения легко выявляются и выбраковываются при проведении комплексного технического диагностирования, то такие элементы как каверны часто невозможно своевременно выявить визуально из-за общего коррозионного поражения элементов платформы сплошным слоем поверхностной коррозии либо наличия остатков лакокрасочного покрытия. Коррозионные дефекты в виде каверн начинают свое распространение от поверхности вглубь от поверхности элемента морской платформы и могут распространяться в различных направлениях, принимая как правило форму близкую к конической или цилиндрической с неровными гранями.

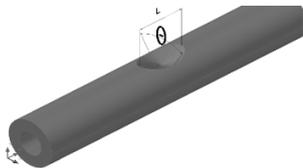


Рис. 2. Коррозионный дефект конструктивного элемента морской платформы: L – длина в продольном направлении, Θ – угловой размер в кольцевом направлении

Особую опасность коррозионные дефекты представляют в том случае, если они являются трещиноподобными и имеют малые радиусы скругления на конце. На конце этих дефектов формируется зона локальных перенапряжений (называемая также концентрацией напряжений). В этой зоне значительно увеличиваются величины действующих номинальных напряжений. Перенапряжение элементов платформы при наличии таких дефектов может превышать номинальные почти вдвое. А в некоторых случаях, в зависимости от формы дефекта, это перенапряжение может возрастать и более чем вдвое. Расчет локальной

концентрации напряжений осуществляется по формулам:

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

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

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

$$\eta = \frac{\delta - H}{\delta}, \quad (3)$$

$$\alpha_0 = 3 - 2 \frac{3\eta - 1}{2\eta} \quad (4)$$

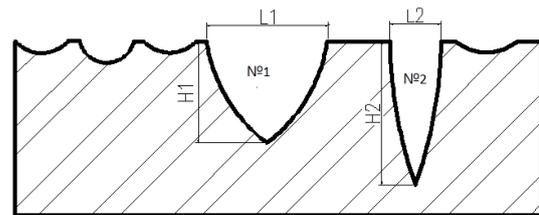


Рис. 3. Схема оценки глубины и длины коррозионных каверн: L1, L2 – длина коррозионных дефектов № 1 и № 2 в продольном направлении, H1, H2 – глубина коррозионных дефектов № 1 и № 2

Исходя из приведенных выше соображений, рассчитаем коэффициенты концентрации напряжений для типовых коррозионных дефектов конструктивных элементов морской платформы при различных соотношениях толщины стенки, угловых размеров и глубины коррозионного дефекта. Результаты приведены в таблице 1.

Таблица 1

Значения коэффициентов концентрации напряжений на примере элемента диаметром 530 мм и с толщиной стенки 12 мм при различных параметрах коррозионных дефектов с максимальной глубиной 3 мм

Глубина коррозионного дефекта H, мм	Длина коррозионного дефекта L, мм										Угловой размер коррозионного дефекта Θ, градусы				
	10	15	20	25	30	35	40	50	60	10	20	45	135	160	170
	Значения коэффициентов продольных напряжений Kz										Значения коэффициентов кольцевых напряжений Kθ				
1	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,1	1,1	1,1	1,1	1,2	1,2	1,2	1,3	1,1	1,1
2	1,4	1,4	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,4	1,4	1,5	1,2	1,2
3	1,6	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,4	1,4	1,5	1,5	1,3	1,2	1,4

Данные, приведенные в таблице 1, доказывают возможность формирования таких зон с локальными перенапряжениями на

элементах платформы, что может привести к разрушению ее отдельных элементов и как следствие возникновению аварийной ситуа-

ции со значительными человеческими жертвами. В этой связи необходимо разработать методы, которые могли бы своевременно выявить эти опасные дефекты. Одним из таких методов, по мнению автора, является метод тепловой диагностики. Однако несмотря на то, что данный метод уже долгие годы применяется в различных отраслях промышленности (авиации, железнодорожный транспорт и т. д.) к настоящему моменту применительно к морским платформам подобная методика отсутствует. Для разработки этой методики автором был поставлен эксперимент. Были выполнены образцы из стальных труб, в которых были высверлены отверстия различного диаметра и глубины, моделирующие собой коррозионные каверны. Эти отверстия были заполнены оксидом железа Fe₂O₃. А затем по всей поверхности образца был нанесен слой оксида железа толщиной 1 мм [12]. Эти образцы были подвергнуты воздействию тепловых потоков (рис. 4) с различной плотностью и на протяжении определенного времени (мощность теплового потока).



Рис. 4. Экспериментальный образец под воздействием тепловых потоков

Автором установлено, что скорость формирования температурного контраста зависит от объема Fe₂O₃ в теле металла трубы. Т. к. площадь проекции коррозионного дефекта можно визуальнo оценить при помощи тепловизора, то зная объем Fe₂O₃ в теле металла трубы становится возможным вычислить его глубину. Коррозионный дефект можно представить либо в виде цилиндра с неровными гранями, либо дефектом «V»-образной формы, который более опасен с точки зрения значений локальных перенапряжений. Определить глубину этого дефекта Н можно по формуле [17]:

$$H = \frac{x(k_1 D^2 + k_2 D + k_3 C^2 + k_4 C + a)}{\pi r^2}, \quad (5)$$

где Н – глубина дефекта; x – коэффициент, принимаемый равным 1 для представления дефекта в форме цилиндра и равным 3 при представлении дефекта в виде «V»-образной формы; π = 3,14; r – радиус дефекта; D – динамика теплового потока, определяемая как произведение плотности теплового потока (ΔQ) на его длительность (Δt); C – темпера-

турный контраст; константы k₁ = 0,00463937; k₂ = -8,70561; k₃ = 132,525; k₄ = 1432,5; a = 3748,46.

Практический случай

Рассмотрим следующий случай. При проведении теплового обследования морской платформы в Черноморском регионе было установлено, что все элементы платформы поражены коррозией. В ходе обследования была обнаружена каверна с максимальными размерами, для которой необходимо установить ее глубину Н и вызываемые ей локальное перенапряжение. Результаты обследования приведены в таблице. Температурный контраст С определяется по формуле [13–17]:

$$C = 1 - \frac{T_{nd}}{T_d}, \quad (6)$$

где С – температурный контраст, T_d и T_{nd} – температуры в дефектной (пораженной коррозией) и бездефектной зонах.

Таблица 2

Результаты обследования коррозионного состояния

Длительность воздействия теплового потока, с	0	15	30	45	60
Динамика теплового потока (Вт/[с*м ²])	0	1040	968	895	822
Температура бездефектной поверхности, 0С	28	32	34	36	38
Температуры в зоне дефекта, 0С	28	46	52	55	59
Температурный контраст	0	0,30	0,35	0,35	0,36

Считая дефект в форме "V" и используя полученные в результате обследования значения, приведенные в таблице 2, усреднив полученные значения D = 931 Вт/[с*м²] и C = 0,34, зная, что радиус дефекта r = 6 мм проведем расчет по формуле 4:

$$H = \frac{3(132,525 \cdot 931^2 - 8,70561 \cdot 931 + 132,525 \cdot 0,34^2 + 1432,5 \cdot 0,34 + 3748,46)}{3,14 \cdot 6^2} = 4,4$$

Таким образом установлено, что глубина дефекта Н равна 4,4 мм. Решая задачу определения углов треугольника из классической геометрии, установим, что угол Θ в вершине коррозионной каверны (угловой размер коррозионного дефекта) будет равен 1080. Проведем расчеты по формулам (1–4). В результате расчетов установлено, коэффициент концентрации К_Θ кольцевых напряжений будет равен 1,3, а коэффициент концентрации продольных напряжений K_z будет равен 1,5.

Выводы

В результате установлено, что коррозионные дефекты в виде каверн создают локальное перенапряженное состояние. В рассматриваемом примере оно превышает номинальные напряжения в 1,3–1,5 раз в зависимости от

направления напряжений. Но в некоторых случаях оно (в зависимости от формы коррозионного дефекта) может создавать локальное перенапряжение, вдвое превышающее номи-

нальные значения. В статье показано, что выявление коррозионных дефектов в виде каверн с высокой степенью эффективности возможно с помощью метода тепловой диагностики.

Список литературы

1. Российская Федерация. Законы. О промышленной безопасности опасных производственных объектов: федер. закон № 116-ФЗ: [принят Гос. Думой 21 июля 1997 г.]. – URL : http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_15234/ (дата обращения 11.05.2020). – Текст : непосредственный.
2. DNV-RP-C103. Рекомендованная практика. Расчет усталости морских стальных конструкций = Column Stabilized Units. Column Stabilized Units. – Norway: Det Norske Veritas (DNV), 2008. – 158 p. – Текст : непосредственный.
3. API RP 2A-WSD. Рекомендуемая практика планирования, проектирования и сооружения морских стационарных платформ-расчет по допустимым напряжениям = Recommended Practice for Planning, Designing and Constructing Fixed Offshore Platforms. Working Stress Design. – New York: American Bureau of shipping, 2005. – 132 p. – Текст : непосредственный.
4. Правила классификации, постройки и оборудования плавучих буровых установок и морских стационарных платформ: (НД 2-020201-015) : [утверждены и вступили в силу 1 апреля 2018 г.] – Санкт-Петербург : – Российский морской регистр судоходства, 2018. – 454 с. – ISBN 978-5-89331- 206-5. – Текст : непосредственный.
5. Староконь И. В. Анализ отечественной нормативной документации по безопасности эксплуатации морских нефтегазовых сооружений (МНГС) / И.В. Староконь – Текст : непосредственный // Естественные и технические науки. – 2009. – №6. – С. 346-347.
6. Бородавкин П.П. Морские нефтегазовые сооружения: учебник для вузов. Часть 1. Конструирование / П.П. Бородавкин – Москва: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2006. – 555 с. – Текст : непосредственный
7. Колгушкин А.В. Влияние природных факторов на скорость коррозии морских ГТС / А.В. Колгушкин А.В., Н.Д. Беляев – Текст : непосредственный // Предотвращение аварий зданий и сооружений. – 2009. – URL: <http://www.pamag.ru/src/prensa/137.pdf> (дата обращения 11.05.2020).
8. Староконь И.В. Коррозионные процессы в условиях морских нефтегазовых месторождений и их влияние на усталостное трещинообразование / И.В. Староконь, Н.В. Фролова, О.А. Романенко, Н.В. Болбот – Текст : непосредственный // Современные наукоемкие технологии. – 2013. – № 5. – С. 81-84.
9. Староконь И.В. Особенности усталостных процессов морских нефтегазовых сооружений / И.В. Староконь – Текст : непосредственный // Техника и технология. – 2012. – № 6. – С. 40-41.
10. Макаров Г.И. Экспериментальная оценка напряженно-деформированного состояния сварных трубопроводов с помощью электрических датчиков сопротивления и аналогово-цифровых преобразователей / Г.И. Макаров, О.Е. Капустин – Текст : непосредственный // Сварочное производство. – 2018. – №11. – С. 3-14.
11. Макаров Г.И. Компьютерные методы расчета и проектирования сварных конструкций нефтегазового профиля с использованием метода конечных элементов / Г.И. Макаров, О.Е. Капустин – Текст : непосредственный // Сварочное производство. – 2019. – №11. – С. 3-9.
12. Теплотехника : учебник для вузов / В.Н. Луканин, М.Г. Шатров – Москва : Высшая школа, 2000. – 671 с. – Текст : непосредственный.
13. Матвеев Л.Т. Курс общей метеорологии. Физика атмосферы / Л.Т. Матвеев – Ленинград : Гидрометеиздат, 1984. – 506 с. – Текст : непосредственный.
14. Самойлов Д.В. Расчет величины поступления теплоты от солнечной радиации на поверхность Земли : методические указания / Д.В. Самойлов ; под ред. Ю.В. Пешти ; Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана. – Москва : Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. – 20 с. – Текст : непосредственный.
15. Староконь И.В. Методика оценки воздействия солнечного излучения на температурное состояние морских стационарных платформ / И.В. Староконь – Текст : электронный // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 2. – URL: <http://scienceeducation.ru/ru/article/view?id=12713> (дата обращения 11.05.2020).
16. Староконь И.В. Научные основы процессов формирования тепловых полей и перспективы применения методов термодиагностики для оценки надежности эксплуатации морских нефтегазопромысловых сооружений / И.В. Староконь – Текст : непосредственный // Труды Российского государственного университета нефти и газа им. И.М. Губкина. – 2017. – № 3. – С. 70-76.
17. И. В. Староконь. Применение тепловых методов контроля для оценки уровня опасности коррозионных дефектов морских стационарных платформ / И.В. Староконь – Текст : непосредственный // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань : ГАОУ АО ВО «АГАСУ», 2020. № 2 (321). С. 120–123.

© И. В. Староконь

Ссылка для цитирования:

И. В. Староконь. Практика применения методов тепловой диагностики для оценки локальных перенапряжений элементов морских стационарных платформ с коррозионными дефектами // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань : ГАОУ АО ВО «АГАСУ», 2020. № 3 (33). С. 104–107.