

10. Предтеченский, В. М. Проектирование зданий с учетом организации движения людских потоков / В. М. Предтеченский, А. И. Милинский. - Москва: Стройиздат, 1979. - 375 с.
11. Холщевников, В. В. Модели для расчета эвакуации людей устаревают / В. В. Холщевников // Пожаровзрывобезопасность. - 2017. - № 7. - С. 39-55.
12. Холщевников, В. В. Общая закономерность изменения параметров движения людских потоков различного функционального контингента в зданиях и сооружениях / В. В. Холщевников, А. Н. Гилетич, Д. В. Ушаков, А. П. Парфененко // Пожаровзрывобезопасность. - 2011. - № 12. - С. 32-41.
13. Бакиров, И. К. Индивидуально-поточная модель эвакуации, как эффективный метод вероятностного подхода при оценке рисков пожарной опасности в зданиях / И. К. Бакиров, М. М. Файзулина // Проблемы обеспечения безопасности при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. - 2016. - С. 15-17.
14. Юртаев, Е. А. Особенности отечественной методики расчета эвакуации людей индивидуально-поточным методом, реализуемой при помощи зарубежных программ / Е. А. Юртаев, А. В. Вытовтов, Д. В. Русских // Научно-аналитический журнал «Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России». - 2018.

© Ю. А. Курбатова, А. П. Парфененко

Ссылка для цитирования:

Ю. А. Курбатова, А. П. Парфененко. Проблемы моделирования эвакуации людей // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань : ГАОУ АО ВО «АГАСУ», 2020. № 2 (32). С. 116-120.

УДК 622.242.422 622.276.04 622.279.04

**ПРИМЕНЕНИЕ ТЕПЛОВЫХ МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ УРОВНЯ ОПАСНОСТИ
КОРРОЗИОННЫХ ДЕФЕКТОВ МОРСКИХ СТАЦИОНАРНЫХ ПЛАТФОРМ**

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 с использованием морских стационарных платформ. За время эксплуатации морские платформы подвергаются активному коррозионному воздействию. В результате этого воздействия в элементах платформы образуются каверны, являющиеся концентраторами напряжений и способные вызвать критическое перенапряжение элементов платформы. Для предотвращения этой ситуации необходимо своевременно выявлять опасные коррозионные дефекты. В статье проводится оценка эффективности различных методов неразрушающего контроля применительно к выявлению опасных коррозионных дефектов на морских платформах. Также в статье приводятся новые формулы, полученные автором, позволяющие определить глубину коррозионных поражений на основе разницы температур в бездефектной и пораженной коррозией зонах.

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

**APPLICATION OF THERMAL CONTROL METHODS FOR ASSESSING THE DANGER OF THE DANGER
OF CORROSION DEFECTS OF MARINE STATIONARY PLATFORMS**

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 the offshore oil and gas fields using offshore stationary platforms. During operation, offshore platforms are exposed to corrosive attack. As a result of this effect, caverns are formed in the platform elements, which are stress concentrators and can cause critical overvoltage of the platform elements. To prevent this situation, it is necessary to identify hazardous corrosion defects in a timely manner. The article assesses the effectiveness of various non-destructive methods in identifying dangerous corrosion defects on offshore platforms. The article also provides new formulas obtained by the author, allowing to determine the depth of corrosion damage based on the temperature difference in defect-free and corroded zones.

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

В РФ активно ведется освоение шельфовых месторождений нефти и газа с использованием морских стационарных платформ. Согласно Федеральному закону №116 «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» [1] морские стационарные платформы относятся к числу опасных производственных объектов. Опасные производственные объекты (ОПО) – это такие 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 [2–9]. Коррозионное воз-

действие может вызывать как поверхностную коррозию, при которой происходит образование каверн, так и сквозную (рис. 1)



Рис. 1. Сквозная коррозия на элементе морской платформы

Следует отметить, что коррозионное воздействие вызывает значительную 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. Коррозионные дефекты в виде каверн начинают свое распространение от поверхности вглубь. Такие дефекты могут являться трещиноподобными и иметь малые радиусами закругления на конце. На конце этих дефектов формируется так называемая зона концентрации напряжений, в которой существенно увеличиваются значения действующих номинальных напряжений. Перенапряжение элементов платформы при наличии таких дефектов может превышать номинальные в два и более раз в зависимости от формы дефекта. Такое перенапряженное состояние платформы может привести к разрушению ее отдельных элементов и как следствие возникновению аварийной ситуации со значительными человеческими жертвами. В этой связи применение методов неразрушающего контроля, которые могли бы эффективно выявить эти опасные дефекты в виде скрытых каверн, позволит своевременно предотвратить наступление аварийной ситуации [10–11].

Опыт эксплуатации морских платформ показывает, что наиболее сильно коррозионные процессы проходят на элементах платформы, расположенных в зоне переменного смачивания. Для подводной же зоны коррозионное поражение не всегда столь значительно, что вызвано существенным слоем морского обрастания, предохраняющего элементы платформы от воздействия кислорода, и снижая тем самым интенсивность коррозионных процессов. Поэтому наибольшему коррозионному воздействию подвергаются элементы платформы в зоне периодического (или переменного) смачивания. Чуть меньшему по интенсивности, но также существенному, подвергаются элементы платформ в атмосферной зоне. Поэтому глав-

ным требованием к методу неразрушающего контроля будет возможность его применения в надводной зоне. Сформулируем основные критерии, которые необходимо предъявить к методу неразрушающего контроля для выявления коррозионных дефектов:

Сплошная поверхностная коррозия не должна влиять на точность выявления дефектов

Применяемый метод неразрушающего контроля (НК) должен обеспечивать высокую скорость проведения диагностических работ и обработки полученных результатов

НК должен давать однозначное представление о глубине коррозионной каверны

Применяемый метод контроля должен обеспечивать выявление дефектов в труднодоступных участках платформы

Применяемый метод НК позволяет обеспечить контроль таких значительных по своим габаритам сооружений как морская платформа

Себестоимость применения метода и обработки полученных результатов должна не должна быть запредельно высокой.

Данный метод НК хорошо зарекомендовал себя при применении в других областях.

Рассмотрим существующие методы неразрушающего контроля:

- магнитный (МК) – данный метод базируется на анализе информации о взаимодействии магнитного поля с металлом элементов платформы;
- вихретоковый (ВТ) – метод основан на анализе взаимодействия электромагнитного поля вихретокового преобразователя с электромагнитным полем вихревых токов в поверхностных слоях объекта контроля;
- тепловой (ТК) – метод основан на регистрации изменений температурных полей в элементах платформы при воздействии на них источников тепла. При данном воздействии в дефектной и бездефектной зонах возникает температурный контраст;
- радиационный (РК) – метод, основанный на анализе ионизирующего излучения после его прохождения в металл элементов платформы;
- акустический (ультразвуковой) (УЗК) – метод основан на регистрации параметров волн ультразвукового диапазона, а именно их прохождении по телу элементов платформы и отражения от дефектов;
- проникающими веществами (ПК) – основанный на проникновении веществ в полости дефектов элементов платформы;
- визуальный (ВИК) – выявление вмятин, поверхностной коррозии, прожогов, наплывов, и других видимых дефектов.

Составим сравнительную таблицу эффективности применения методов неразрушающего для выявления и оценки глубины коррозионных каверн на морской стационарной платформе (табл.

1) согласно семи критериям, сформулированным выше. С целью повышения точности каждому методу будем выставлять баллы от нуля до пяти, где «0» – полностью не соответствует заданному критерию, а «5» – полностью соответствует.

Таблица 1

Эффективность методов неразрушающего контроля для выявления и оценки глубины коррозионных каверн на морской стационарной платформе

Критерий	Наименование метода неразрушающего контроля						
	МК	ВК	ТК	РК	УЗК	ПК	ВИК
1	2	2	5	5	4	3	2
2	3	3	4	1	2	1	5
3	4	4	5	4	4	2	0
4	3	3	4	1	1	1	5
5	2	2	4	1	1	1	5
6	3	3	4	1	3	1	5
7	4	4	4	0	2	0	5
Сумма баллов	21	21	29	13	17	9	27

Таким образом, по мнению автора выявления опасных коррозионных дефектов в виде каверн наиболее эффективно будет осуществлено методом тепловой диагностики. Так как в настоящее время применительно к морским стационарным платформам отсутствует методика выявления коррозионных дефектов, то автором был поставлен следующий эксперимент. Причем были исследованы как пассивные методы термодиагностики, так и активные. В результате многочисленных экспериментов и теоретических расчетов по данным, приведенным в [12–16] установлено, что активные методы термодиагностики более эффективны по сравнению с пассивными. Были подготовлены экспериментальные образцы трубной формы, в которых были выполнены 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 (рис. 2).



Рис. 2. Экспериментальный образец

При проведении эксперимента изучались следующие критерии: отношение толщины стенки к глубине коррозионной каверны; мощность воздействия теплового потока; температурный контраст бездефектного участка и моделирующей коррозионную каверну участок (рис. 3).

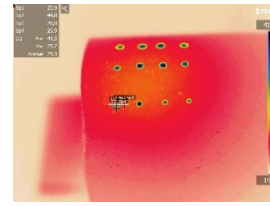


Рис. 3. Проведение эксперимента

В результате проведения эксперимента установлено, что величина температурного контраста тем больше, чем больше объем дефекта, моделирующего коррозионную каверну. Поэтому автором предлагается ввести понятие «эквивалентного объема» дефекта. Обработав результаты эксперимента, была получена следующая зависимость, описывающая взаимосвязь эквивалентного объема коррозионного дефекта с динамикой теплового потока и температурным контрастом:

$$V_{\text{деф}} = k_1 D^2 + k_2 D + k_3 C^2 + k_4 C + a, \quad (1)$$

где: $V_{\text{деф}}$ – эквивалентный объем дефекта; D – динамика теплового потока; C – температурный контраст; константы $k_1 = 0,00463937$; $k_2 = 8,70561$; $k_3 = 132,525$; $k_4 = 1432,5$; $a = 3748,46$.

Следует отметить, что как правило коррозионные каверны имеют в проекции форму, приближенную к окружности или эллипсу. Так как площадь проекции коррозионного дефекта можно визуальнo оценить при помощи тепловизора, то зная эквивалентный объем дефекта становится возможным вычислить его глубину. По мнению автора, наиболее опасным с точки зрения концентрации напряжений будет дефект «V» – образной формы. Объем такого дефекта можно описать формулой:

- для случая коррозионных каверн с формой его проекции на плоскость приближенной к окружности:

$$l = (3(k_1 D^2 + k_2 D + k_3 C^2 + k_4 C + a)) / (\pi r^2), \quad (2)$$

где: l – глубина дефекта; $\pi = 3,14$, r – радиус дефекта, D – динамика теплового потока, C – температурный контраст, константы $k_1 = 0,00463937$; $k_2 = 8,70561$; $k_3 = 132,525$; $k_4 = 1432,5$; $a = 3748,46$.

- для случая коррозионных дефектов с формой его проекции на плоскость приближенной к эллипсу:

$$l = (3(k_1 D^2 + k_2 D + k_3 C^2 + k_4 C + a)) / \pi h b, \quad (3)$$

где: l – глубина дефекта, h и b – полуоси эллиптического основания дефекта, а остальные значения те же, что в предыдущей формуле.

Выводы

Показано, что тепловой метод имеет более высокую эффективность по сравнению с другими современными методами неразрушающего контроля в вопросах обнаружения опасных коррозионных дефектов в виде каверн.

На основе проведенных экспериментальных исследований автором разработаны новые формулы, позволяющие определить глубину коррозионного дефекта при проведении процедуры активного теплового контроля.

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 20018 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://science-education.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.

© И. В. Староконь

Ссылка для цитирования:

И. В. Староконь. Применение тепловых методов контроля для оценки уровня опасности коррозионных дефектов морских стационарных платформ // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань : ГАОУ АО ВО «АГАСУ», 2020. № 2 (321). С. 120–123.