

DOI: 10.17122/ntj-oil-2020-2-113-119

УДК 665.6-049.5

Я.А. Палладина, З.А. Закирова (Уфимский государственный нефтяной технический университет, г. Уфа, Российская Федерация)

ПОВЫШЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ НЕФТЕГАЗОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ИННОВАЦИОННОГО МЕТОДА МОНИТОРИНГА ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА МЕТАЛЛА

Yana A. Palladina, Zemfira A. Zakirova (Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russian Federation)

INCREASING SAFETY OF OIL AND GAS EQUIPMENT OPERATION USING THE INNOVATIVE METHOD OF MONITORING METAL RESIDUAL LIFE

Введение

Согласно статистике Ростехнадзора, на протяжении последнего десятилетия коррозионная активность является наиболее распространенной среди основных причин повреждения оборудования, что приводит к сбоям функционирования установок, сопровождающимся разливами, сопряженными с пожарами и взрывами.

Цели и задачи

Разработка инновационного метода мониторинга остаточного ресурса металла для повышения безопасности при эксплуатации нефтегазового оборудования.

Результаты

На основании проведенного анализа и расчетов предложено внедрение разработанной методики, заключающейся в применении неразрушающего дистанционного контроля состояния металла. Мониторинг осуществим с помощью внедрения датчиков скорости коррозии в технологический процесс.

Background

According to statistics from Rostekhnadzor, over the past decade, corrosion activity has been the most common among the main causes of equipment damage, which leads to malfunctioning of plants, accompanied by spills associated with fires and explosions.

Aims and Objectives

Development of an innovative method for monitoring the residual metal resource to increase safety during the operation of oil and gas equipment

Results

Based on the analysis and calculations, it is proposed to introduce the developed method, which consists in the use of non-destructive remote monitoring of the state of the metal. Monitoring is feasible through the introduction of corrosion rate sensors in the process.

Ключевые слова: промышленная безопасность; коррозионная активность; технологический процесс; показатели надежности; датчик скорости коррозии; неразрушающий контроль

Key words: industrial safety; corrosion activity; technological process; reliability indicators; corrosion rate sensor; non-destructive testing

Несмотря на большое количество нормативно-технических документов, уделяющих внимание вопросам взрывопожарной безопасности, данная сфера имеет недоработки, которые систематически отражаются в появлении и развитии производственных аварий. Агрессивные среды, эксплуатация оборудования в условиях высоких или криогенных температур, также отклонения технологических параметров от номинальных являются частыми причинами аварийных ситуаций на производствах.

Коррозионный износ занимает лидирующие позиции в рейтинге основных причин аварийности технологических процессов нефтегазовой отрасли. Статистика промышленных аварий нефтеперерабатывающего комплекса за последние 10 лет показывает, что коррозионная усталость имеет наибольшее распространение среди основных причин, сопровождая нарушения технологического процесса истечениями агрессивных сред и создавая угрозу масштабных последствий [1].

Показателем опасности коррозии является скорость ее распространения - в результате данного деструктивного процесса ежегодно уничтожается 8-10 % металлов.

На промышленную безопасность оказывают существенное влияние показатели надежности оборудования. К ним относятся срок службы, вероятность безотказной работы, наработка на отказ, также одним из значимых показателей является прогнозируемый остаточный ресурс металла.

Текущий фактор надежности напрямую оказывает влияние на промышленную безопасность.

На настоящий момент существует несколько действующих методических рекомендаций, которые основаны на расчете показателей надежности и применимы в рамках производственных объектов. Целью данных методических указаний является установление правил обработки результатов, а также определение дальнейшей применимости оборудования, исходя из результатов расчетов [2].

Надежность технической системы - основополагающий аспект исправной и долговечной работы оборудования, который является неотъемлемой частью промышленной безопасности. Показатели надежности находят применение при проведении диагностики оборудования, то есть для оценки технического состояния объекта.

Диагностика включает такие методы контроля, при которых необходимо приостановление технологического процесса для получения достоверных данных с целью проведения дальнейших расчетов.

Полученные значения необходимы для выявления дефектов, определения пределов прочности и прогнозирования дальнейшей применимости металла оборудования. С помощью таких осмотров определяются коррозионные повреждения, трещины, пустоты и другие изъяны внутренней поверхности металла [3].

Сведения о проведенных работах отражаются в техническом регламенте, а также указываются в паспорте безопасности объекта. Но несмотря на существующую систему диагностики проблема коррозионной активности является актуальной и требует внедрения новых подходов [4].

Для оценки надежности оборудования определяется наработка на отказ:

$$\bar{T} = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{n(t)}, \quad (1)$$

где t_i - наработка между выходами из строя, ч;

$n(t)$ - суммарное число отказов за время t .

Но для расчета наработки учитываются всевозможные отказы в совокупности, не отделяя технологические отклонения от механических. Таким образом, коррозия не является отдельным фактором и не поддается расчетам, тем самым затрудняя разрешение этого усложненного положения.

Для решения данной задачи предлагается модернизация существующего руководящего документа «Методика прогнозирования остаточного ресурса машин и деталей, подверженных изнашиванию» [5, 6].

Существует специализированный расчет прогнозируемого остаточного ресурса металла, предусматривающий коррозионный процесс как самостоятельный показатель износа:

$$T_{\text{ост}} = \frac{\gamma \cdot (S_{\text{д}} - S_{\text{н}})}{v_{\text{кор}}}, \quad (2)$$

где $T_{\text{ост}}$ - прогнозируемый остаточный ресурс;

γ - коэффициент, зависящий от срока службы металла оборудования;

$S_{\text{д}}$ - документальная толщина металла, мм;

$S_{\text{н}}$ - непригодная, забракованная толщина металла, мм;

$v_{\text{кор}}$ - скорость коррозии, мм/год.

Для того, чтобы получить максимально реальное значение остаточного ресурса, необходимо применять максимально точные показатели в расчете.

Если коэффициент срока службы и фактическая толщина металла являются

установленными значениями, то величина отбракованной толщины металла выявляется путем разрушающего контроля, то есть осуществляется вывод установки из технологического процесса на определенный промежуток времени.

Во-первых, остановка рабочего процесса осуществляется фиксированное количество раз при условии, что отсутствуют отклонения от номинальных значений, т.е. такого рода диагностика предоставляет правдоподобные данные только на момент осуществления измерений.

Во-вторых, проводить подобные мероприятия более часто экономически нецелесообразно, так как остановка технологического процесса напрямую отражается на финансовой стороне производства.

Решение видится в применении неразрушающего дистанционного контроля, который осуществим с помощью внедрения датчиков скорости коррозии в технологический процесс, представленных на рисунке 1.

Малейшие изменения будут фиксироваться в режиме реального времени и отражаться на рабочем месте оператора, позволяя тем самым заблаговременно принимать необходимые решения [7]. Принцип работы датчиков основан на измерении ультразвуковых частот, значения которых при изменении толщины металла меняются. В соответствии с этим можно вывести частотный показатель, с помощью которого будет отражаться динамика изменения толщины металла.

Расчет коэффициента:

$$K_{\text{ч}} = \frac{A_1}{A_2}, \quad (3)$$

где $K_{\text{ч}}$ - частотный показатель;

A_1 - амплитуда ультразвуковой частоты на целостной поверхности металла;

A_2 - амплитуда ультразвуковой частоты при наличии признаков корродирования металла.

Таким образом, значение коэффициента варьируется в полуинтервале (0;1].

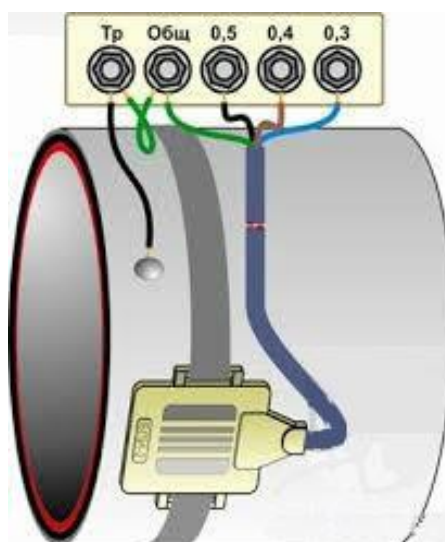


Рисунок 1. Установленный датчик на оборудовании

Основополагающая формула представлена в виде:

$$T_{\text{ост}} = \gamma * S_{\text{ф}} * K_{\text{ч}}, \quad (4)$$

где $T_{\text{ост}}$ - прогнозируемый остаточный ресурс;

γ - коэффициент, зависящий от срока службы металла оборудования;

$S_{\text{ф}}$ - фактическая толщина металла, мм;

$K_{\text{ч}}$ - частотный показатель.

Коэффициент срока службы металла принимается в соответствии с нормативным документом, фактическая толщина металла принимается согласно технической документации, значение частотного коэффициента будет обновляться в соответствии с текущими изменениями состояния металла в автоматическом режиме в реальном времени.

Для осуществления данного подхода в рамках производства необходима установка датчиков скорости коррозии на технологическую установку в местах, наиболее подвер-

женных коррозионному износу. Согласно статистике аварий на подобных установках, представленной Ростехнадзором, к местам, подверженным коррозионному износу, относятся сварные, фланцевые соединения, нагнетательные насосы, узлы теплообменников [8].

Таким образом, с помощью установленных датчиков будет получен частотный показатель, который необходим для расчета прогнозируемого остаточного ресурса. Все полученные показатели будут выведены на автоматизированное рабочее место оператора. Как результат всех расчетов - обеспечен мониторинг, который позволит непрерывно отслеживать даже незначительные изменения, и поможет снизить вероятность развития аварийных ситуаций, вызванных коррозионным износом, повысит безопасность технологических процессов на объектах нефтегазовой промышленности, что в целом окажет положительное влияние на статистику аварийных ситуаций в нефтегазовой отрасли [9, 10].

Граф переходов для предложенной методики представлен на рисунке 2.

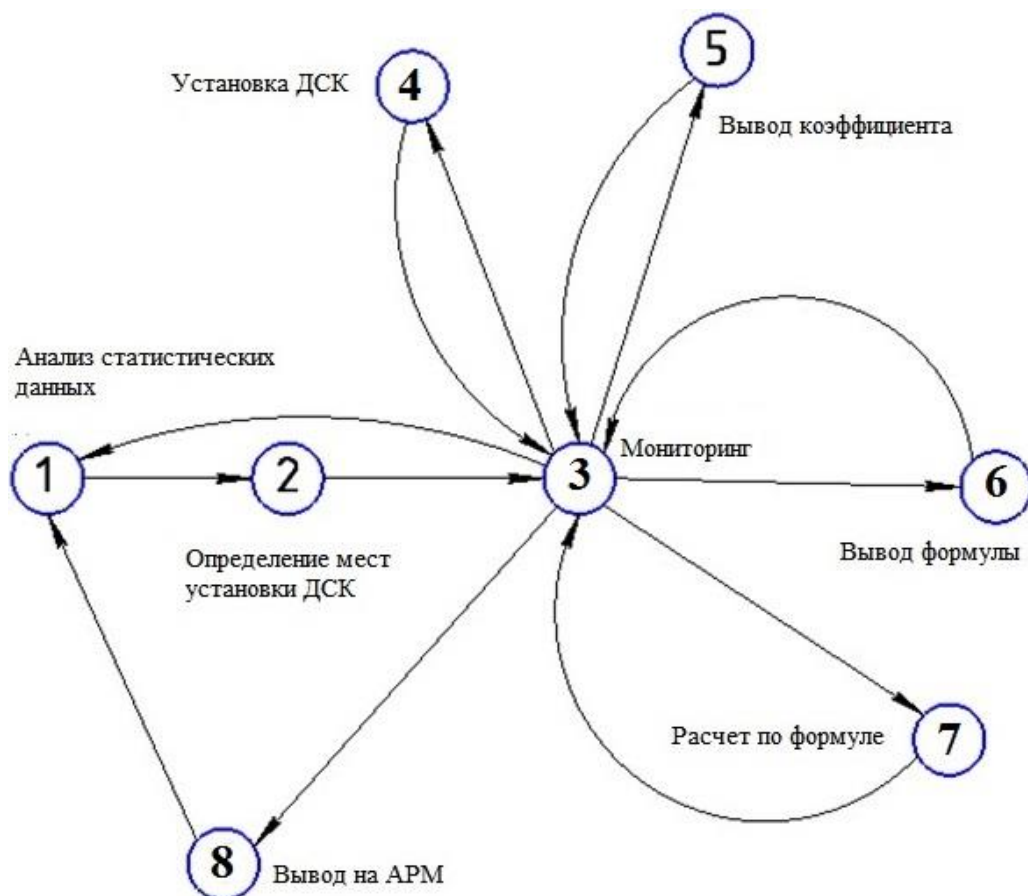


Рисунок 2. Граф переходов

Выводы

Совместно методы сопротивления коррозии могут принести большую пользу, нежели обособленно друг от друга. В связи с этим, в дополнение к существующим методам при-

менение разработанной методики поможет дистанционно контролировать остаточный ресурс, что положительно отразится на статистике аварийных ситуаций в нефтегазовой отрасли.

Список литературы

1. Официальный сайт Ростехнадзора. URL: <http://gosnadzor.ru> (дата обращения: 22.02.2020).
2. Кускильдин Р.А., Абдрахманов Н.Х., Закирова З.А., Ялалова Э.Ф., Абдрахманова К.Н., Ворохобко В.В. Современные технологии для проведения производственного контроля, повышающие уровень промышленной безопасности на

References

1. Official Website of Rostekhnadzor. Available at: <http://gosnadzor.ru> (accessed 22.02.2020). [in Russian].
2. Kuskildin R.A., Abdrakhmanov N.Kh., Zakirova Z.A., Yalalova E.F., Abdrakhmanova K.N., Vorokhobko V.V. Sovremennye tekhnologii dlya provedeniya proizvodstvennogo kontrolya, povy-

объектах нефтегазовой отрасли // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2017. Вып. 2 (108). С. 111-120.

3. Закирова З.А., Палладина Я.А. Снижение вероятности развития аварийных ситуаций, связанных с коррозионным износом нефтегазового оборудования // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2019. Вып. 1 (117). С. 126-136. DOI:10.17122/ntj-oil-2019-1-126-136.

4. Каковкин Д.А., Харебов В.Г., Мисейко А.Н. Задачи и проблемы коррозионного мониторинга оборудования химических предприятий // Химическая техника. 2017. № 5. С. 28-31.

5. РД 50-423-83. Методические указания. Надежность в технике. Методика прогнозирования остаточного ресурса машин и деталей, подверженных изнашиванию. М.: Издательство стандартов, 1985. 38 с.

6. ГОСТ 27.402-95. Надежность в технике (ССНТ). Планы испытаний для контроля средней наработки до отказа (на отказ). Часть 1. Экспоненциальное распределение. Минск: Межгосуд. совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 1997. 42 с.

7. Abdrakhmanov N.Kh., Vadulina N.V., Fedosov A.V., Ryamova S.M., Gaisin E.Sh. A New Approach for a Special Assessment of the Working Conditions at the Production Factors' Impact through Forecasting the Occupational Risks // *Man in India*. 2017. Vol. 97. No. 20. P. 495-511.

8. Abdrakhmanov N.Kh., Abdrakhmanova K.N., Vorohobko V.V., Abdrakhmanova L.K., Basyirova A.R. Development of Implementation Chart for Non-Stationary Risks Minimization Management Technology Based on Information-Management Safety System // *Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2017. No. 12. P. 7880-7888.

9. Fedosov A.V., Abdrakhmanov N.Kh., Gaisin E.S., Sharafutdinova G.M., Abdrakhmanova K.N., Shammatoва A.A. The Use of Mathematical Models in the Assessment of the Measurements Uncertainty for the Purpose of the Industrial Safety Condition Analysis of the Dangerous Production Objects // *International Journal of Pure and Applied Mathematics*. 2018. Vol. 119. No. 10 Special Issue C. P. 433-437.

10. Fedosov F.V., Abdrakhmanov N.Kh., Khamitova A.N., Abdrakhmanova K.N. Assessment of the Human Factor Influence on the Accident Initiation in the Oil and Gas Industry // *Территория «Нефтегаз»*. 2018. № 1-2. С. 62-70.

shayushchie uroven' promyshlennoi bezopasnosti na ob'ektkh neftegazovoi otrasli [Modern Technologies for Operation Control Monitoring Increasing Industrial Safety Level on Oil and Gas Industry Objects]. *Problemy sbora, podgotovki i transporta nefti i nefteproduktov - Problems of Gathering, Treatment and Transportation of Oil and Oil Products*, 2017, Issue 2 (108), pp. 111-120. [in Russian].

3. Zakirova Z.A., Palladina Ya.A. Snizhenie veroyatnosti razvitiya avariinykh situatsii, svyazannykh s korroziionnym iznosom neftegazovogo oborudovaniya [Decreasing the Probability of Emergency Situations Arising from Corrosion Wearing Oil and Gas Equipment]. *Problemy sbora, podgotovki i transporta nefti i nefteproduktov - Problems of Gathering, Treatment and Transportation of Oil and Oil Products*, 2019, Issue 1 (117), pp. 126-136. DOI:10.17122/ntj-oil-2019-1-126-136. [in Russian].

4. Kakovkin D.A., Kharebov V.G., Miseiko A.N. Zadachi i problemy korroziionnogo monitoringa oborudovaniya khimicheskikh predpriyatii [Tasks and Problems of Corrosion Monitoring of Equipment of Chemical Enterprises]. *Khimicheskaya tekhnika - Chemical Engineering Journal*, 2017, No. 5, pp. 28-31. [in Russian].

5. RD 50-423-83. Metodicheskie ukazaniya. Nadezhnost' v tekhnike. Metodika prognozirovaniya ostatochnogo resursa mashin i detalei, podverzhennykh iznashivaniyu [RD 50-423-83. Methodical Instructions. Reliability in Technology. Methods for Predicting the Residual Life of Machines and Parts Subject to Wear]. Moscow, Izdatel'stvo standartov Publ., 1985. 38 p. [in Russian].

6. GOST 27.402-95. Nadezhnost' v tekhnike (SSNT). Plany ispytaniy dlya kontrolya srednei narabotki do otkaza (na otkaz). Chast' 1. Eksponentsial'noe raspredelenie [State Standard 27.402-95. Dependability in Technics. Compliance Test Plans for Mean Time between Failures (to Failure). Part 1. Exponential Case]. Minsk, Mezghosud. sovet po standartizatsii, metrologii i sertifikatsii Publ., 1997. 42 p. [in Russian].

7. Abdrakhmanov N.Kh., Vadulina N.V., Fedosov A.V., Ryamova S.M., Gaisin E.Sh. A New Approach for a Special Assessment of the Working Conditions at the Production Factors' Impact through Forecasting the Occupational Risks. *Man in India*, 2017, Vol. 97, No. 20, pp. 495-511.

8. Abdrakhmanov N.Kh., Abdrakhmanova K.N., Vorohobko V.V., Abdrakhmanova L.K., Basyirova A.R. Development of Implementation Chart for Non-Stationary Risks Minimization Management Technology Based on Information-Management Safety System. *Journal of Engineering and Applied Sciences*, 2017, No. 12, pp. 7880-7888.

9. Fedosov A.V., Abdrakhmanov N.Kh., Gaisin E.S., Sharafutdinova G.M., Abdrakhmanova K.N., Shammatoва A.A. The Use of Mathematical Models in the Assessment of the Measurements Uncertainty for the Purpose of the Industrial Safety Condition Analysis of the Dangerous Production Objects. *International Journal of Pure and Applied Mathematics*, 2018, Vol. 119, No. 10 Special Issue C, pp. 433-437.

10. Fedosov F.V., Abdrakhmanov N.Kh., Khami-

tova A.N., Abdrakhmanova K.N. Assessment of the Human Factor Influence on the Accident Initiation in the Oil and Gas Industry. *Territoriya «Neftegaz» - Oil and Gas Territory*, 2018, No. 1-2, pp. 62-70.

Авторы

• Палладина Яна Александровна
Уфимский государственный нефтяной
технический университет
Магистрант кафедры «Промышленная
безопасность и охрана труда»
Российская Федерация, 450064, г. Уфа,
ул. Космонавтов, 1
e-mail: Yanapallada@mail.ru

• Закирова Земфира Ахметовна, канд. техн. наук
Уфимский государственный нефтяной
технический университет
доцент кафедры «Промышленная безопасность
и охрана труда»
Российская Федерация, 450064, г. Уфа,
ул. Космонавтов, 1
e-mail: Zakirovaza@mail.ru

The Authors

• Palladina Yana A.
Ufa State Petroleum Technological University
Undergraduate Student of Industrial Safety
and Labor Protection Department
1, Kosmonavtov str., Ufa, 450064,
Russian Federation
e-mail: Yanapallada@mail.ru

• Zakirova Zemfira A., Candidate of Engineering
Sciences
Ufa State Petroleum Technological University
Assistant Professor of Industrial Safety and Labour
Protection Department
1, Kosmonavtov str., Ufa, 450064,
Russian Federation
e-mail: Zakirovaza@mail.ru