

DOI: 10.17122/ntj-oil-2020-1-119-127

УДК 620.172:620.193.4

А.А. Ишбулдина, А.С. Тюсенков (Уфимский государственный нефтяной технический университет, г. Уфа, Российская Федерация)

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНОХИМИЧЕСКОЙ КОРРОЗИИ СТАЛЕЙ 20 И 09Г2С

Alsu A. Ishbuldina, Anton S. Tyusenkov (Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russian Federation)

RESEARCH OF MECHANOCHEMICAL CORROSION OF STEELS 20 AND 09G2S

Введение

В процессе эксплуатации многие металлоконструкции находятся в условиях совместного воздействия агрессивных сред (природных и/или технологических) и механических нагрузок. При этом ущерб от совместного действия коррозии и напряжений часто оказывается более существенным, чем при простом «наложении» повреждений, вызванных механической нагрузкой и влиянием агрессивной среды, действующих по отдельности.

При проведении разрушающих испытаний материалов оборудования на растяжение имеется вероятность неточности результатов по определению механических характеристик данного материала в связи с реальной работой материала в условиях агрессивной среды. Это, в свою очередь, может привести к ошибочным расчетам предела прочности и ресурса оборудования.

В связи с этим особую актуальность приобретают изучение поведения материалов под действием различных механических нагрузок в условиях агрессивных сред, а также определение предельного состояния металла по результатам измерения его электродного потенциала.

Background

During operation, many metal structures are under conditions of joint exposure to aggressive environments (natural and / or technological) and mechanical loads. Moreover, the damage caused by combined action of corrosion and stress is often more significant than by a simple «application» of damage caused by mechanical stress and the influence of an aggressive environment acting separately.

Carrying out destructive tensile testing of equipment materials, there is a possibility of inaccurate results on the determination of the mechanical characteristics of this material in connection with the actual operation of the material in an aggressive environment. This, in turn, can lead to erroneous calculations of the tensile strength and resource of the equipment.

In this regard, the study of the behavior of materials under the influence of various mechanical loads in aggressive environments, as well as the determination of the limiting state of a metal by measuring its electrode potential, are of particular relevance.

Цели и задачи

Определение влияния коррозионной среды на изменение механических свойств конструкционных сталей 09Г2С и 20 на примере испытания на растяжение.

Выявление зависимости изменения электродного потенциала сталей 09Г2С и 20 от различных по величине механических нагрузок.

Методы

Для проведения испытания были выбраны наиболее распространенные конструкционные стали на нефтеперерабатывающих и нефтехимических заводах - сталь 20 и 09Г2С. Испытания на растяжение проводились в соответствии с ГОСТ 1497-84 «Металлы. Методы испытаний на растяжение». Агрессивная среда была подобрана по ГОСТ Р 9.905-2007 (ИСО 7384:2001, ИСО 11845:1995) «Единая система защиты от коррозии и старения (ЕСЗКС). Методы коррозионных испытаний. Общие требования».

Испытания на растяжение образцов проводились на разрывной машине ИР 5113-100 в соответствии с Руководством по эксплуатации оборудования и с использованием коррозионной ячейки из органического стекла. Агрессивной средой для экспериментов являлся 3 %-ый водный раствор NaCl.

Результаты

В результате испытаний установлено, что механические свойства низколегированной стали 09Г2С и углеродистой стали 20 ухудшаются при воздействии агрессивной среды. Так, для образцов из стали 20 предел прочности, в среднем, понизился на 8,8 %, а время до разрыва - на 4,24 %. Для образцов из стали 09Г2С снижение предела прочности в коррозионной среде составило 23,1 %, а время до разрыва сократилось на 4,3 %.

Измерение электродных потенциалов в процессе проведения испытаний на растяжение показало, что по изменениям значений потенциала металла можно прогнозировать его напряженное состояние.

Aims and Objectives

Determination of the influence of a corrosive medium on the change in the mechanical properties of structural steels 09G2S and 20 using the tensile test as an example.

Identification of the dependence of changes in the electrode potential of 09G2S and 20 steels on mechanical loads of various magnitudes.

Methods

For testing, the most common structural steels used at oil refineries and petrochemical plants - steel 20 and 09G2S - were selected. Tensile tests were carried out in accordance with State Standard 1497-84 «Metals. Tensile test methods». The aggressive environment was selected according to State Standard R 9.905-2007 (ISO 7384: 2001, ISO 11845: 1995) «Unified system of protection against corrosion and aging. Corrosion test methods. General requirements».

Tensile tests of the samples were carried out on a tensile testing machine IR 5113-100 in accordance with the Equipment Operation Manual and using a corrosion-proof cell made of organic glass. Aggressive experimental medium was a 3 % aqueous solution of NaCl.

Results

As a result of tests, it was found that the mechanical properties of low-alloy steel 09G2S and carbon steel 20 deteriorate when exposed to an aggressive environment. So, for steel 20 samples, the tensile strength, on average, decreased by 8.8 %, and the time to rupture - by 4.24 %. For specimens made of 09G2S steel, the decrease in tensile strength in a corrosive medium was 23.1 %, and the time to rupture was reduced by 4.3 %.

Measurement of electrode potentials during tensile tests showed that stress state can be predicted from changes in metal potential values.

Ключевые слова: механохимическая коррозия; испытания на растяжение; конструкционная сталь; предел прочности; диаграмма растяжения; электродный потенциал; агрессивная среда

Key words: mechanochemical corrosion; tensile tests; structural steel; tensile strength; tensile diagram; electrode potential; aggressive environment

Большая часть оборудования, эксплуатируемого на нефтехимических предприятиях, подвержено параллельному воздействию механических, температурных и коррозионных напряжений [1].

Совместное воздействие рабочих напряжений и коррозии приводит к механохимической коррозии - процессу разрушения материалов, вызванному химическим или электрохимическим воздействием окружающей среды, интенсивность которого зависит от величины действующих механических напряжений [2]. Агрессивные среды, проникая в объем конструктивных элементов, как правило, приводят к значительным изменениям механических характеристик материалов и сокращению сроков службы конструкций [3]. Стали 09Г2С и 20 являются довольно распространенными материалами для изготовления оборудования для нефтегазовой, химической и металлургической отраслей [4].

В нефтегазовой промышленности зачастую рабочей средой оказываются водородосодержащие, хлорсодержащие или слабокислые среды [5]. При проведении экспертизы промышленной безопасности и расследований аварий часто прибегают к разрушающим методам контроля, с помощью которых возможно изучить деградацию структуры и изменение механических характеристик [6, 7]. Однако имеется гипотеза, что при испытании материала на статическое растяжение в агрессивной среде разрушение происходит при меньших нагрузках за счет мгновенного воздействия агрессивной среды [8]. Таким образом, изучение мгновенного влияния агрессивности среды на механические характеристики конструктивных сталей является актуальным. Положительные результаты данной работы позволят наиболее точно определить предельное состояние оборудования, при котором произошло разрушение.

Механохимические испытания

Для испытаний на растяжение по ГОСТ 1497-84 [9] были выбраны стали 20 и 09Г2С - широко распространенные материалы трубо-

проводов для транспорта нефти и газа. Популярность данных сталей связана с высокими эксплуатационными характеристиками, которые позволяют использовать их в регионах с критически низкими температурами наружного воздуха, в системах высокого давления и его резкими перепадами [10, 11]. Для проведения экспериментов были подготовлены образцы круглого сечения, общий вид и чертеж которых представлены на рисунках 1 и 2 соответственно. Выбраны две среды - воздух и 3 %-ый водный раствор NaCl [12]. При испытаниях на воздухе каждые 5 мин производилось измерение электродного потенциала образца [13]. Построение диаграммы растяжения образцов происходило автоматически. Испытания в коррозионной среде проводились в специально разработанной коррозионной ячейке из органического стекла (рисунок 3) [14]. Одновременно с испытанием на растяжение производилось измерение электродного потенциала образца. Потенциал измерялся с помощью вольт-метра, хлорсеребряного электрода сравнения и капилляра Луггина, заполненного агар-агаром. Испытаниям подвергались по три образца каждой марки стали для испытаний на воздухе и в жидкой среде. Полученные результаты математически обрабатывались [15].

В результате испытаний была получена зависимость изменения значений электродного потенциала образцов от прикладываемого усилия, что наглядно показано на рисунках 4 и 5 для стали 20, и на рисунках 6 и 7 для стали 09Г2С. В процессе испытания для обеих марок сталей наблюдалось смещение значений потенциалов в отрицательную область. Минимальное значение потенциала зафиксировано при максимальном приложенном растягивающем усилии, то есть при напряжениях, приблизительно равных пределу прочности. После разрушения образца наблюдалось повышение значений электродных потенциалов.

Следовательно, можно сделать вывод о том, что по изменениям значений потенциала металла можно спрогнозировать его напряженное состояние.



Рисунок 1. Образцы для испытаний на растяжение

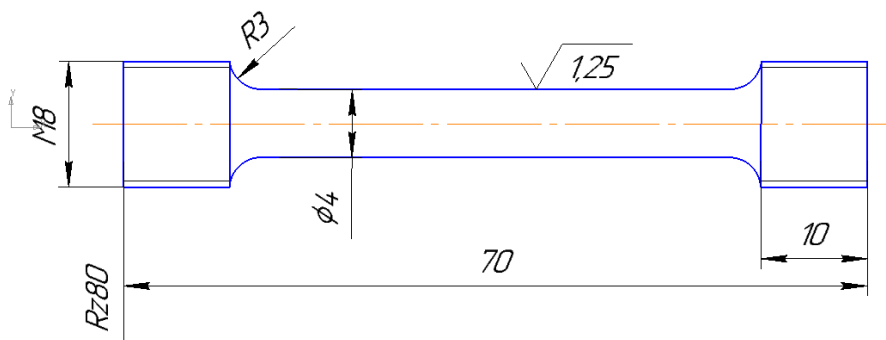


Рисунок 2. Чертеж образца



Рисунок 3. Общий вид коррозионной ячейки

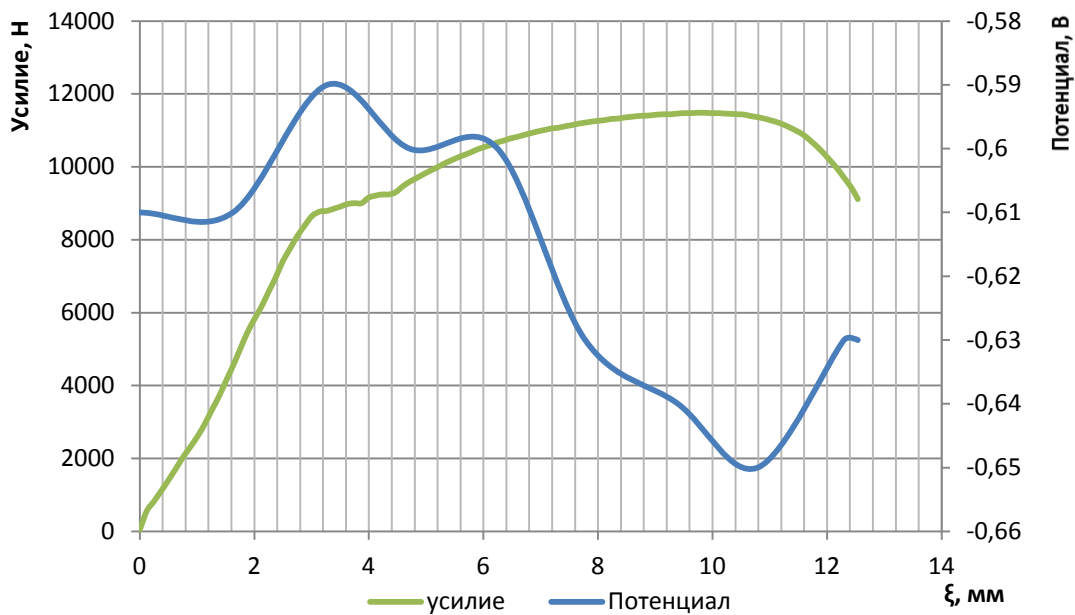


Рисунок 4. Результаты испытаний стали 20 на воздухе

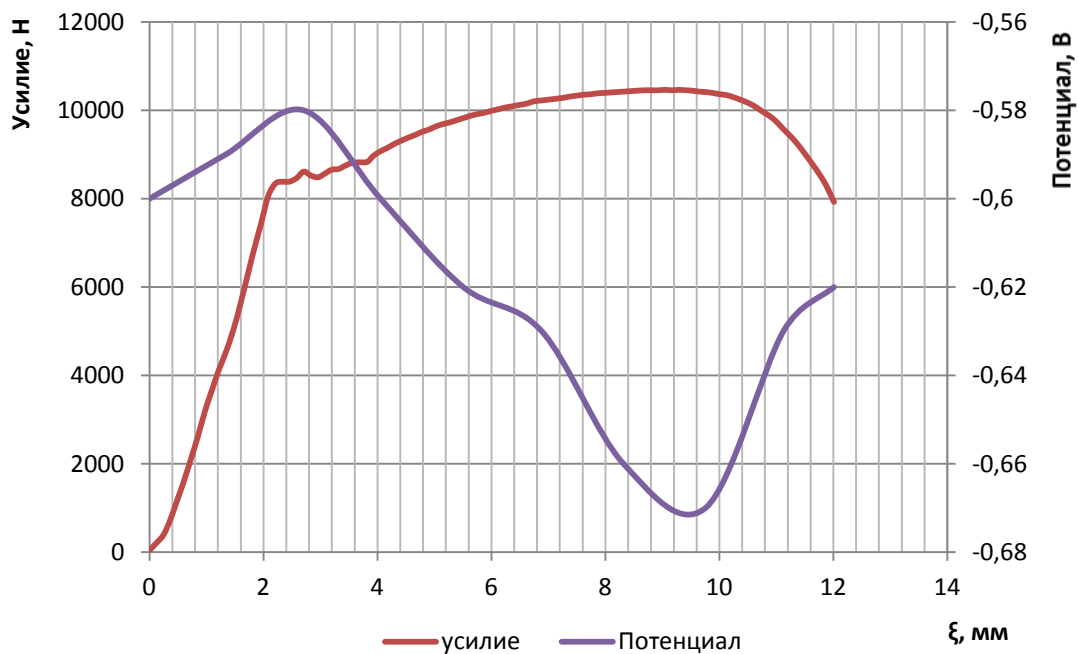


Рисунок 5. Результаты испытаний стали 20 в 3 %-ом растворе NaCl

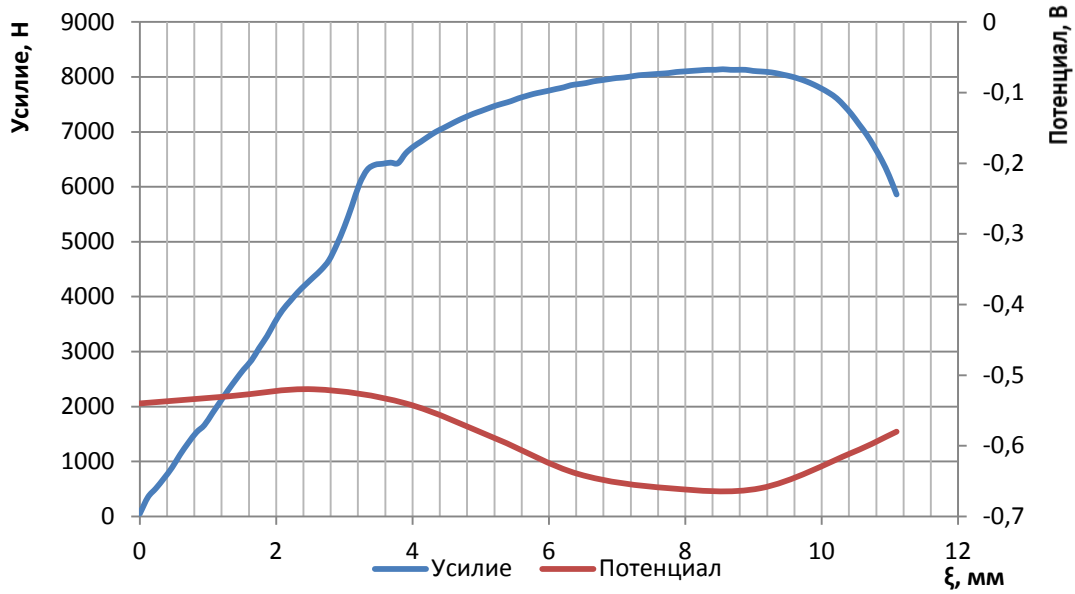


Рисунок 6. Результаты испытаний стали 09Г2С на воздухе

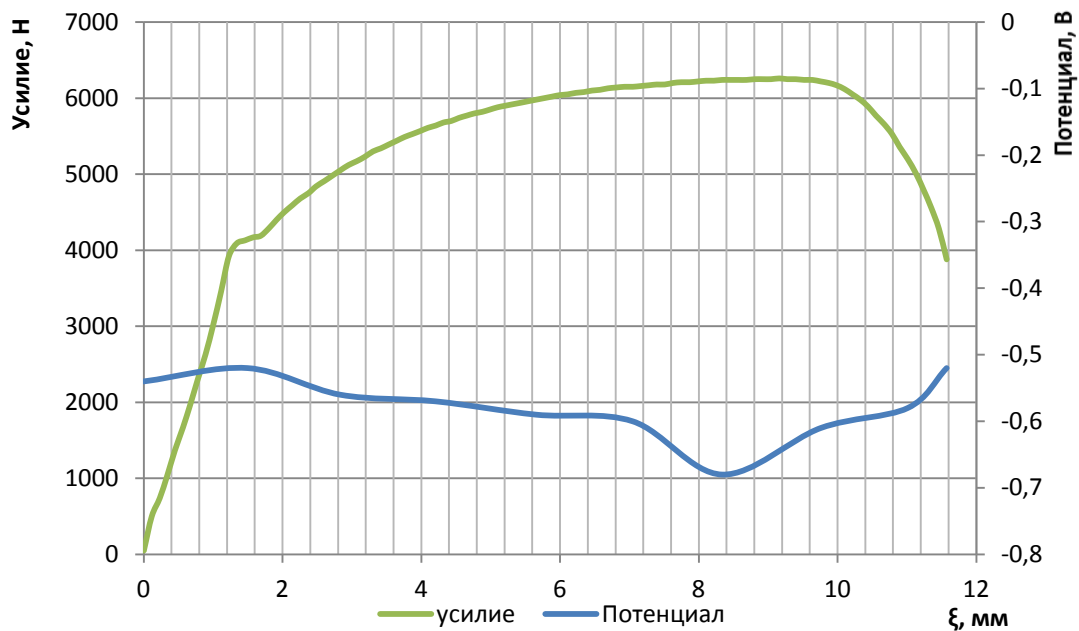


Рисунок 7. Результаты испытаний стали 09Г2С в 3 %-ом растворе NaCl

Результаты механохимических испытаний представлены в таблице 1.

Из анализа данных таблицы 1, видно, что в среде 3 %-ого раствора NaCl, результаты механических испытаний отличаются от результатов, полученных при растяжении на воздухе.

Так, для образцов из стали 20 предел прочности, в среднем, понизился на 8,8 %, а время до разрыва - на 4,24 %.

Для образцов из стали 09Г2С снижение предела прочности в коррозионной среде составило 23,1 %, а время до разрыва сократилось на 4,3 %.

Таблица 1. Результаты механохимических испытаний

Параметры	Сталь 20		09Г2С	
	на воздухе	в среде	на воздухе	в среде
σ_b , МПа	914,01	833,59	648,09	498,41
$T_{\text{разрыва}}$, МИН	42,67	40,86	42,77	40,95
ϵ , мм	12,54	12,00	11,09	11,57

Выводы

В результате испытаний установлено, что механические свойства низколегированной стали 09Г2С и углеродистой стали 20 ухудшаются при воздействии агрессивной среды. Так, для образцов из стали 20 предел прочности, в среднем, понизился на 8,8 %, а время до разрыва - на 4,24 %. Для образцов из стали 09Г2С снижение предела прочности в коррозионной среде составило 23,1 %, а время до разрыва сократилось на 4,3 %, что свидетельствует о мгновенном коррозионном воздействии среды на металл.

Измерение электродных потенциалов в процессе проведения испытаний на растяжение показало, что при значениях приложенного усилия, которые соответствуют пределу прочности для сталей 09Г2С и 20 в обеих средах, электродный потенциал образцов сместился в анодную область. Для стали

09Г2С экстремальное значение потенциала на воздухе равно -0,66 В, при этом смещение значения потенциала составило 26,7 %. В коррозионной среде для этой же стали экстремальное значение потенциала равно -0,68 В и смещение - 28,3 %. Для стали 20 электродный потенциал при нагрузках, близких к пределу прочности, на воздухе равен -0,65 В, а в 3 %-ом растворе NaCl равен -0,67 В. Смещение потенциалов составило 6,6 % и 11,6 % соответственно. Таким образом, по изменениям значений электродного потенциала металла можно спрогнозировать его напряженное состояние.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что критическое состояние исследуемых образцов в коррозионной среде при испытаниях на растяжение достигается раньше, чем на воздухе, что связано с развитием процессов механохимической коррозии.

Список литературы

1. Abdullin I.G., Gareev A.G. Corrosion Fatigue Durability of Pipe Steel in Carbonate-Bicarbonate Medium // Fiziko-Khimicheskaya Mekhanika Materialov. 1993. Vol. 29. Issue 5. P. 97-98.
2. Abdullin I.G., Gareev A.G. Corrosion-Fatigue

References

1. Abdullin I.G., Gareev A.G. Corrosion Fatigue Durability of Pipe Steel in Carbonate-Bicarbonate Medium. Fiziko-Khimicheskaya Mekhanika Materialov, 1993, Vol. 29, Issue 5, pp. 97-98.
2. Abdullin I.G., Gareev A.G. Corrosion-Fatigue

Durability of Pipe Steel in Carbonate-Bicarbonate Medium // Materials Science. 1994. Vol. 29. Issue 5. P. 539-541.

3. Rizvanov R.G., Abdeev R.G., Matveev N.L., Ryskulov R.G., Shenknekht A.I. Insafutdinov A.F. Effect of the Geometry of the Shell/Elliptical-Bottom Contact Zone on the Stress State of Pressure Vessels // Chemical and Petroleum Engineering. 2000. Vol. 36. Issue 4. P. 213-216.

4. Насибуллина О.А., Гареев А.Г. Разработка метода оценки остаточного ресурса магистральных газопроводов, имеющих дефекты коррозионного происхождения // Нефтегазовое дело. 2016. Т. 15. № 2. С. 174-178.

5. Гареев А.Г., Насибуллина О.А., Ризванов Р.Г., Хажиев А.Г. Исследование внутренней поверхности трубопровода системы нефтесбора Северо-Красноярского месторождения // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2016. № 2 (104). С. 58-64. DOI: 10.17122/ntj-oil-2016-2-58-64.

6. Nasibullina O.A., Gareev A.G., Rizvanov R.G. Investigation of the Hydrogen Stratification of the Metal of the Active Gas Pipeline // Solid State Phenomena. 2018. Vol. 284 SSP. P. 1302-1306. DOI: 10.4028/www.scientific.net/SSP.284.1302.

7. Гареев А.Г., Ризванов Р.Г., Насибуллина О.А. Коррозия и защита металлов в нефтегазовой отрасли. Уфа: Гилем, 2016. 352 с.

8. Nasibullina O.A., Gareev A.G. Destruction Patterns of X70 Steel Sample Possessing Cracks of Corrosion-Mechanical Origin, under Cyclic Loading // Materials Science Forum. 2019. Vol. 946. P. 381-386.

9. ГОСТ 1497-84. Металлы. Методы испытаний на растяжение. М.: Стандартиформ, 2008. 26 с.

10. Laptev A.B., Bugay D.E. Fighting Against Corrosion in Oil and Gas Complex of Russia: Problems and the Ways of their Solving // European Corrosion Congress (EUROCORR-2010): Proceedings of a Meeting. Moscow: Curran Associates, 2010. P. 191.

11. Кравцов В.В., Латыпов О.Р., Макаренко О.А., Ибрагимов И.Г. Коррозия и защита нефтезаводского и нефтехимического оборудования. М.: Химия, 2010. 344 с.

12. ГОСТ Р 9.905-2007. Единая система защиты от коррозии и старения. Методы коррозионных испытаний. Общие требования. М.: Стандартиформ, 2007. 20 с.

13. Черепашкин С.Е., Латыпов О.Р., Кравцов В.В. Методы исследования коррозии оборудования нефтегазового комплекса. Уфа: «Монография», 2016. 104 с.

14. Гареев А.Г., Насибуллина О.А., Ибрагимов И.Г. Оценка работоспособности труб, имеющих дефекты коррозионного происхождения // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2016. № 4 (106). С. 126-136. DOI: 10.17122/ntj-oil-2016-4-126-136.

15. Гареев А.Г., Худяков М.А., Кравцов В.В. Разрушение нефтегазового оборудования. Уфа: УГНТУ, 2010. 143 с.

Durability of Pipe Steel in Carbonate-Bicarbonate Medium. Materials Science, 1994, Vol. 29, Issue 5, pp. 539-541.

3. Rizvanov R.G., Abdeev R.G., Matveev N.L., Ryskulov R.G., Shenknekht A.I. Insafutdinov A.F. Effect of the Geometry of the Shell/Elliptical-Bottom Contact Zone on the Stress State of Pressure Vessels. Chemical and Petroleum Engineering, 2000, Vol. 36, Issue 4, pp. 213-216.

4. Nasibullina O.A., Gareev A.G. Razrabotka metoda otsenki ostatochnogo resursa magistral'nykh gazoprovodov, imeyushchikh defekty korrozionnogo proiskhozhdeniya [Development of the Method of the Gas Pipeline Residual Service Life Estimation, Having Defects of Corrosion Origin]. Neftgazovoe delo - Petroleum Engineering, 2016, Vol. 15, No. 2, pp. 174-178. [in Russian].

5. Gareev A.G., Nasibullina O.A., Rizvanov R.G., Khazhiev A.G. Issledovanie vnutrennei poverkhnosti truboprovoda sistemy neftesbora Severo-Krasnoyarskogo mestorozhdeniya [Study of the Inner Surface of the Oil Gathering Pipeline in the Northern Krasnoyarsk Field]. Problemy sbora, podgotovki i transporta nefi i nefteproduktov - Problems of Gathering, Treatment and Transportation of Oil and Oil Products, 2016, No. 2 (104), pp. 58-64. DOI: 10.17122/ntj-oil-2016-2-58-64 [in Russian].

6. Nasibullina O.A., Gareev A.G., Rizvanov R.G. Investigation of the Hydrogen Stratification of the Metal of the Active Gas Pipeline. Solid State Phenomena, 2018, Vol. 284 SSP, pp. 1302-1306. DOI: 10.4028/www.scientific.net/SSP.284.1302.

7. Gareev A.G., Rizvanov R.G., Nasibullina O.A. Korroziya i zashchita metallov v neftegazovoi otrasli [Corrosion and Protection of Metals in the Oil and Gas Industry]. Ufa, Gilem Publ., 2016. 352 p. [in Russian].

8. Nasibullina O.A., Gareev A.G. Destruction Patterns of X70 Steel Sample Possessing Cracks of Corrosion-Mechanical Origin, under Cyclic Loading. Materials Science Forum, 2019, Vol. 946, pp. 381-386.

9. GOST 1497-84. Metally. Metody ispytaniya na rastyazhenie [State Standard 1497-84. Metals. Methods of Tension Test]. Moscow, Standartinform Publ., 2008. 26 p. [in Russian].

10. Laptev A.B., Bugay D.E. Fighting Against Corrosion in Oil and Gas Complex of Russia: Problems and the Ways of their Solving. Proceedings of a Meeting «European Corrosion Congress (EUROCORR-2010)». Moscow, Curran Associates, 2010, pp. 191.

11. Kravtsov V.V., Latypov O.R., Makarenko O.A., Ibragimov I.G. Korroziya i zashchita neftezavodskogo i neftekhimicheskogo oborudovaniya [Corrosion and Protection of Refinery and Petrochemical Equipment]. Moscow, Khimiya Publ., 2010. 344 p. [in Russian].

12. GOST R 9.905-2007. Edinaya sistema zashchity ot korrozii i stareniya. Metody korrozionnykh ispytaniy. Obschie trebovaniya [State Standard R 9.905-2007. Unified System of Corrosion and Ageing Protection. Corrosion Test Methods. General Requirements]. Moscow, Standartinform Publ., 2007. 20 p. [in Russian].

13. Cherepashkin S.E., Latypov O.R., Kravtsov V.V. Metody issledovaniya korrozii oborudovaniya neftegazovogo kompleksa [Methods of Investigation of Corrosion of Oil and Gas Complex Equipment]. Ufa, «Monografiya» Publ., 2016. 104 p. [in Russian].

14. Gareev A.G., Nasibullina O.A., Ibragimov I.G. Otsenka rabotosposobnosti trub, imeyushchikh defekty korrozionnogo proiskhozhdeniya [Evaluation of the Performance of Pipes with Corrosion Defects]. Problemy sbora, podgotovki i transporta nefli i nefteproduktov - Problems of Gathering, Treatment and Transportation of Oil and Oil Products, 2016, No. 4 (106), pp. 126-136. DOI: 10.17122/ntj-oil-2016-4-126-136 [in Russian].

15. Gareev A.G., Khudyakov M.A., Kravtsov V.V. Razrushenie neftegazovogo oborudovaniya [Destruction of Oil and Gas Equipment]. Ufa, UGNTU Publ., 2010. 143 p. [in Russian].

Авторы

• Ишбулдина Алсу Айдаровна
Уфимский государственный нефтяной
технический университет
Студент кафедры «Технология нефтяного
аппаратостроения»
Российская Федерация, 450064, г.Уфа,
ул. Космонавтов, 1.
e-mail: alsu_ishbuldina@mail.ru

• Тюсенков Антон Сергеевич, канд. техн. наук
Уфимский государственный нефтяной
технический университет
Доцент кафедры «Технология нефтяного
аппаратостроения»
Российская Федерация, 450064, г.Уфа,
ул. Космонавтов, 1.
e-mail: anton.tyusenkov@yandex.ru

The Authors

• Ishbuldina Alsu A.
Ufa State Petroleum Technological University
Student of Petroleum Technology
Equipment Department
1, Kosmonavtov str., Ufa, 450064,
Russian Federation
e-mail: alsu_ishbuldina@mail.ru

• Tyusenkov Anton S., Candidate of Engineering
Sciences
Ufa State Petroleum Technological University
Assistant Professor of Petroleum Technology
Equipment Department
1, Kosmonavtov str., Ufa, 450064,
Russian Federation
e-mail: anton.tyusenkov@yandex.ru