

DOI: 10.17122/ntj-oil-2019-2-161-169

УДК 622.175

Р.Ф. Шайнурова, К.Д. Гиндуллина, О.А. Насибуллина, Э.Ш. Гайсин (Уфимский государственный нефтяной технический университет, г. Уфа, Российская Федерация)

## ВЛИЯНИЕ СПОСОБА ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ СТАЛИ 09Г2С НА ЕЕ КОРРОЗИОННУЮ СТОЙКОСТЬ

Roza F. Shaynurova, Karina D. Gindullina, Oksana A. Nasibullina, Emil Sh. Gaysin (Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russian Federation)

### INFLUENCE OF STEEL 09G2S HEAT TREATMENT METHOD FOR ITS CORROSION RESISTANCE

#### Введение

Благодаря высоким показателям прочности, механическим свойствам в различном диапазоне температур использование стали 09Г2С широко. После термической обработки данная сталь приобретает различные свойства, и в результате используется в машиностроении и других областях промышленности. Например, из нее изготавливаются трубопроводы для транспортировки различных жидкостей и газов, различные детали машин, паровые котлы, нефтепромысловое оборудование, резервуары.

#### Цели и задачи

Целью работы является определение влияния термической обработки стали 09Г2С на ее коррозионную стойкость.

Для достижения поставленной цели в работе решались следующие задачи:

1. провести термическую обработку стали 09 Г2С;
2. определить значение твердости образцов после термической обработки по методу Роквелла;
3. при помощи гравиметрического исследования определить глубинный и массовый показатели коррозии.

#### Background

Due to high strength, mechanical properties in different temperature ranges, the use of steel 09G2S is wide. After heat treatment, this steel acquires various properties, and as a result it is used in mechanical engineering and other areas of industry. For example, pipelines for various liquids and gases transportation, different machine parts, steam boilers, oil-field equipment, and tanks are made of it.

#### Aims and Objectives

The aim of the work is to determine the effect of heat treatment of steel 09G2S on its corrosion resistance.

To achieve this aim the following tasks were solved:

1. to conduct heat treatment of steel 09G2S;
2. to determine the value of the hardness of the samples after heat treatment according to the Rockwell method;
3. to determine the depth and mass indicators of corrosion using gravimetric studies.

### Результаты

Была произведена термическая обработка стали 09Г2С, при которой в результате нагревания до определенной температуры и охлаждения происходит изменение строения металла и, как следствие этого, изменение его механических и физических свойств. Для повышения твердости стали была произведена закалка с последующим отпуском. После проведения закалки было обнаружено повышение твердости стали 09Г2С. Твердость является важнейшей характеристикой механических свойств материалов. Для определения твердости выбирались один образец после закалки, а также пять образцов после отпуска. Твердость образцов определялась по методу Роквелла. На каждом образце выполнялось не менее трех замеров. В результате обнаружено, что максимальное значение твердости наблюдается после проведения закалки и последующего отпуска при 100 °С, минимальное значение при температуре отпуска 500 °С.

Скорость коррозии гравиметрическим методом определялась по потере массы металлических образцов за время их пребывания в испытываемой среде. Для оценки коррозионной агрессивности среды на исследуемые образцы рассчитывались массовый и глубинный показатели коррозии. Максимальная скорость коррозии наблюдается при закалке и последующем отпуске при температуре 300 °С, минимальная - при температуре отпуска 500 °С.

### Results

Heat treatment of steel 09G2S was performed. After heating to a certain temperature and cooling, it resulted in change in the structure of the metal and in change in its mechanical and physical properties. In order to increase the hardness of steel, hardening was performed followed by tempering. After quenching, an increase in the hardness of steel 09G2S was found. Hardness is the most important characteristic of the mechanical properties of materials. To determine the hardness, one sample was selected after quenching, as well as five samples after tempering. The hardness of the samples was determined by the Rockwell method. At least three measurements were performed on each sample. As a result, it was found that the maximum value of hardness is observed after quenching and subsequent tempering at 100 °C, the minimum value at a tempering temperature of 500 °C.

The corrosion rate by the gravimetric method was determined by the mass loss of metal samples during their stay in the test medium. To assess the corrosiveness of the environment on the studied samples, mass and deep corrosion indicators were determined. The maximum corrosion rate is observed during quenching and subsequent tempering at a temperature of 300 °C, the minimum - at a tempering temperature of 500 °C.

---

**Ключевые слова:** термическая обработка; нефтяная промышленность; показатели коррозии; гравиметрические исследования; твердость; закалка; отпуск; массовый показатель коррозии

**Key words:** heat treatment; oil industry; corrosion indicators; gravimetric studies; hardness; quenching; tempering; mass corrosion indicator

---

Термической обработкой называется тепловая обработка, при которой в результате нагревания до определенной температуры и охлаждения происходит изменение строения металла и, как следствие этого, изменение его механических и физических свойств [1-4].

Целью исследовательской работы являлось определение влияния термической обработки стали 09Г2С на ее коррозионную стойкость.

Для достижения поставленной цели в работе решались следующие задачи:

1. Проанализировать химический состав исследуемого металла;
2. Провести термическую обработку стали 09Г2С;
3. Определить значение твердости образцов после термической обработки по методу Роквелла;
4. При помощи гравиметрического исследования определить глубинный и массовый показатели коррозии.

Для повышения твердости стали была произведена закалка с последующим отпуском. Образцы стали 09Г2С загружались в печь, нагретую до температуры 950 °С, выдерживались при данной температуре 30 мин для равномерного нагрева и полной перекристаллизации, а затем мгновенно охлаждались в воде. После закалки торцевые поверхности образцов зачищались от окалины наждачной бумагой до металлического блеска. Значения твердости представлены в таблице 1.

Закаленные образцы подвергались отпуску при различных температурах, для этого образцы помещались в печи, нагретые до температур 100 °С, 200 °С, 300 °С, 400 °С, 500 °С. Далее образцы выдерживались при этих температурах 30 мин, затем вынимались из печей и охлаждались на спокойном воздухе.

После охлаждения отпущенные образцы зачищались наждачной бумагой до металлического блеска, и измерялась твердость. Полученные значения занесены в таблицу 2.

Твердость является важнейшей характеристикой механических свойств материалов.

Твердостью называется свойство материала сопротивляться проникновению в него другого более твердого тела (индентора).

В качестве индентора применялся наконечник из закаленной стали, алмаза или твердого сплава различной формы (шарик, конус, пирамида, иглы). Твердость материала определялась на специальном приборе – твердомере [5-10]. Вид прибора представлен на рисунке 1.

Основными узлами твердомера являются станина, рабочий столик, индентор, нагружающее устройство, прибор для измерения величины деформации. Сущность метода измерения твердости по Роквеллу (ГОСТ 9013-59) заключается во вдавливании в поверхность материала индикатора с алмазным или твердосплавным конусом с углом у вершины 120° или стальным закаленным шариком диаметром 1,5875 мм.

Единица твердости по Роквеллу (HRC) – безразмерная величина, соответствующая осевому перемещению индикатора на 0,002 мм. Чем глубже внедрение индикатора, тем меньше твердость [10-14].

До проведения термической обработки измерялась твердость образцов из углеродистой конструкционной низколегированной стали марки 09Г2С.

Результаты замеров представлены в таблице 3.

Таблица 1. Значение твердости образцов после закалки

Марка стали	Температура нагрева, °С	Способ охлаждения	Твердость				
			HRC				HV
09Г2С	950	мгновенно в воде	1	2	3	Ср.	
			16,0	15,9	16,1	16,0	

Таблица 2. Твердость образцов после проведения отпуска

Марка стали	Температура нагрева, °С	Способ охлаждения	Твердость				
			HRC				HB
			1	2	3	Ср.	
09Г2С	100	На воздухе	21,8	22,7	22,3	22,3	239
	200		20,1	20,4	19,8	20,1	230
	300		18,7	19,1	18,2	18,7	222
	400		14,5	15,9	15,3	15,2	212
	500		12,4	12,8	12,2	12,5	199



Рисунок 1. Твердомер Роквелла

Таблица 3. Начальная твердость образцов

Марка стали	Твердость				НВ
	HRC				
09Г2С	1	2	3	Ср.	178,5
	6,9	7,0	6,8	6,9	

Для определения твердости выбирались один образец после закалки, а также пять образцов после отпуска. Твердость образцов определялась по методу Роквелла.

На каждом образце необходимо произвести не менее трех измерений, среднеарифметическое значение твердости занесено в таблицы 1-2. Скорость коррозии гравиметрическим методом определялась по потере массы металлических образцов за время их пребывания в испытываемой среде. На рисунке 2, а представлены исследуемые образцы, помещенные в 3 %-ый раствор NaCl.

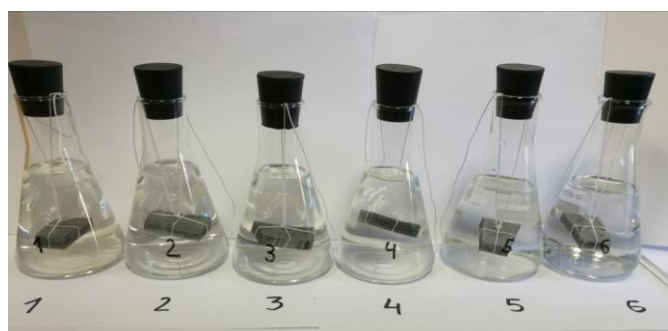
Для исследования влияние способа термической обработки стали 09Г2С на ее коррозионную стойкость необходимо взвесить на аналитических весах первоначальную

массу образцов  $m_1$  после термической обработки с точностью до  $10^{-4}$  г, определить площадь образцов, выдержать в коррозионной среде.

На рисунке 2 изображены виды исследуемого образца, погруженного в коррозионную среду в начале эксперимента и после экспозиции. Время экспозиции 168 ч.

Для оценки воздействия коррозионной среды на исследуемые образцы рассчитали массовый и глубинный показатели коррозии. Результаты занесены в таблицу 4.

На графиках (рисунки 4, 5) представлены зависимости глубинного показателя ( $\Pi$ ) коррозии от температуры термообработки, и твердости (HRC) от температуры термообработки соответственно.



а)



б)

а) образцы на начальном этапе эксперимента;

б) образцы после экспозиции

**Рисунок 3.** Виды исследуемых образцов, погруженных в 3 %-ый раствор NaCl

Таблица 4. Результаты расчета

Вид ТО	Температура нагрева, °С	Твердость, HRC	$m_1$ , г	$m_2$ , г	$\Delta m$ , г	$S \cdot 10^{-6}$ , м <sup>2</sup>	$K_m$ , г/м <sup>2</sup> · ч	П, мм/год
Отпуск	100	22,3	58,2708	58,2402	0,0306	2769,7456	0,0658	0,0732
	200	20,1	56,6915	56,6655	0,0260	2757,3976	0,0561	0,0624
	300	18,7	58,0099	57,9766	0,0333	2760,1352	0,0718	0,0799
	400	15,2	58,3366	58,3055	0,0311	2769,2840	0,0668	0,0743
	500	12,5	58,1927	58,1621	0,0306	2773,0834	0,0657	0,0731

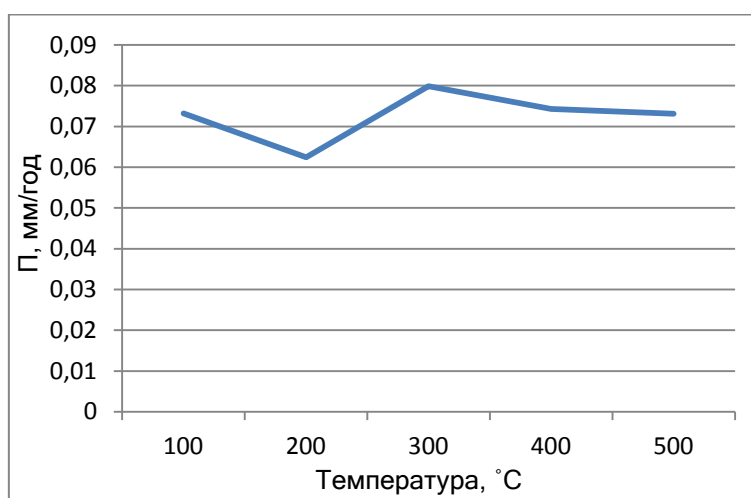


Рисунок 4. График зависимости глубинного показателя (П) коррозии от температуры термообработки

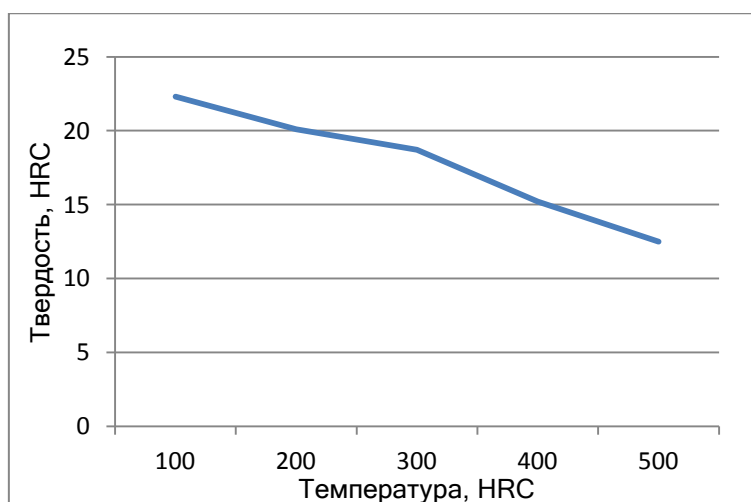


Рисунок 5. График зависимости твердости (HRC) от температуры термообработки

### Выводы

Была произведена термическая обработка, при которой в результате нагревания до определенной температуры и охлаждения происходит изменение строения металла и, как следствие этого, изменение его механических и физических свойств. Для повышения твердости стали была произведена закалка с последующим отпуском. После проведения закалки было обнаружено повышение твердости стали 09Г2С.

Твердость является важнейшей характеристикой механических свойств материалов. Для определения твердости выбирались один образец после закалки, а также пять образцов после отпуска. Твердость образцов определялась по методу Роквелла. На каж-

дом образце выполнялись не менее трех замеров. В результате обнаружено, что максимальное значение твердости наблюдается после проведения закалки и последующего отпуска при 100 °С, минимальное значение - при температуре отпуска 500 °С.

Скорость коррозии гравиметрическим методом определялась по потере массы металлических образцов за время их пребывания в испытываемой среде. Для оценки коррозионной агрессивности среды на исследуемые образцы рассчитывался массовый и глубинный показатели коррозии. Максимальная скорость коррозии наблюдается при закалке и последующем отпуске при температуре 300 °С, минимальная - при температуре отпуска 500 °С.

### Список литературы

1. Гареев А.Г., Ризванов Р.Г., Насибуллина О.А. Коррозия и защита металлов в нефтегазовой отрасли. Уфа: Изд-во Гилем НИК «Башкирская энциклопедия», 2016. 352 с.
2. Тюсенков А.С., Черепашкин С.Е., Худяков М.А., Ямщикова С.А., Насибуллина О.А. Материаловедение и технология конструкционных материалов. Уфа: Нефтегазовое дело, 2018. 94 с.
3. Насибуллина О.А., Абдуллин Т.Э. Исследование воздействия сероводородсодержащего газоконденсата на сталь 09Г2С // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2017. Вып. 2 (108). С. 121-130.
4. Насибуллина О.А., Гареев А.Г. Разработка метода оценки остаточного ресурса магистральных газопроводов, имеющих дефекты коррозионного происхождения // Нефтегазовое дело. 2016. Т. 14. № 2. С. 174-178.
5. Тюсенков А.С., Черепашкин С.Е. Ингибитор солеотложения для котловых систем // Журнал прикладной химии. 2014. Т. 87. Вып. 9. С. 1244-1249.
6. Насибуллина О.А., Гареев А.Г. Коррозионные испытания ингибиторов коррозии в условиях низкой обводненности // Образование и наука в современных условиях: матер. Внутривуз. науч.-практ. конф. Стерлитамак: Полиграфия, 2016. С. 287-288.
7. Повышение безопасности эксплуатации газонефтепроводов в условиях коррозионно-механических воздействий / А.Г. Гареев, М.В. Чучкалов, П.В. Климов, О.А. Насибуллина. СПб.: Недра, 2012. 220 с.
8. Фаритов А.Т., Рождественский Ю.Г., Ямщикова С.А., Минниханова Э.Р., Тюсенков А.С. Со-

### References

1. Gareev A.G., Rizvanov R.G., Nasibullina O.A. *Korroziya i zashchita metallov v neftegazovoi otrasli* [Corrosion and Metal Protection in Oil and Gas Industry]. Ufa, Gilem Publ., 2016. 352 p. [in Russian].
2. Tyusenkov A.S., Cherepashkin S.E., Khudyakov M.A., Yamshchikova S.A., Nasibullina O.A. *Materialovedenie i tekhnologiya konstruksionnykh materialov* [Material Science and Technology of Construction Materials]. Ufa, Neftegazovoe delo Publ., 2018. 94 p. [in Russian].
3. Nasibullina O.A., Abdullin T.E. *Issledovanie vozdeistviya serovodorodsoderzhashchego gazokondensata na stal' 09G2S* [Investigation of Hydrogen Sulfide Bearing Condensed Gas Influence on Steel 09G2S]. *Problemy sbora, podgotovki i transporta nefi i nefteproduktov - Problems of Gathering, Treatment and Transportation of Oil and Oil Products*, 2017, Issue 2 (108), pp. 121-130. [in Russian].
4. Nasibullina O.A., Gareev A.G. *Razrabotka metoda otsenki ostatochnogo resursa magistral'nykh gazoprovodov, imeyushchikh defekty korroziionnogo proiskhozhdeniya* [Development of the Method of the Gas Pipeline Residual Service Life Estimation, Having Defects of Corrosion Origin]. *Neftegazovoe delo - Petroleum Engineering*, 2016, Vol. 14, No. 2, pp. 174-178. [in Russian].
5. Tyusenkov A.S., Cherepashkin S.E. *Ingibitor soletozheniya dlya kotlovykh sistem* [Scale Inhibitor for Boiler Water Systems]. *Zhurnal prikladnoi khimii - Russian Journal of Applied Chemistry*, 2014, Vol. 87, Issue 9, pp. 1244-1249. [in Russian].
6. Nasibullina O.A., Gareev A.G. *Korroziionnye ispytaniya ingibitorov korrozii v usloviyakh nizkoi obvodnennosti* [Corrosion Tests of Corrosion Inhibitors in Low Water Cut Conditions]. *Materialy*

вершенствование метода линейного поляризации-онного сопротивления для испытаний ингибиторов коррозии стали // *Металлы*. 2016. № 6. С. 36-43.

9. Гареев А.Г. Основы коррозии металлов. Уфа: Изд-во УГНТУ, 2011. 256 с.

10. Тюсенков А.С., Исянаманов З.Ф., Кононов Д.В., Лаптев А.Б., Бугай Д.Е. Влияние деэмульгаторов на распределение статических зарядов в водонефтяной эмульсии при ее транспортировке по футерованным трубопроводам // *Проблемы и методы обеспечения надежности и безопасности систем транспорта нефти, нефтепродуктов и газа: сб. матер. Междунар. науч.-практ. конф.* Уфа, 2011. С. 145-147.

11. Тюсенков А.С. Коррозионная стойкость стали 13ХФА // *Сталь*. 2016. № 2. С. 53-57.

12. Хайдарова Г.Р., Исанбердина Л.Р., Тюсенков А.С., Кононов Д.В., Бугай Д.Е. Ингибиторы на основе четвертичных аммониевых соединений для защиты нефтегазового оборудования от коррозии // *Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов*. 2016. Вып. 4 (106). С. 74-84.

13. 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. Вып. 2 (104). С. 126-136.

14. Попов Б.И., Шарафиев Р.Г., Ризванов Р.Г., Кулаков П.А. Анализ возможных опасностей при эксплуатации установки синтетического олигопериленового каучука // *Безопасность труда в промышленности*. 2006. № 12. С. 60-63.

*Vnutrivuzovskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Obrazovanie i nauka v sovremennykh usloviyakh»* [Materials of Intrauniversity Scientific-Practical Conference «Education and Science in Modern Conditions»]. Sterlitamak, Poligrafiya Publ., 2016, pp. 287-288. [in Russian].

7. Gareev A.G., Chuchkalov M.V., Klimov P.V., Nasibullina O.A. *Povyshenie bezopasnosti ekspluatatsii gazonefteprovodov v usloviyakh korrozionno-mekhanicheskikh vozdeistvii* [Safety Improvement of Gas and Oil Pipelines in Conditions of Corrosion and Mechanical Effects]. Saint-Petersburg, Nedra Publ., 2012. 220 p. [in Russian].

8. Faritov A.T., Rozhdestvenskii Yu.G., Yamshchikova S.A., Minnikhanova E.R., Tyusenkov A.S. *Sovershenstvovanie metoda lineinogo polyarizatsionnogo soprotivleniya dlya ispytaniy ingibitorov korrozii stali* [Improving the Linear Polarization Resistance Method for Steel Corrosion Inhibitors Testing]. *Metally - Metals*, 2016, No. 6, pp. 36-43. [in Russian].

9. Gareev A.G. *Osnovy korrozii metallov* [Metal Corrosion Basics]. Ufa, UGNTU Publ., 2011. 256 p. [in Russian].

10. Tyusenkov A.S., Isyanamanov Z.F., Kononov D.V., Laptev A.B., Bugai D.E. *Vliyanie deemul'gatorov na raspredelenie staticheskikh zaryadov v vodoneftyanoi emul'sii pri ee transportirovke po futerovannym truboprovodam* [The effect of demulsifiers on the distribution of static charges in a water-in-oil emulsion during its transportation through lined pipelines]. *Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Problemy i metody obespecheniya nadezhnosti i bezopasnosti sistem transporta nefiti, nefteproduktov i gaza* [Proceedings of International Scientific and Practical Conference «Problems and Ways of Ensuring Safety and Reliability of Oil/Product/Gas Transporting Systems»]. Ufa, 2011, pp. 145-147. [in Russian].

11. Tyusenkov A.S. *Korrozionnaya stoikost' stali 13KhFA* [Corrosion Resistance of Steel 13HFA]. *Stal' - Steel*, 2016, No. 2, pp. 53-57. [in Russian].

12. Khaidarova G.R., Isanberdina L.R., Tyusenkov A.S., Kononov D.V., Bugai D.E. *Ingibitory na osnove chetvertichnykh ammonievnykh soedinenii dlya zashchity neftegazovogo oborudovaniya ot korrozii* [Inhibitors Based on Quaternary Ammonium Compounds for the Anti-Corrosive Protection of Oil and Gas Equipment]. *Problemy sbora, podgotovki i transporta nefiti i nefteproduktov - Problems of Gathering, Treatment and Transportation of Oil and Oil Products*, 2016, Issue 4 (106), pp. 74-84. [in Russian].

13. 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 nefiti i nefteproduktov - Problems of Gathering, Treatment and Transportation of Oil and Oil Products*, 2016, Issue 2 (104), pp. 126-136. [in Russian].

14. Popov B.I., Sharafiev R.G., Rizvanov R.G., Kulakov P.A. *Analiz vozmozhnykh opasnostei pri*



eksploatatsii ustanovki sinteticheskogo oligopiperilenovogo kauchuka [Analysis of Possible Hazards during the Operation of a Synthetic Oligopiperylene Rubber Unit]. *Bezopasnost' truda v promyshlennosti - Occupational Safety in Industry*, 2006, No. 12, pp. 60-63. [in Russian].

**Авторы**

• Шайнурова Роза Фаниловна  
Уфимский государственный нефтяной  
технический университет  
Студент кафедры «Технология нефтяного  
аппаратостроения»  
Российская Федерация, 450062, г. Уфа,  
ул. Космонавтов, 1  
e-mail: rozasajnurova46526@gmail.com

• Гиндуллина Карина Дамировна  
Уфимский государственный нефтяной  
технический университет  
Студент кафедры «Технология нефтяного  
аппаратостроения»  
Российская Федерация, 450062, г. Уфа,  
ул. Космонавтов, 1  
e-mail: gindullina\_k@mail.ru

• Насибуллина Оксана Алексеевна, канд. техн.  
наук  
Уфимский государственный нефтяной  
технический университет  
Доцент кафедры «Технология нефтяного  
аппаратостроения»  
Российская Федерация, 450062, г. Уфа,  
ул. Космонавтов, 1  
e-mail: ksu33@bk.ru

• Гайсин Эмиль Шамилевич  
Уфимский государственный нефтяной  
технический университет  
Преподаватель кафедры «Транспорт и хранение  
нефти и газа»  
Российская Федерация, 450062, г. Уфа,  
ул. Космонавтов, 1  
e-mail: gaysin.emil@mail.ru

**The Authors**

• Shaynurova Roza F.  
Ufa State Petroleum Technological University  
Student of Oil Processing Equipment Technology  
Department  
1, Kosmonavtov str., Ufa, 450062,  
Russian Federation  
e-mail: rozasajnurova46526@gmail.com

• Gindullina Karina D.  
Ufa State Petroleum Technological University  
Student of Oil Processing Equipment Technology  
Department  
1, Kosmonavtov str., Ufa, 450062,  
Russian Federation  
e-mail: gindullina\_k@mail.ru

• Nasibullina Oksana A., Candidate of Engineering  
Sciences  
Ufa State Petroleum Technological University  
Assistant Professor of Oil Processing Equipment  
Technology Department  
1, Kosmonavtov str., Ufa, 450062,  
Russian Federation  
e-mail: ksu33@bk.ru

• Gaysin Emil Sh.  
Ufa State Petroleum Technological University  
Lecturer of Oil and Gas Transport and Storage  
Department  
1, Kosmonavtov str., Ufa, 450062,  
Russian Federation  
e-mail: gaysin.emil@mail.ru