

DOI: 10.17122/ntj-oil-2019-2-125-132
УДК 622.692.23: 628.147.22: 620.193.13

Д.В. Новицкий (Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень, Российская Федерация), **А.В. Сальников** (Ухтинский государственный технический университет, г. Ухта, Российская Федерация)

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ДИНАМИКИ ДВИЖЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ ПРИМЕСЕЙ НА ПРОЦЕССЫ КОРРОЗИОННОГО РАЗРУШЕНИЯ РЕЗЕРВУАРОВ ПОДГОТОВКИ ВЫСОКОВЯЗКИХ НЕФТЕЙ К МАГИСТРАЛЬНОМУ ТРАНСПОРТУ

Dmitriy V. Novitsky (Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russian Federation), **Aleksandr V. Salnikov** (Ukhta State Technical University, Ukhta, Russian Federation)

ASSESSMENT OF THE INFLUENCE OF MECHANICAL IMPURITIES MOVEMENT DYNAMICS ON CORROSION DESTRUCTION PROCESSES IN HIGH-VISCOSITY OIL TANKS TO THE MAIN TRANSPORT

Введение

Очистка высоковязких нефтей от механических примесей перед магистральным транспортом, деэмульгирование, обезвоживание и обессоливание в резервуарах, эксплуатирующихся в специфических условиях Крайнего Севера, затрудняются рядом технологических особенностей, приводящих в то же время к интенсификации в них коррозионных процессов.

Исследованиям коррозии вертикальных стальных резервуаров с целью управления их эксплуатационной надежностью посвящен ряд работ, однако механизм комплексного взаимодействия факторов, стимулирующих развитие коррозионных процессов, на сегодняшний день изучен недостаточно.

Background

Purification of high-viscosity oils from mechanical impurities before the main transport, demulsification, dehydration and desalting in tanks operated under the specific conditions of the Far North are hampered by a number of technological features, which at the same time intensify corrosion processes in them.

A number of studies are devoted to corrosion studies of vertical steel tanks in order to control their operational reliability; however, the mechanism of complex interaction of factors stimulating the development of corrosion processes has not been studied sufficiently today.

Цели и задачи

Оценка влияния механических примесей, содержащихся в водонефтяной эмульсии, на интенсивность коррозионных процессов на внутренних поверхностях резервуара в потенциально опасных зонах.

Результаты

При высокой производительности операций по закачке-выкачке и коэффициенте оборачиваемости резервуара содержащиеся в эмульсии механические примеси контактируют с внутренним противокоррозионным покрытием, снижая его эффективность. Уточнение зон истирания покрытия, соотношение их с зонами контакта сред в резервуаре и металла стенок, оценка эффективности покрытий становятся важными задачами для прогнозирования остаточного ресурса резервуаров-отстойников и разработки мероприятий по их защите от коррозии, требующими научного обоснования.

Проведена оценка влияния динамики движения механических примесей на процессы коррозионного разрушения резервуаров-отстойников на примере РВС-5000 парка входных резервуаров цеха по подготовке и перекачке нефти нефтешахтного управления «Яреганефть».

Aims and Objectives

The assessment of the effect of mechanical impurities in a water-in-oil emulsion on the intensity of corrosion processes on the reservoir internal surfaces in potentially dangerous areas is of considerable interest.

Results

With a high productivity of injecting-discharging operations and a tank turnover ratio, the mechanical impurities in emulsion come into contact with the internal anti-corrosion coating, reducing its effectiveness. Refinement of coating abrasion zones, their correlation with the contact zones of media in the tank and metal walls, evaluation of the effectiveness of coatings become important tasks for predicting the residual life of the settling tanks and developing measures for their protection against corrosion that require scientific justification.

This article assesses the impact of mechanical impurities dynamics on the processes of corrosion destruction of the settling tanks using the example of the RVS-5000 of the park of input tanks of the Yareganefit oil management department.

Ключевые слова: резервуар-отстойник; коррозионное разрушение; зоны коррозионного разрушения; механические примеси

Key words: settling tank; corrosion damage; corrosion damage zones; mechanical impurities

Введение

Очистка высоковязких нефтей от механических примесей перед магистральным транспортом, деэмульгирование, обезвоживание и обессоливание в резервуарах, эксплуатирующихся в специфических условиях Крайнего Севера, затрудняются рядом технологических особенностей, приводящих в то же время к интенсификации в них коррозионных процессов.

Исследованиям коррозии вертикальных стальных резервуаров с целью управления их

эксплуатационной надежностью посвящен ряд работ [1-9], однако механизм комплексного взаимодействия факторов, стимулирующих развитие коррозионных процессов в резервуарах подготовки высоковязких нефтей к магистральному транспорту, на сегодняшний день изучен недостаточно. Так, основанная на зонировании по высоте конструкции резервуаров комплексная характеристика протекающих в них коррозионных процессов, представленная в работе [10], применяется только к резервуарам для хранения нефтепродуктов и товарной нефти.

Проведенный ранее [11] анализ факторов, влияющих на механизмы развития коррозии в резервуарах-отстойниках типа РВС-5000, расположенных в парке входных резервуаров цеха по подготовке и перекачке нефти (ЦППН) нефтешахтного управления «Ярега-нефть», позволил выделить потенциально опасные зоны контакта находящихся в резервуаре сред с металлом его оболочки, кровли и днища. Так, по виду коррозионных повреждений и механизму воздействия на металл коррозионно-активных сред предложено, в отличие от [10], выделять в резервуарах-отстойниках пять зон:

- зону контакта металла резервуара с подтоварной водой (I зона);
- зону постоянного смачивания металла стенок резервуара водонефтяной эмульсией различной степени обводненности (II зона);
- зона постоянного смачивания металла стенки резервуара с нефтью (III зона);
- зона переменного смачивания металла стенок резервуара с нефтью (IV зона);
- зона контакта металла резервуара с паровоздушной смесью (V зона).

I зона характеризуется наличием ножевой и язвенной коррозии и, как правило, является наиболее опасной по совокупности признаков [9]. Авторы [10] подчеркивают, что значительный вклад в развитие коррозии в данной зоне приносит комбинированное влияние электрохимической коррозии и абразивного воздействия механических примесей. Такое эрозионное воздействие механических примесей на противокоррозионные покрытия, образующиеся на металле в ходе эксплуатации, защитные пленки и сам металл увеличивает скорость электрохимической коррозии участков I зоны с подтоварной водой высокой минерализации и электропроводности, в которой могут присутствовать сероводород, свободная углекислота и сульфатовосстанавливающие бактерии.

В то же время, как правило, уровень ввода водонефтяной эмульсии в объем резервуаров-отстойников не совпадает с границами I зоны, а расположен выше нее, в зоне II. При высоких значениях оборачиваемости резервуаров и скоростях закачки сложно поддающийся оценке процесс ее коррозион-

ного взаимодействия со стенками резервуара усугубляется эрозионным и эмульгирующим воздействием механических примесей различного размера.

Следовательно, проведение исследований по оценке влияния механических примесей на скорость коррозионных процессов в потенциально опасных зонах резервуаров-отстойников необходимо для уточнения и ранжирования их опасности, прогнозирования остаточного ресурса и разработки эффективных противокоррозионных мероприятий.

Объект и исходные данные исследования

В качестве объекта для исследования процесса взаимодействия механических примесей, поступающих в составе водонефтяной эмульсии в резервуары-отстойники, с обечайкой резервуара, принят РВС-5000 парка входных резервуаров цеха по подготовке и перекачке нефти (ЦППН) нефтешахтного управления «Ярега-нефть».

Резервуары-отстойники парка могут эксплуатироваться как в режиме штатного заполнения и опорожнения, так и в режиме циклического заполнения, при котором частота цикла обусловлена актуальным дебитом скважин. При этом условия эксплуатации резервуаров осложнены особенностями поставляемого с Ярегского месторождения сырья [11], характеризующегося высоким содержанием в нем пластовой воды и механических примесей.

При циклическом режиме эксплуатации в течение 12 ч резервуары через щелевые патрубки Ду 500 с размерами щелей 15 x 160 мм заполняют водонефтяной эмульсией температурой 80 °С и обводненностью 80-90 % с уровня взлива 3000-3500 мм до уровня 12700-12900 мм с одновременным опорожением той же производительности. Плотность поступающей в резервуар эмульсии при температуре эксплуатации составляет 942,5-958,7 кг/м³.

Производительность закачки резервуара составляет 1400-1600 м³/ч, при этом производится одновременная откачка двумя насосными агрегатами подтоварной воды с производительностью 700-800 м³/ч.

После этого резервуар переводится на 10-12 ч в режим отстаивания.

Уровень взлива в резервуарах РВС-500 рассматриваемого ЦППН поддерживается постоянным и составляет при проектной высоте резервуара 14490 мм в среднем 12500 мм.

При цикличном режиме эксплуатации объем подтоварной воды может достигать порядка 6 м от высоты предельно допустимого взлива резервуара, но в среднем колеблется от 1500 до 4000 мм.

Наибольший объем в резервуаре занимает водонефтяная эмульсия - от 3000 до 8000 мм, при этом массовое содержание воды составляет от 10 % в средних поясах резервуара до 80 % в нижних. Содержание механических примесей в эмульсии на входе в

резервуар колеблется в диапазоне от 460 до 610 мг/дм³.

Проведенный анализ компонентного состава пробы донных отложений резервуара показал наличие в ней нефти в количестве 0,5 % массы, растворимых солей - 0,6 %, карбонатов - 12,2 %, оксидов железа - 26,3 % и нерастворимого остатка, представленного смесью осадочных горных пород, в количестве 60,40 % массы.

После проведения исследования было установлено, что нерастворимый остаток в донных отложениях (рисунок 1) представляет собой песчаник фракцией 5-10 мкм в количестве 21,81 % массы, фракцией 10-20 мкм - 18,10 %, фракцией 20-50 мкм - 9,88 %, фракцией 50-100 мкм - 18,11% и фракцией 100-1000 мкм - 32,10 %.



Рисунок 1. Нерастворимый остаток донных отложений резервуара-отстойника РВС-5000 после проведения исследования

Моделирование движения механических примесей при истечении водонефтяной эмульсии из приемного щелевого патрубка резервуара-отстойника

В ходе исследований на основании геометрических параметров резервуара-отстойника РВС-5000 парка входных резервуаров цеха по подготовке и перекачке нефти (ЦППН) нефтешахтного управления «Ярег-нефть» в программном комплексе SolidWorks была построена модель (рисунок 2, а) и выбрано расчетное сечение (рисунок 2, б).

Сечение для анализа было выбрано исходя из конструкции резервуара и щелевого патрубка для ввода водонефтяной эмульсии, их геометрических размеров и расположения патрубка относительно внутренней поверхности стенок резервуара (рисунок 3).

Течение потока моделировалось в программном модуле ANSYS Fluent, число элементов плоской расчетной сетки составило около 90000. Визуализированные результаты моделирования, сопоставленные с метровой масштабной сеткой, представлены на рисунках 4 и 5.

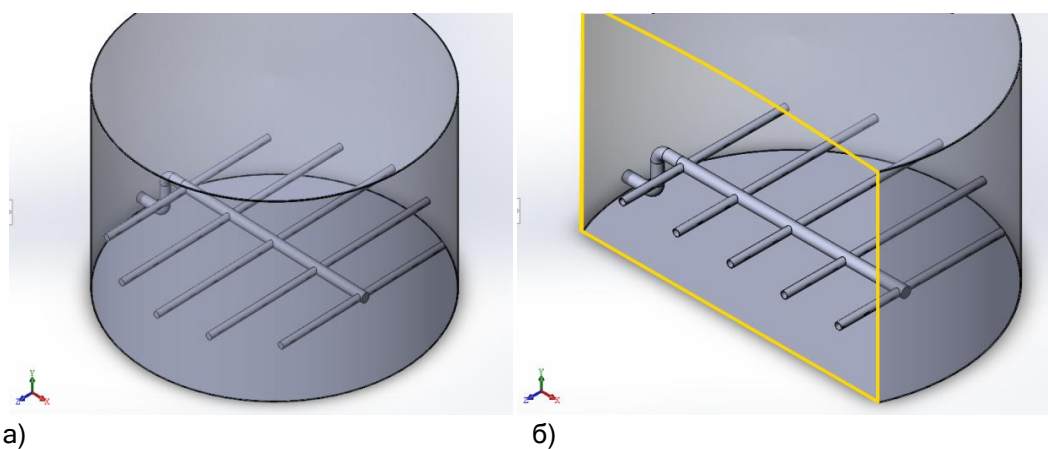


Рисунок 2. Модель резервуара отстойника РВС-5000: общий вид модели (а), рассматриваемое при анализе сечение (б)

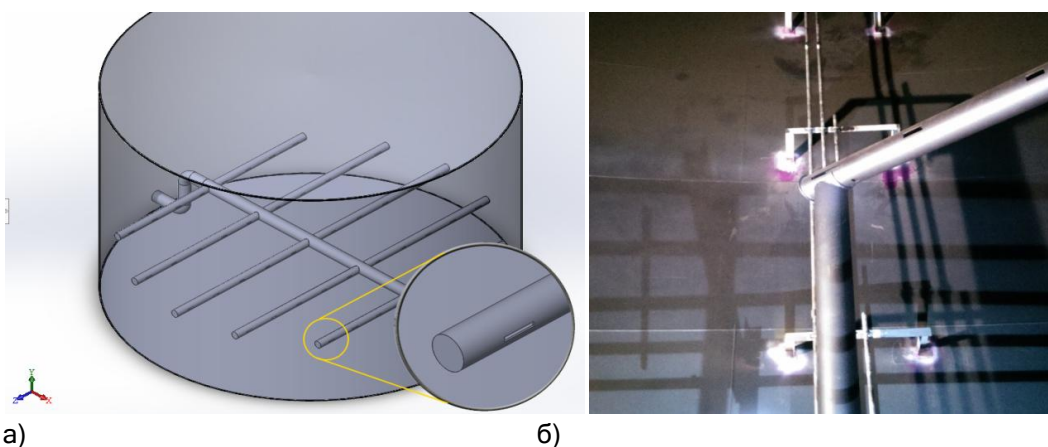


Рисунок 3. Патрубок для ввода эмульсии в резервуар: концевая щель вводного патрубка в рассматриваемом сечении (а); общий вид вводного щелевого патрубка при монтаже внутри резервуара (б)

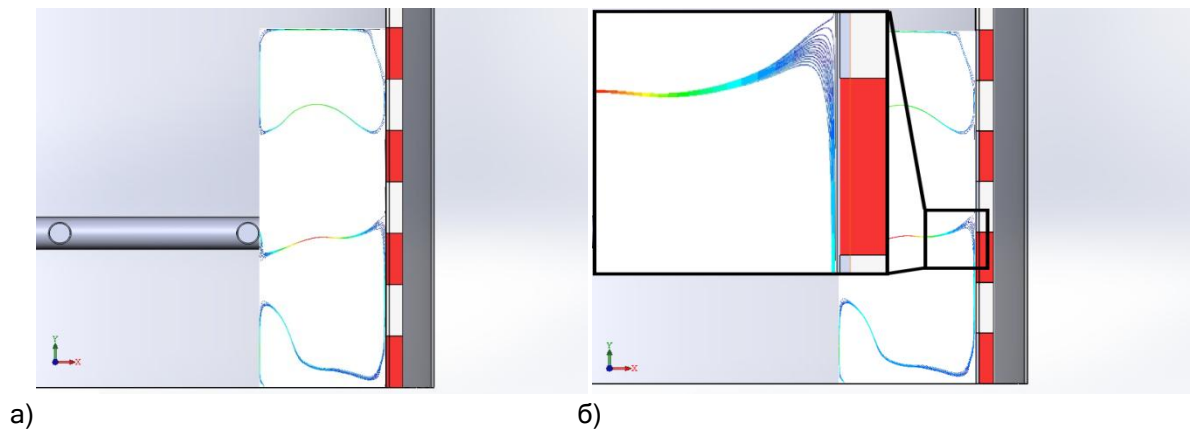


Рисунок 4. Движение вводимой в резервуар-отстойник жидкости: траектория движения механических примесей (а); зона столкновения потока механических примесей со стенкой резервуара (б)

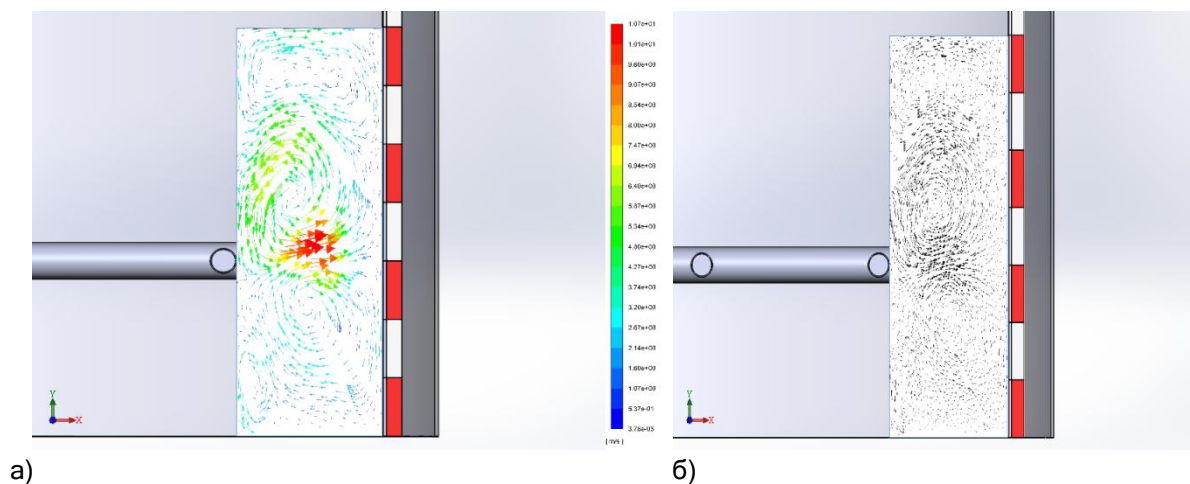


Рисунок 5. Динамика движения механических примесей в резервуаре-отстойнике: распределение скоростей потока жидкости (а); распределение механических примесей (б)

Полученные в результате моделирования траектория движения частиц механических примесей, распределение скоростей и механических примесей показали, что после соударения потока, исходящего из щелевидного патрубка, со стенкой резервуара, он разделяется на восходящий и нисходящий.

Ввиду неоднородности по массе частицы механических примесей увлекаются обоими потоками, при этом более тяжелые час-

тицы опускаются вдоль стенки резервуара и продолжают движение вдоль дна от периферии к его центру, частицы малой массы вовлекаются в завихрение, также контактирующее со стенкой резервуара, но распложенное выше вводного патрубка.

При этом скорость движения механических примесей в восходящем вихревом потоке выше, чем в нисходящем.

Выводы

Результаты моделирования движения механических примесей при истечении водонефтяной эмульсии из приемного щелевого патрубка резервуара-отстойника РВС-5000 парка входных резервуаров цеха по подготовке и перекачке нефти (ЦППН) нефтешахтного управления «Яреганефть» позволили установить значительное воздействие механических примесей на металл (или внутреннее защитное покрытие) резервуара в I зоне по классификации [11].

Наибольшее эрозионное воздействие механические примеси будут оказывать на стенку резервуара в зоне истечения водонефтяной эмульсии из щелевидного патрубка на высоте 3,0-3,5 м от днища резервуара, что соответствует середине второго пояса резервуара и нижней части третьего пояса. Далее

механические примеси I увлекаются потоком вниз, продолжая контактировать со стенкой и дном резервуара. Однако результаты моделирования выявили потенциально не менее опасный участок во II зоне, занимающий до 80 % по ее высоте, где вовлеченные в вихревой поток механические примеси контактируют на высоких скоростях со стенкой резервуара.

Таким образом, для ранжирования опасности исследованных зон необходимо провести дальнейшие исследования по оценке степени влияния механических примесей на интенсивность коррозионного воздействия на металл резервуара сред, хранимых в I и II зонах, а также оценить эффективность применяемых ингибиторов и защитных покрытий при наличии в данных зонах механических примесей.

Список литературы

1. Ионов А.В. Разработка стратегии технического обслуживания и ремонта стальных вертикальных резервуаров на основании прогноза индивидуального остаточного ресурса: дис. канд. техн. наук. Уфа, 1997. 251 с.
2. Красиков Д.В. Повышение ресурса стальных вертикальных резервуаров на основе использования лакокрасочных покрытий и ингибиторов коррозии: дис. ... канд. техн. наук. Уфа, 2005. 140 с.
3. Макаренко О.А. Управление ресурсом безопасной эксплуатации стальных резервуаров для хранения нефтепродуктов: дис. ... д-ра техн. наук. Уфа, 2010. 342 с.
4. Тамбова О.В. Повышение стойкости понтонов из алюминиевых сплавов в стальных резервуарах к воздействию водных электролитов: дис. ... канд. техн. наук. Уфа, 2007. 126 с.
5. Семин Е.Е. Оценка долговечности уторных узлов вертикальных стальных резервуаров в процессе эксплуатации: дис. ... канд. техн. наук. М., 2012. 146 с.
6. Сильницкий П.Ф. Влияние дефектов сварки на напряженно-деформированное состояние резервуаров: дис. ... канд. техн. наук. Тюмень, 2012. 181 с.
7. Тарасенко М.А. Разработка методики восстановления несущей способности резервуара с коррозионными повреждениями: дис. ... канд. техн. наук. Тюмень, 2012. 155 с.
8. Алешкина А.А., Бурков П.В., Буркова С.П. Исследование состояния днища резервуаров вертикальных стальных // Машиностроение. 2013. № 4. С. 92-98.

References

1. Ionov A.V. Razrabotka strategii tekhnicheskogo obsluzhivaniya i remonta stal'nykh vertikal'nykh rezervuarov na osnovanii prognoza individual'nogo ostatochnogo resursa: dis. kand. tekhn. nauk. [Development of a Strategy for the Maintenance and Repair of Steel Vertical Tanks Based on the Forecast of Individual Residual Life: Cand. Engin. Sci. Diss.]. Ufa, 1997. 251 p. [in Russian]. [in Russian].
2. Krasikov D.V. Povyschenie resursa stal'nykh vertikal'nykh rezervuarov na osnove ispol'zovaniya lakokrasochnykh pokrytii i ingibitorov korrozii: dis. ... kand. tekhn. nauk. [Increasing the Life of Steel Vertical Tanks Based on the Use of Paint Coatings and Corrosion Inhibitors: Cand. Engin. Sci. Diss.]. Ufa, 2005. 140 p. [in Russian]. [in Russian].
3. Makarenko O.A. Upravlenie resursom bezopasnoi ekspluatatsii stal'nykh rezervuarov dlya khraneniya nefteproduktov: dis. ... d-ra tekhn. nauk. [Resource Management for the Safe Operation of Steel Tanks for the Storage of Petroleum Products: D-r Engin. Sci. Diss.]. Ufa, 2010. 342 p. [in Russian]. [in Russian].
4. Tambova O.V. Povyschenie stoikosti pontonov iz alyuminievykh splavov v stal'nykh rezervuarakh k vozdeistviyu vodnykh elektrolitov: dis. ... kand. tekhn. nauk. [Resource Management for the Safe Operation of Steel Tanks for the Storage of Petroleum Products: Cand. Engin. Sci. Diss.]. Ufa, 2007. 126ps. [in Russian]. [in Russian].
5. Semin E.E. Otsenka dolgovechnosti utornykh uzlov vertikal'nykh stal'nykh rezervuarov v protsesse ekspluatatsii: dis. ... kand. tekhn. nauk. [Evaluation of the Durability of the Hinge Assemblies of Vertical Steel Tanks during Operation: Cand. Engin. Sci. Diss.]. Moscow, 2012. 146 p. [in Russian]. [in Russian].

9. Кондрашова О.Г., Назарова М.Н. Причинно-следственный анализ аварий вертикальных стальных резервуаров // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». 2004. Вып. 2. 8 с.

10. Коршак А.А., Коробков Г.Е., Муфтахов Е.М. Нефтебазы и АЗС. Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 2006. 416 с.

11. Новицкий Д.В. Анализ процесса коррозионного разрушения резервуаров-отстойников подготовки высоковязкой нефти к транспорту по магистральным нефтепроводам // Нефть и газ. 2019. № 2. С. 71-80.

6. Sil'nitskii P.F. Vliyanie defektov svarki na napyazhenno-deformirovannoe sostoyanie rezervuarov: dis. ... kand. tekhn. nauk. [Effect of Welding Defects on the Stress-Strain State of Tanks: Cand. Engin. Sci. Diss.]. Tyumen', 2012. 181 p. [in Russian].

7. Tarasenko M.A. Razrabotka metodiki vosstanovleniya nesushchei sposobnosti rezervuara s korroziionnymi povrezhdeniyami: dis. ... kand. tekhn. nauk. [Development of Methods for Restoring the Carrying Capacity of a Tank with Corrosion Damage: Cand. Engin. Sci. Diss.]. Tyumen, 2012. 155 p. [in Russian].

8. Aleshkina A.A., Burkov P.V., Burkova S.P. Issledovanie sostoyaniya dnishcha rezervuarov vertikal'nykh stal'nykh [Study of the State of the Bottom of Vertical Steel Tanks]. *Mashinostroenie - Mechanical Engineering*, 2013, No. 4, pp. 92-98. [in Russian].

9. Kondrashova O.G., Nazarova M.N. Prichinno-sledstvennyi analiz avarii vertikal'nykh stal'nykh rezervuarov [A Causal Analysis of Accidents of Vertical Steel Tanks]. *Elektronnyi nauchnyi zhurnal «Neftegazovoe delo» - Electronic Scientific Journal «Oil and Gas Business»*, 2004, Issue 2. 8 p. [in Russian].

10. Korshak A.A., Korobkov G.E., Muftakhov E.M. Neftebazy i AZS [Tank Farms and Gas Stations]. Ufa, DizainPoligrafServis Publ., 2006. 416 p. [in Russian].

11. Novitskii D.V. Analiz protsessa korroziionnogo razrusheniya rezervuarov-otstoinikov podgotovki vysokovyazkoi nefti k transportu po magistral'nym nefteprovodam [Analysis of the Process of Corrosion Destruction of Tanks-Settlers for the Preparation of High-Viscosity Oil for Transport through Main Oil Pipelines]. *Neft' i gaz - Oil and Gas*, 2019, No. 2, pp. 71-80. [in Russian].

Авторы

• Новицкий Дмитрий Владимирович, канд. техн. наук
Тюменский индустриальный университет
Доцент кафедры «Транспорт углеводородных ресурсов»
Российская Федерация, 625000, г. Тюмень,
ул. Володарского, 38
e-mail: dvnovitskiy@mail.ru

• Сальников Александр Викторович, канд. техн. наук, доцент
Ухтинский государственный технический университет
Доцент кафедры «Проектирование и эксплуатация магистральных газонефтепроводов»
Российская Федерация, 169300, г. Ухта,
ул. Первомайская, 13
e-mail: ugtusovet@yandex.ru

The Authors

• Novitskiy Dmitriy V., Candidate of Engineering Sciences
Industrial University of Tyumen
Assistant Professor of Hydrocarbon Resources Transportation Department
38, Volodarskogo str., Tyumen, 625000,
Russian Federation
e-mail: dvnovitskiy@mail.ru

• Salnikov Aleksandr V., Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor
Ukhta State Technical University
Assistant Professor of Design and Operation of Trunk Gas and Oil Pipelines Department
13, Pervomayskaya str., Ukhta, 169300,
Russian Federation
e-mail: ugtusovet@yandex.ru