Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2021. Вып. 6 (134). С. 93-102. ISSN 1998-8443 (print)

Problems of Gathering, Treatment and Transportation of Oil and Oil Products. 2021. Issue 6 (134). P. 93-102. ISSN 1998-8443 (print)

Научная статья

УДК 622.692.23.669.15

doi: 10.17122/ntj-oil-2021-6-93-102

АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ НОВЫХ СТАЛЕЙ ДЛЯ РЕЗЕРВУАРОВ В СЕЙСМООПАСНЫХ РЕГИОНАХ

Ирина Эдуардовна Лукьянова^{1,3}, Игорь Финсурович Кантемиров²,

Виолетта Аркадьевна Михайлова³

^{1,2}Уфимский государственный нефтяной технический университет, Уфа, Россия

³Уфимский государственный авиационный технический университет, Уфа, Россия

¹iri-lou@mail.ru

²ikant@mail.ru

³violetta_mikh@mail.ru

Автор, ответственный за переписку: Ирина Эдуардовна Лукьянова, iri-lou@mail.ru

Аннотация. Обеспечение сейсмостойкости резервуаров является комплексной проблемой, требующей разработки трех основных направлений, включающих определение гидродинамических нагрузок от жидкого продукта, проверку корпуса резервуара на опрокидывание и обеспечение несущей способности конструкций в процессе землетрясения. Поэтому проблема обеспечения прочности цилиндрических резервуаров для хранения нефтепродуктов имеет важное значение и является весьма актуальной.

Целью статьи является анализ применения новых сталей при строительстве резервуаров в сейсмоопасных регионах на основе разработок, полученных в последнее время.

Выполнен обзор сталей, применяемых при строительстве резервуаров. Проведен анализ свойств используемых сталей. Приведены результаты расчета резервуара на прочность с разными сталями. Было установлено, что на сегодняшний день существуют нескольких видов марок стали, при использовании которых можно увеличить прочность резервуара, но такой стали, которая сможет противостоять разрушительным силам, возникающим при землетрясениях, не существует. Задачей для дальнейших исследований является получение новой универсальной стали, которая бы массово применялась при сооружении резервуаров.

Ключевые слова: сейсмостойкость, резервуар вертикальный стальной (РВС), землетрясение, листовой прокат, напряженно-деформированное состояние

Для цитирования: Лукьянова И. Э., Кантемиров И. Ф., Михайлова В. А. Анализ применения новых сталей для резервуаров в сейсмоопасных регионах // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2021. Вып. 6 (134), С. 93-102. <http://doi.10.17122/ntj-oil-2021-6-93-102>.

Original article

ANALYSIS OF NEW STEELS APPLICATION FOR TANKS IN SEISMICALLY DANGEROUS REGIONS

Irina E. Lukyanova^{1,3}, Igor F. Kantemirov², Violetta A. Mikhailova³

^{1,2}Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russia

³Ufa State Aviation Technical University, Ufa, Russia

¹iri-lou@mail.ru

²ikant@mail.ru

³violetta_mikh@mail.ru

Corresponding author: Irina E. Lukyanova, iri-lou@mail.ru

Abstract. One of the factors that determine the technical condition of the tanks and the need for their repair is the assessment of its stress-strain state. The main influence on the stress-strain state of the reservoir is exerted by its spatial position and geometric shape, while all other defects, in fact, are the initiators of possible emergency situations.

Ensuring the seismic resistance of reservoirs is a complex problem requiring the development of three main areas, including determining the hydrodynamic loads from a liquid product, checking the tank body for tipping over and ensuring the load-bearing capacity of structures during an earthquake. Therefore, the problem of ensuring the strength of cylindrical tanks for storing petroleum products is important and is very relevant.

The purpose of the article is to analyze the use of new steels in the construction of reservoirs in earthquake-prone regions based on recent developments.

A review of the steels used in the construction of tanks. The analysis of the properties of the used steels. The results of calculating the tank for strength with different steels are presented. It was found that today there are several types of steel grades, using which it is possible to increase the strength of the tank, but there is no steel that can withstand the destructive forces arising from earthquakes. The task for further research is to obtain a new universal steel, which would be massively used in the construction of tanks.

Keywords: earthquake resistance, vertical steel tank, earthquake, sheet metal, stress-strain state

For citation: Lukyanova I. E., Kantemirov I. F., Mikhailova V. A. Analiz primeneniya novykh staley dlya rezervuarov v seysmoопасnykh regionakh. [Analysis of New Steels Application for Tanks in Seismically Dangerous Regions]. *Problemy sbora, podgotovki i transporta nefti i nefteproduktov - Problems of Gathering, Treatment and Transportation of Oil and Oil Products*. 2021, 6 (134), pp. 93-102. <http://doi.10.17122/ntj-oil-2021-6-93-102>.

Мировой опыт резервуаростроения накопил достаточно большое количество данных о поведении резервуаров во время землетрясений. По результатам наблюдений за землетрясениями во многих городах мира приведена таблица с характерными повреждениями в зависимости от объема нефтяных резервуаров. Отметим, что пустые резервуары практически не получали повреждений.

Одним из факторов, позволяющих определить техническое состояние резервуара и необходимость его ремонта, является оценка его напряженно-деформированного состояния (НДС). Основное влияние на НДС резервуара оказывают его пространственное положение и геометрическая форма, в то время как все остальные дефекты, по сути, являются инициаторами возможных аварийных ситуаций [1].

Обеспечение сейсмостойкости резервуаров является комплексной проблемой, требующей разработки трех основных направлений, включающих определение гидродинамических нагрузок от жидкого продукта, проверку корпуса резервуара на опрокидывание и обеспечение несущей способности конструкций в процессе землетрясения [2-5]. Поэтому проблема обеспечения прочности цилиндрических резервуаров для хранения нефтепродуктов имеет важное значение и является весьма актуальной.

Целью статьи является анализ применения новых сталей при строительстве резервуаров в сейсмоопасных регионах на основе разработок, полученных в последнее время.

Типичные повреждения резервуаров во время землетрясений можно условно подразделить на два типа в соответствии с двумя уровнями расчета, заложенными в отечественных нормативных документах (проектное землетрясение, после которого предполагается продолжение эксплуатации, и максимальное расчетное землетрясение, при котором должен обеспечиваться безопасный вывод из эксплуатации).

В таблице 1 приведена частота повреждений резервуара в зависимости от его объема [5].

Исходя из этого, необходимо искать пути уменьшения рисков повреждения резервуаров при землетрясениях. Требуемая надежность основных конструкций резервуара достигается за счет использования около 50 % прочности материала, что приводит к существенному увеличению расчетных поясов стенки и объемов сварки. Существует возможность повысить общую надежность резервуаров большой вместимости (включая предотвращение лавинообразного разрушения стенки) применением качественных сталей классов прочности С390 и С440.

Таблица 1. Частота повреждений в зависимости от объема резервуара
Table 1. Frequency of damage depending on the volume of the tank

Повреждение	Объем, м ³				
	1000	1000-5000	5000-10000	10000-50000	50000-100000
Перелив через верх	-	-	-	5	6
Повреждение плавающей крыши	-	-	1	9	1
Повреждение конической крыши	-	2	3	1	-
Повреждение верха цил. оболочки	-	1	4	4	-
Повреждение частей плавающей крыши	-	-	3	7	12
Упругая потеря устойчивости нижней ча-	9	5	2	-	-
Разрыв уторного узла с разливом	5	1	2	10	-
Проскальзывание	1	1	-	-	-
Отрыв анкеров	1	1	2	-	-
Опрокидывание	3	-	1	-	-
Неравномерная осадка	3	11	1	3	-
Повреждение штуцеров	14	-	-	-	-

В настоящий момент на территории России выпускается листовая прокат сталей с классом прочности С390: 06ГБ и 09Г2С.

В течение последних двадцати лет во многих странах Европы и США вводятся в действие новые редакции стандартов на сооружение вертикальных цилиндрических резервуаров для хранения нефти и нефтепродуктов. Можно отметить стандарты API Standard 650[6] и Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance. Part 4: Silos, tanks, and pipelines [7]. В новых стандартах существенно повышены требования к надежности стенки и днища резервуаров. В большей степени новые требования касаются резервуаров I и II классов безопасности (емкостью 20-120 тыс. м³), у которых для изготовления нижних поясов стенки и наружного контура днища применяется листовая сталь повышенной прочности класса С390 и С440. Отметим главные из этих требований:

– величина ударной вязкости листовой стали стенки и контурной части днища при расчетной температуре - $KCV \geq 50$ Дж/см²;

– отношение предела текучести к пределу прочности $\sigma_T/\sigma_B \leq 0,75$;

– учет коэффициента по ответственности $\gamma_n = 1,2$ и $1,1$ соответственно для резервуаров I и II классов;

– учет коэффициента надежности по материалу $\gamma_m = 1,1$ для сталей $\sigma_T \geq 390$;

– механические свойства сварных соединений должны быть не ниже свойств основного металла.

Фактически для восприятия кольцевых напряжений используется 50-60 % прочностных свойств стали, тогда как остальная ее часть идет на обеспечение требуемой надежности резервуаров. В этих условиях для резервуаров с объемом 50 тыс. м³, а часто и 20 тыс. м³ поднимается вопрос о целесообразности применения листовой стали класса

С345 (сталь 09Г2С) в толщине 24-32 мм для нижних поясов резервуаров. Характерное для данной стали уменьшение прочностных характеристик при увеличении ее толщины приводит к росту расхода металла и объемов сварки. Как один из вариантов реализации требований новых стандартов предлагается изготавливать конструкции группы «А» из новых качественных сталей классов прочности С390 и С440. На сегодня уже есть положительный опыт применения в резервуарах $V = 50$ тыс. м³ листовой качественной стали класса прочности С390 и С440. Однако указанные стали не всегда удовлетворяют приведенным требованиям, что приводит к необходимости разработки новых марок сталей.

Соотношение $\sigma_T/\sigma_B \leq 0,75$ представляет собой запас прочности материала, который обеспечивает в процессе эксплуатации резервуара работоспособность сварных соединений врезки в стенку патрубков и люков, выполненных в условиях жесткого контура, узла соединения стенки с днищем и других мест повышенной конструктивной концентрации напряжений.

В листовом прокате новых сталей класса прочности С390 и С440 высокие показатели прочности и пластичности достигаются довольно сложным микролегированием ниобием, ванадием, молибденом, внепечной обработкой жидкой стали (ВО), технологией прокатки и термообработкой (ТО). Стали характеризуются минимальным содержанием углерода ($C \leq 0,09$ %), что в сочетании с ТО закалка-отпуск способствует измельчению зерна и благоприятствует получению высоких механических свойств, включая хорошую свариваемость. Листовая сталь, кроме прочности, имеет очень высокие показатели ударной вязкости KCV-40, равные для толщины $t = 8-50$ мм не менее 120 Дж/см². Однако принятая на сегодня технология получения листового проката с ТО закалка-отпуск не позволяет получать требуемое отношение $\sigma_T/\sigma_B \leq 0,75$.

Анализ данных заводских сертификатов и экспериментальных исследований сварных соединений листового проката стали

06Г2Б-440 и 06ГБ-390 (с соотношением $\sigma_T/\sigma_B = 0,85-0,88$), поставленных на объекты строительства резервуаров $V = 75$ и 50 тыс. м³ показал, что получить листовой прокат с требуемыми свойствами можно путем разработки новых сталей.

Казалось бы, существует низколегированная сталь марок 09Г2С-325 и 09ХГ2С-430, широко применяемая в производстве сосудов высокого давления. Сталь экономнолегированная, простая в производстве, не содержит дорогостоящих легирующих элементов, обладает повышенными прочностными свойствами и холодостойкостью, стойкая к образованию холодных трещин. В процессе внепечной обработки (ВО) жидкий металл проходит рафинирование в ковше синтетическими шлаками, продувку аргоном и раскисление SiCa. Однако применение данной стали в резервуарах для хранения нефти сдерживалось недостаточными показателями ударной вязкости и прочности ($KCV \geq 40$ Дж/см² и $\sigma \geq 325$ МПа).

В 2012 г. было освоено промышленное производство новых марок сталей 09Г2С390 и 09ХГ2С-440. В процессе разработки в базовых сталях было повышено содержание углерода до 0,10-0,13 % и кремния до 0,50-0,80 %, что гарантировало механические свойства на уровне: $\sigma_B - 530$ Н/мм²; $\sigma_T - 390$ Н/мм². Листы в толщине 8-50 мм поставляются в нормализованном состоянии с отношением $\sigma_T/\sigma_B \leq 0,75$. В 2013 г. листовой прокат стали 09Г2С-390 в толщине 20-26 мм был применен при строительстве резервуара $V = 50$ тыс. м³ на ЛПДС «Мозырь», Республика Беларусь. В соответствии с заводскими сертификатами показатель ударной вязкости для толщины $t = 26$ мм был равен $KCV-40 = 170-210$ Дж/см², а соотношение $\sigma_T/\sigma_B = 0,73-0,75$.

Представляет интерес сравнение диаграмм $\sigma \rightarrow \epsilon$ испытания на растяжение образцов из сталей 06ГБ-390 ($C \leq 0,09$ %; ВО - закалка-отпуск) и 09Г2С-390 ($C \leq 0,13$ %; ТО - нормализация).

На рисунке 1 представлены результаты испытаний на растяжение и соответствующие диаграммы.

Рисунок 1. Диаграммы испытаний на растяжение σ - ϵ
Figure 1. Diagrams of tensile tests σ - ϵ

Испытания показали, что для стали 06ГБ разница σ_T - σ_B составляет 80-100 МПа, а у нормализованной стали 09Г2С разница составляет 150-170 МПа.

Такие показатели обеспечивают стабильное отношение $\sigma_T/\sigma_B \leq 0,75$.

Отметим и преимущества стали 06Г2Б-440. Благодаря химической и структурной однородности данная сталь имеет высокие прочностные характеристики. Металл не теряет своих свойств после механического старения, имеет хорошие характеристики свариваемости, технологичен при использовании в условиях монтажной площадки.

Неоспоримым преимуществом стали 06Г2Б является низкое содержание примесей. За счет этого снижается склонность к образованию горячих трещин при сварке, повышается коррозионная стойкость и хладостойкость.

Экономнолегированная малоперлитная сталь 06Г2Б класса прочности 440-490 имеет стабильные механические характеристики и ударную вязкость. Следует особенно отметить высокую хладостойкость данной стали ($KCV_{40} \geq 300$ Дж/см²). Сталь хорошо сопротивляется слоистому разрушению, нечувствительна к водородному охрупчиванию и отличается высокой стойкостью против образования в металле ЗТВ холодных трещин.

Были проведены расчеты на прочность РВС-5000 с использованием двух марок стали С345 (сталь 09Г2С) и С440 (сталь 06Г2Б). Результаты приведены в таблицах 2-4.

Как показали расчеты, при использовании стали с повышенными прочностными характеристиками, значительно уменьшается толщина стенок резервуара. При этом уменьшение толщины стенок не снижает требуемой прочности резервуара.

Таблица 2. Результаты расчета стенки резервуара на прочность стали 09Г2С
Table 2. Results of calculating the tank wall for strength of 09G2S steel

Пояс	1	2	3	4	5	6	7	8
Конструктив- ная толщина t, мм	9	8	7	6	6	6	6	6
Расчетная толщина t_{ir} , мм	5,4	4,9	3,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,4
Кольцевые напряжения, МПа	221,28	210,35	222,19	242,19	185,57	128,96	72,35	19,01
Меридиональ- ные напряже- ния, МПа	2,56	2,64	3,11	3,97	3,81	3,65	3,48	4,01
$\sqrt{\sigma_{1i}^2 - \sigma_{1i} \cdot \sigma_{2i} + \sigma_{2i}^2}$	220,01	209,04	220,65	240,23	183,7	127,18	70,67	17,36
Расчетный параметр R, МПа	224,39	256,45	256,45	256,45	256,45	256,45	256,45	256,45

Таблица 3. Результаты расчета стенки резервуара на прочность стали 06Г2Б
Table 3. Results of calculating the tank wall for strength of 06G2B steel

Пояс	1	2	3	4	5	6	7	8
Конструктив- ная толщина t, мм	8	7	6	6	6	6	6	6
Расчетная толщина t_{ir} , мм	4,4	3,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4
Кольцевые напряжения, МПа	242,2	273,3	325,1	273,1	215,9	158,9	101,8	44,7
Меридиональ- ные напряже- ния, МПа	2,53	3,06	3,95	3,82	3,63	3,43	3,23	3,04
$\sqrt{\sigma_{1i}^2 - \sigma_{1i} \cdot \sigma_{2i} + \sigma_{2i}^2}$	240,94	271,78	323,14	271,21	214,11	157,21	100,22	43,26
Расчетный па- раметр R, МПа	286,18	327,06	327,06	327,06	327,06	327,06	327,06	327,06

Таблица 4. Значения толщин стенок РВС-5000 сталей С345 и С440, мм

Table 4. Values of wall thicknesses of RVS-5000 steels C345 and C440, mm

Марка стали/номер пояса	1	2	3	4	5	6	7	8
C345 (09Г2С)	9	8	7	6	6	6	6	6
C440 (06Г2Б)	8	7	6	6	6	6	6	6

Выводы

Для увеличения надежности резервуаров не только в сейсмоопасных, но и в обычных регионах необходимо изобретение новых марок сталей с повышенным классом прочности. Как показали расчеты, при использовании стали с повышенными прочностными характеристиками значительно уменьшается толщина стенок резервуара. При этом запас прочности резервуара увеличивается. А, следовательно, за счет уменьшения толщины

стенок значительно уменьшаются вес и металлоемкость резервуара.

На сегодняшний день существуют нескольких видов марок стали, при использовании которых можно увеличить прочность резервуара, но такой стали, которая сможет противостоять разрушительным силам, возникающим при землетрясениях, не существует. Задачей для дальнейших исследований является *получение новой универсальной стали, которая бы массово применялась при сооружении резервуаров.*

Список источников

1. Шигапов Р.Р., Ковальчук О.А. Обзор упрощенных методик расчета резервуаров на сейсмические воздействия // Вестник МГСУ. 2017. Т. 12. № 1 (100). С. 53-62. DOI: 10.22227/1997-0935.2017.1.53-62.
2. Лукьянова И.Э. Моделирование воздействия землетрясений на стальные вертикальные резервуары с использованием программного комплекса FLOWVISION // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». 2010. № 2. URL: http://ogbus.ru/files/ogbus/authors/Lukyanova/Lukyanova_4.pdf (дата обращения: 03.10.2021).
3. Гарифуллин Э.А., Лукьянова И.Э. Определение деформаций и напряжений в вертикальных

References

1. Shigapov R.R., Kovalchuk O.A. Obzor uproshtchennykh metodik rascheta rezervuarov na seismicheskie vozddeistviya [Review of Simplified Seismic Analysis Procedures for Storage Tanks]. *Vestnik MGSU - Vestnik MGSU*, 2017, Vol. 12, No. 1 (100), pp. 53-62. DOI: 10.22227/1997-0935.2017.1.53-62. [in Russian].
2. Lukyanova I.E. Modelirovanie vozddeistviya zemletryasenii na stal'nye vertikal'nye rezervuary s ispol'zovaniem programmnoy kompleksa FLOWVISION [Modelling of Earthquake Exposure on Steel Vertical Cylindrical Tanks with Use of FLOWVISION Programm Package]. *Elektronnyi nauchnyi zhurnal «Neftegazovoe delo» - Electronic*

стальных резервуарах при моделировании воздействия землетрясений с использованием ПК ANSYS // Нефтегазовое дело. 2017. Т. 15. № 3. С. 78-84.

4. Лукьянова И.Э., Гарифуллин Э.А. Воздействие землетрясений на стальные вертикальные резервуары // Современные технологии в нефтегазовом деле - 2017: сб. тр. междунаrod. науч.-технич. конф.: В 2 Т. / Отв. ред. В.Ш. Мухаметшин. Уфа: Изд-во УГНТУ, 2017. Т. 2. С. 143-145.

5. Wozniak R.S. Basis of Seismic Design Provisions for Welded Steel Oil Storage Tanks // *Advances in Storage Tank Design: Materials of Sessions*. Toronto, Ontario, Canada. 1978.

6. Холопов И.С., Еленицкий С.Э., Еленицкий Э.Я., Ковальчук О.А. Обеспечение несущей способности узла сопряжения стенки и днища взрывозащищенных вертикальных цилиндрических стальных резервуаров // Промышленное и гражданское строительство. 2010. № 7. С. 52-54.

7. API Standard 650. Welded Steel Tanks for Oil Storage. Washington: American Petroleum Institute, 2007. 449 p.

8. BS EN 1998-4:2006. Eurocode 8: Design of Structures for Earthquake Resistance. Part 4: Silos, Tanks, and Pipelines. London: British Standards Institution, 2006. 84 p.

Scientific Journal «Oil and Gas Business», 2010, No. 2. URL: http://ogbus.ru/files/ogbus/authors/Lukyanova/Lukyanova_4.pdf (accessed 03.10.2021). [in Russian].

3. Garifullin E.A., Lukyanova I.E. Opredelenie deformatsii i napryazhenii v vertikal'nykh stal'nykh rezervuarakh pri modelirovanii vozdeistviya zemletryaseni s ispol'zovaniem PK ANSYS [Definition of Deformations and Stresses in Vertical Steel Tanks in Modeling Earthquake Effects with Using ANSYS PC]. *Neftgazovoe delo - Petroleum Engineering*, 2017, Vol. 15, No. 3, pp. 78-84. [in Russian].

4. Lukyanova I.E., Garifullin E.A. Vozdeistvie zemletryaseni na stal'nye vertikal'nye rezervuary [Earthquake Impact on Steel Vertical Tanks]. *Sbornik trudov Mezhdunarodnoi nauchno-tehnicheskoi konferentsii: V 2 tomakh «Sovremennye tekhnologii v neftegazovom dele - 2017»* [Collection of Labor Scientific and Technical Conferences: In 2 Volumes «Modern Technologies in Oil and Gas Business - 2017»]. Managing Ed. V.Sh. Mukhametshin. Ufa, UGNTU Publ., 2017, Vol. 2, pp. 143-145. [in Russian].

5. Wozniak R.S. Basis of Seismic Design Provisions for Welded Steel Oil Storage Tanks. *Materials of Sessions «Advances in Storage Tank Design»*. Toronto, Ontario, Canada, 1978.

6. Kholopov I.S., Elenitskii S.E., Elenitskii E.Ya., Kovalchuk O.A. Obespechenie nesushchei sposobnosti uzla sopryazheniya stenki i dnishcha vzryvozashchishchennykh vertikal'nykh tsilindricheskikh stal'nykh rezervuarov [Provision of Bearing Capacity of a Junction of a Wall and a Bottom of Explosion-Proof Vertical Cylindrical Steel Reservoirs]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo - Industrial and Civil Engineering*, 2010, No. 7, pp. 52-54. [in Russian].

7. API Standard 650. Welded Steel Tanks for Oil Storage. Washington, American Petroleum Institute, 2007. 449 p.

8. BS EN 1998-4:2006. Eurocode 8: Design of Structures for Earthquake Resistance. Part 4: Silos, Tanks, and Pipelines. London, British Standards Institution, 2006. 84 p.

Информация об авторах

• Лукьянова Ирина Эдуардовна, д-р техн. наук
Уфимский государственный нефтяной
технический университет
Профессор кафедры «Сооружение и ремонт
газонефтепроводов и газонефтехранилищ»
Россия, 450064, Уфа,
ул. Космонавтов, 8/3, корпус 2;
Уфимский государственный авиационный
технический университет
Профессор кафедры «Пожарная безопасность»
Россия, 450008, Уфа, ул. К. Маркса, 12
e-mail: iri-lou@mail.ru

Information about the authors

• Lukyanova Irina E., Doctor of Engineering
Sciences
Ufa State Petroleum Technological University
Professor of Construction And Repair Of Gas & Oil
Pipelines and Storage Facilities Department
8/3, Kosmonavtov str., Ufa, 450064, Russia;
Ufa State Aviation Technical University
Professor of Fire Safety Department
12, K. Marks str., Ufa, 450008, Russia
e-mail: iri-lou@mail.ru

• Кантемиров Игорь Финсурович, д-р техн. наук
Уфимский государственный нефтяной
технический университет
Заведующий кафедрой «Сооружение и ремонт
газонефтепроводов и газонефтехранилищ»
Россия, 450064, . Уфа,
ул. Космонавтов, 8/3, корпус 2
e-mail: ikant@mail.ru

• Kantemirov Igor F., Doctor of Engineering
Sciences
Ufa State Petroleum Technological University
Head of of Construction And Repair Of Gas & Oil
Pipelines and Storage Facilities Department
8/3, Kosmonavtov str., Ufa, 450064, Russia
e-mail: ikant@mail.ru

• Михайлова Виолетта Аркадьевна, канд. техн.
наук
Уфимский государственный авиационный
технический университет
Доцент кафедры «Пожарная безопасность»
Россия, 450008, Уфа, ул. К. Маркса, 12
e-mail: violetta_mikh@mail.ru

• Mikhailova Violetta A., Candidate of Engineering
Sciences
Ufa State Aviation Technical University
Assistant Professor of Fire Safety Department
12, K. Marks str., Ufa, 450008, Russia
e-mail: violetta_mikh@mail.ru

Статья поступила в редакцию 21.09.2021; одобрена после рецензирования 18.10.2021; принята к публикации 01.11.2021.

The article was submitted 21.09.2021; approved after reviewing 18.10.2021; accepted for publication 01.11.2021.