Тип статьи: научная
УДК 614.8
DOI: 10.35887/2305-2538-2023-5-119-126

ОЦЕНКА ВЕРОЯТНОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ НА ГОЛОВНОЙ НЕФТЕПЕРЕКАЧИВАЮЩЕЙ СТАНЦИИ АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЙ, ПРОТЕКАЮЩИХ ПО РАЗЛИЧНЫМ СЦЕНАРИЯМ

Дмитрий Михайлович Рожков [1], Петр Иванович Ильин [2], Станислав Николаевич Шуханов [3]
[1] *Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Россия*
[2,3] *Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского, г. Иркутск, Россия*
[1] rogkov77@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0003-2730-8235
[2] ipi.academy@mai.ru, https://orcid.org/0000-0003-1421-4037
[3] shuhanov56@mail.ru , https://orcid.org/0000-0003-2134-6871

Автор, ответственный за переписку: Станислав Николаевич Шуханов, Shuhanov56@mail.ru
Corresponding author: Stanislav Shukhanov, Shuhanov56@mail.ru

Реферат. *Работа предприятий агропромышленного комплекса тесно связана с применением нефтепродуктов, использование которых обеспечивается с помощью нефтеперекачивающих станций. Оценка вероятности аварийных ситуаций на таких предприятиях осуществлена на примере головной нефтеперекачивающей станции ГНПС-1 «Тайшет» ООО «ТранснефтеВосток». Показано, что предприятие относится к объектам повышенной пожарной опасности, наиболее опасными технологическими участками которого являются резервуарный парк, магистральная нефтенасосная и подпорная насосная станция. В технологической схеме обращается пожаровзрывоопасное вещество – нефть. В работе исследованы возможные пути развития аварийных ситуаций, связанных с отказом оборудования отдельных технологических участков нефтеперекачивающей станции. Наиболее опасными являются аварии на трех участках: в резервуарном парке, на магистральной и подпорной насосной станциях. Определены значения вероятностей развития аварийных ситуаций. Выявлено, что самые опасные сценарии возможны на любом из резервуаров резервуарного парка и на магистральной нефтенасосной и подпорной насосной станции. При обоих сценариях возможны мгновенный пожар пролива, пожар пролива с задержкой воспламенения и взрыв паровоздушного облака. Причиной может быть отказ аварийной вентиляции и газоанализатора. паровоздушного облака. Исследованные варианты развития аварии на технологическом оборудовании позволят установить масштабы последствий распространения опасных факторов пожара и взрыва, а также определить комплекс мер по предупреждению аварийных ситуаций, своевременному реагированию и минимизации их последствий.*

Ключевые слова: *агропромышленный комплекс, пожарная безопасность, подпорная насосная станция.*

ASSESSMENT OF THE PROBABILITY OF IMPLEMENTATION AT THE MAIN OIL PUMPING STATION OF EMERGENCIES OCCURING IN VARIOUS SCENARIOS

Dmitry Mikhailovich Rozhkov [1], Petr Ivanovich Ilyin [2], Stanislav Nikolaevich Shukhanov [3]
[1] *Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia*
[2,3] *Irkutsk State Agrarian University named after. A.A. Ezhevsky, Irkutsk, Russia*
[1] rogkov77@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0003-2730-823
[2] ipi.academy@mai.ru, https://orcid.org/0000-0003-1421-4037
[3] shuhanov56@mail.ru, https://orcid.org/0000-0003-2134-6871

Abstract. *The work of enterprises in the agro-industrial complex is closely connected with the use of petroleum products, the use of which is ensured through oil pumping stations. The assessment of the probability of emergency situations at such enterprises was carried out using the example of the main oil pumping station GNPS-1 "Taishet" of TransnefteVostok LLC. It is shown that the enterprise belongs to objects of increased fire danger, the most dangerous technological areas of which are the tank farm, the main oil pumping station and the booster pumping station. A fire and explosive substance - oil is circulated in a technological scheme. Possible ways of developing emergency situations associated with the failure of equipment in individual technological sections of an oil pumping station were investigated in the work. The most dangerous accidents occur in three areas: in the tank farm, at the main and booster pumping stations. The probabilities for the development of emergency situations have been determined. It was revealed that the most dangerous scenarios are possible at any of the reservoirs of the tank farm and at the main oil pumping and booster pumping station. In both scenarios, an instant spill fire, a spill fire with delayed ignition, and an explosion of a vapor-air cloud are possible. The cause may be a failure of emergency ventilation and a vapor-air cloud gas analyzer. The studied options for the development of an accident on technological equipment will make it possible to establish the scale of the consequences of the spread of dangerous factors of fire and explosion, as well as to determine a set of measures to prevent emergency situations, timely response and minimize their consequences.*

Keywords: *agro-industrial complex, fire safety, booster pumping station.*

Для цитирования: Рожков Д.М., Ильин П.И., Шуханов С.Н. Оценка вероятности реализации на головной нефтеперекачивающей станции аварийных ситуаций, протекающих по различным сценариям // Наука в Центральной России. 2023. Т. 65, № 5. С. 119-126. https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-5-119-126.

For citation: Rozhkov D., Ilyin P., Shukhanov S. Assessment of the probability of implementation at the main oil pumping station of emergencies occuring in various scenarios. *Nauka v central'noj Rossii =* Science in the Central Russia: 2023; 65(5): 119-126. (In Russ.) https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-5-119-126.

Введение. Работа предприятий агропромышленного комплекса тесно связана с применением нефтепродуктов, использование которых во многом обеспечивается с помощью нефтеперекачивающих станций. Оценка вероятности аварийных ситуаций на таких предприятиях осуществлена на примере головной нефтеперекачивающей станции ГНПС-1 «Тайшет» ООО «ТранснефтеВосток» для обеспечения безопасности деятельности человека. Предприятие относится к объектам повышенной пожарной опасности, где наиболее опасными технологическими участками которого являются резервуарный парк, магистральная нефтенасосная и подпорная насосная станция. В технологической схеме обращается пожаровзрывоопасное вещество – нефть. Разрушения оборудования в резервуарном парке, магистральной нефтенасосной и подпорной насосной станции являются наиболее опасными вариантами аварийных ситуаций [1].

Объекты и методы исследования.

Для оценки вероятности реализации аварийных ситуаций на нефтеперекачивающей станции ГНПС-1 «Тайшет» рассмотрим основные сценарии.

Вероятность реализации аварийных ситуаций в резервуарном парке.

На отдельно взятом резервуаре с нефтью можно выделить следующие сценарии развития аварийной ситуации [2]:

1. Разгерметизация или разрушение резервуара, выброс нефти, воспламенение нефти, носящее молниеносный характер, пожар пролива (сценарий Б1). Интенсивность теплового излучения, а также высокотемпературные значения продуктов сгорания паровоздушной смеси представляют собой угрожающий фактор.

2. Разгерметизация или разрушение резервуара, выброс нефти, при отсутствии воспламенения паров в месте выброса пролив нефти, испарение нефти, образование облака паровоздушной смеси, взрыв облака (сценарий Б2). Избыточное давление воздушной волны, возникающее при сгорании паровоздушного облака, импульс сжатия данной волны, в том числе

наличие продукты сгорания паровоздушной смеси с высокотемпературными значениями – опасные факторы этого сценария.

3. Разгерметизация или разрушение резервуара, выброс нефти, при отсутствии воспламенения в месте выброса последующий пролив нефти, ее испарение, образование облака паровоздушной смеси и ее воспламенение, но при этом не образуется волна избыточного давления (сценарий Б3) [3]. Высокотемпературные значения продуктов сгорания паровоздушной смеси представляют собой опасный фактор в этом сценарии.

4. Разгерметизация или разрушение резервуара, выброс нефти, при отсутствии воспламенения в месте выброса последующий пролив нефти, испарение нефти, образование облака паровоздушной смеси, рассеяние облака, воспламенение не происходит в виду отсутствия источника зажигания (сценарий Б4). Опасные факторы отсутствуют.

5. Разгерметизация или разрушение резервуара, выброс нефти, при отсутствии воспламенения в месте выброса последующий пролив нефти, (паровоздушное облако не образуется, так как пары рассеиваются в атмосфере), воспламенение паров нефти при появлении источника зажигания, пожар пролива [4]. Опасным фактором данного сценария также является интенсивность теплового излучения и высокотемпературные продукты сгорания паровоздушной смеси (сценарий Б5).

6. Разгерметизация или разрушение резервуара, выброс нефти, при отсутствии воспламенения в месте выброса последующий пролив нефти, (паровоздушное облако не образуется, так как пары рассеиваются в атмосфере), воспламенение не происходит (сценарий Б6). Факторы, представляющие угрозу, в этом случае отсутствуют.

Дальнейшее установление вероятности аварийных сценариев осуществлялось посредством применения логической схемы, проиллюстрированной на рисунке 1. Согласно методических рекомендаций по формированию декларации промышленной безопасности опасного производственного объекта (РД 03-357-00) [5] Вероятность разрушения оборудования резервуара составляет 10^{-5} год$^{-1}$. Условные вероятности воспламенения горючей среды при выходе ее из оборудования приняты согласно таблице 1 методики [6].

Таблица 1 – Условное значение вероятности воспламенения горючей среды

Массовый расход истечения, кг/с		Условная вероятность молниеоснного воспламенения			Условное значение вероятности последующего воспламенения при отсутствии молниеносного воспламенения			Условное значение вероятности сгорания с образованием избыточного давления при образовании горючего газопаровоздушного облака и его последующем воспламенении		
диапазон	номинальное средн значе-ние	газ	двух-фазная смесь	жидкость	газ	двух-фазная смесь	жид-кость	газ	двух-фазная смесь	жид-кость
Малый (<1)	0,51	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,081	0,081	0,051
Средний (1 - 50)	10,0	0,035	0,035	0,015	0,036	0,036	0,015	0,241	0,241	0,051

Массовый расход истечения, кг/с		Условная вероятность молниеносного воспламенения			Условное значение вероятности последующего воспламенения при отсутствии молниеносного воспламенения			Условное значение вероятности сгорания с образованием избыточного давления при образовании горючего газопаровоздушного облака и его последующем воспламенении		
Большой (>50)	100,0	0,151	0,151	0,041	0,176	0,176	0,042	0,601	0,601	0,051
Полный разрыв	–	0,201	0,201	0,051	0,241	0,241	0,061	0,601	0,601	0,101

Значение вероятности возникновения паровоздушного облака найдем, исходя из повторяемости штилей. Для г. Тайшет Иркутской области штили наблюдаются в продолжительности 20 % времени [7]. Поэтому условное значение вероятности возникновения паровоздушного облака приравниваем 0,2.

Ниже проиллюстрирована логическая схема действия аварии резервуара с нефтью. Сценарии развития аварийной ситуации, представляющие собой наибольшую угрозу - сценарии Б1, Б2, Б3 и Б5 (рисунок 1). Другие сценарии не характеризуются опасными факторами пожара.

Расчеты показали, что вероятности реализации данных сценариев в продолжительности года составят:

$$Q(Б1) = 5\cdot10^{-8}\ год^{-1},\ Q(Б2) = 1{,}9\cdot10^{-8}\ год^{-1},\ Q(Б3) = 1{,}2\cdot10^{-8}\ год^{-1},\ Q(Б5) = 4{,}6\cdot10^{-8}\ год^{-1}.$$

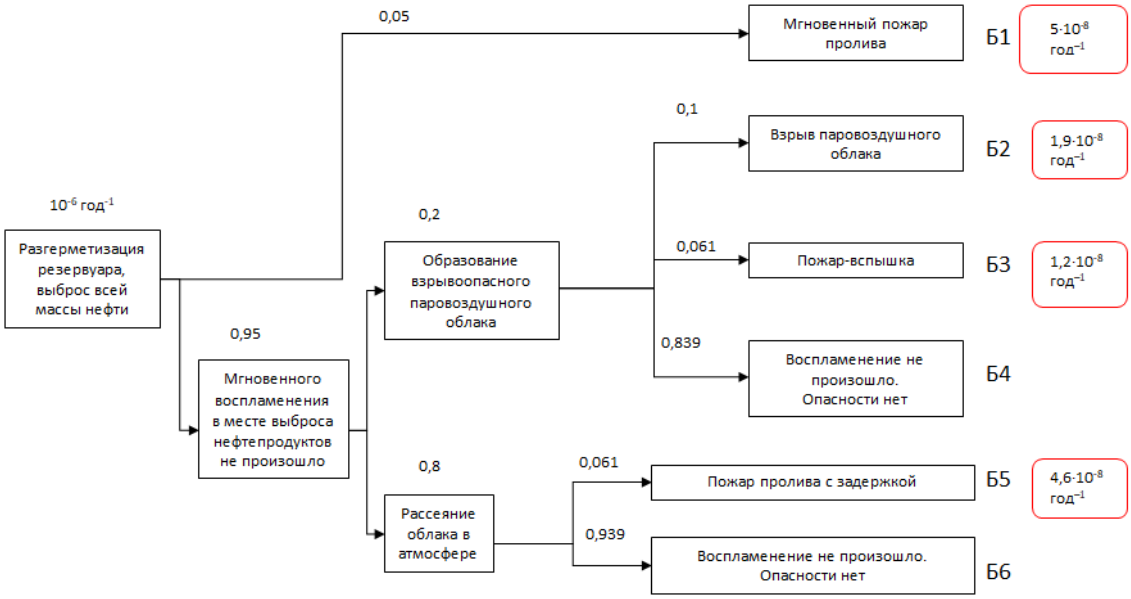

Рисунок 1 – Схема сценариев развития аварийных ситуаций в резервуарном парке ГНПС-1 «Тайшет»

Вероятность реализации аварийных ситуаций в зданиях насосных станций.

Анализ развития аварий в зданиях магистральной нефтенасосной, а также подпорной насосной станции дал возможность сформулировать следующие возможные сценарии [8,9].

1. Разгерметизация или разрушение насоса, выброс нефти, в случае срабатывания газосигнализатора, а также срабатывании аварийной вентиляции последующее удаление газопаровоздушной смеси, в том числе сбор пролившейся нефти, включая ликвидацию аварии (сценарий В1). Опасных факторов нет.

2. Разгерметизация или разрушение насоса, включая выброс нефти, кроме того, срабатывание газосигнализатора, а также несрабатывание аварийной вентиляции, воспламенение в месте выброса паров нефти, в том числе пожар пролива (сценарий В2). Угрожающий фактор этого сценария представляет собой интенсивность теплового излучения, в том числе высокотемпературные значения продуктов сгорания паровоздушной смеси.

3. Разгерметизация или разрушение насоса, выброс нефти, включая срабатывание газосигнализатора, а также несрабатывание аварийной вентиляции, при отсутствии воспламенения паров в месте выброса пролив нефти по поверхности пола нефтенасосной, ее испарение, образование облака паровоздушной смеси, взрыв облака (сценарий В3). Факторы, несущие опасность этого сценария – это избыточная величина давления воздушной волны, образующейся при сгорании паровоздушного облака, а также импульс сжатия данной волны, кроме того, высокотемпературные значения продуктов сгорания паровоздушной смеси.

4. Разгерметизация или разрушение насоса, выброс нефти, в том числе срабатывание газосигнализатора, несрабатывание аварийной вентиляции, при отсутствии воспламенения паров в месте выброса последующий пролив нефти, а также воспламенение паров нефти при появлении источника зажигания, включая пожар пролива (сценарий В4). Опасным фактором данного сценария также является интенсивность теплового излучения, включая высокотемпературные значения продуктов сгорания паровоздушной смеси.

5. Разгерметизация или разрушение насоса, выброс нефти, а также срабатывание газосигнализатора, несрабатывание аварийной вентиляции, при отсутствии воспламенения паров в месте выброса пролив нефти, кроме того, испарение нефти, образование так называемого облака паровоздушной смеси, включая рассеяние облака, сбор пролившегося нефти, и последующая ликвидация аварии. Опасных факторов нет (сценарий В5).

6. Разгерметизация или разрушение насоса, включая выход нефти в объем помещения, в случае несрабатывания газосигнализатора молниеносное воспламенение паров нефти в области выброса, а также пожар пролива (сценарий В6). Интенсивность теплового излучения, в том числе высокотемпературные значения продуктов сгорания паровоздушной смеси являют собой угрожающий фактор.

7. Разгерметизация или разрушение оборудования, а также выброс нефти, при сценарии отказа газосигнализатора, включая отсутствие воспламенения в области выброса пролив нефти, в том числе ее испарения, кроме того, формирование облака паровоздушной смеси, далее взрыв облака (сценарий В7). Избыточное значение давления воздушной волны, возникающее при сгорании паровоздушного облака, а также импульс сжатия данной волны, в том числе высокотемпературные величины продуктов сгорания паровоздушной смеси представляют собой угрожающий фактор этого сценария.

8. Разгерметизация или разрушение оборудования, выброс нефти, в случае несрабатывания газосигнализатора и отсутствия воспламенения в месте выброса, последующий пролив нефти, включая воспламенение паров нефти при появлении источника зажигания, кроме того, пожар пролива (сценарий В8). Опасным фактором данного сценария также является интенсивность теплового излучения, в том числе высокотемпературные значения продуктов сгорания паровоздушной смеси.

9. Разгерметизация или разрушение оборудования выброс нефти, срабатывание газосигнализатора, срабатывание аварийной вентиляции, в этом случае происходит рассеяние облака, сбор пролившейся нефти, а также ликвидация аварии. Опасные факторы отсутствуют (сценарий В9).

10. Разгерметизация или разрушение оборудования выброс нефти, в случае несрабатывания газосигнализатора, а также отсутствия воспламенения в месте выброса, пролив нефти, испарение нефти, в том числе образование облака паровоздушной смеси, рассеяние облака, включая сбор пролившейся нефти, ликвидация аварии (сценарий В9). Опасные факторы отсутствуют.

На схему реализации сценариев аварийных ситуаций (рисунок 2) были нанесены значения вероятностей и условных вероятностей соответствующих событий. Согласно [6] Вероятность аварии насоса равна 10^{-4} год$^{-1}$. Вероятность эффективной работы системы аварийной вентиляции составляет 0,8 [10].

Вероятность отказа газоанализатора в соответствии с экспоненциальным законом распределения вероятностей будет:

$$Q_{ГА} = 1 - e^{-\lambda ГА\,тр}$$

где $\lambda_{ГА} = 10^{-4}$ ч$^{-1}$ = 0,876 год$^{-1}$ – интенсивность отказа газоанализатора [11].

$$Q_{ГА} = 1 - e^{-0,876\cdot 1} = 0,584 \text{ год}^{-1}$$

При аварии в зданиях насосных имеет место быть разрушение оборудования (насосов, а также трубопроводов), в том числе выхода нефти в объем помещения (рисунок 2).

Наиболее тяжелые сценарии развития аварии представляют собой сценарии В2, В3, В4, В6, В7, В8. Вероятности реализации этих сценариев, характеризующимися возникновением опасных факторов пожара, в продолжение года составят: Q(В2) = $4,16\cdot10^{-7}$ год$^{-1}$, Q(В3) = $4,8\cdot10^{-8}$ год$^{-1}$, Q(В4) = $4,33\cdot10^{-7}$ год$^{-1}$, Q(В6) = $2,92\cdot10^{-6}$ год$^{-1}$, Q(В7) = $3,38\cdot10^{-7}$ год$^{-1}$, Q(В8) = $3,05\cdot10^{-6}$ год$^{-1}$.

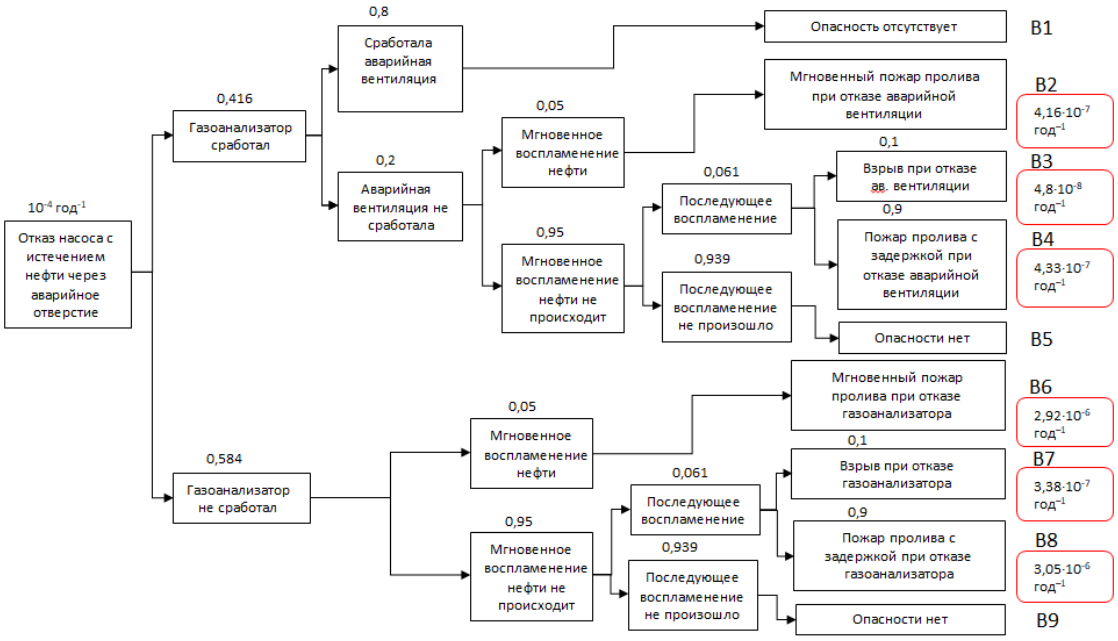

Рисунок 2 – Схема сценариев развития аварийных ситуаций в зданиях насосных станций ГНПС-1 «Тайшет»

Таким образом, исследование опасных сценариев развития возможных аварий в резервуарном парке и зданиях насосных станций ГНПС-1 и определения значений вероятностей их развития, позволит в дальнейшем оценить масштабы последствий распространения опасных факторов пожара и взрыва, а также определить эффективные меры по предупреждению аварийных ситуаций, своевременному реагированию с минимизации последствий.

В результате выявлено, что самые опасные сценарии это:

– на любом из резервуаров резервуарного парка: мгновенный пожар пролива с вероятностью реализации $5\cdot10^{-8}$ год$^{-1}$, взрыв паровоздушного облака с вероятностью реализации $1{,}9\cdot10^{-8}$ год$^{-1}$, пожар-вспышка с вероятностью $1{,}2\cdot10^{-8}$ год$^{-1}$, и пожар пролива с задержкой воспламенения с вероятностью реализации $4{,}6\cdot10^{-8}$ год$^{-1}$.

– на магистральной нефтенасосной и подпорной насосной станции: мгновенный пожар пролива при отказе аварийной вентиляции с вероятностью реализации $4{,}16\cdot10^{-7}$ год$^{-1}$, взрыв при отказе аварийной вентиляции ($4{,}8\cdot10^{-8}$ год$^{-1}$); пожар пролива с задержкой воспламенения при отказе аварийной вентиляции ($4{,}33\cdot10^{-7}$ год$^{-1}$); мгновенный пожар пролива при отказе газоанализатора ($2{,}92\cdot10^{-6}$ год$^{-1}$); взрыв при отказе газоанализатора ($3{,}38\cdot10^{-7}$ год$^{-1}$); пожар пролива с задержкой воспламенения при отказе газоанализатора ($3{,}05\cdot10^{-6}$ год$^{-1}$)..

Список источников

1. Рожков, Д. М. Исследование пожарной опасности головной нефтеперекачивающей станции ГНПС-1 "Тайшет" ООО "Транснефть-Восток" / Д. М. Рожков, А. Л. Беляк // XXI век. Техносферная безопасность. – 2022. – Т. 7, № 3(27). – С. 249-263.

2. Дупляков Г.С., Елфимова М.В. Проблемы обеспечения пожарной безопасности складов нефти и нефтепродуктов // Техносферная безопасность. 2019. № 3 (24). С. 50-62.

3. Полякова, С. А., Ильичев С.С. Анализ аварийности на объектах нефтегазовой отрасли России // Молодой ученый. – 2022. – № 16(411). – С. 115-117.

4. Уроки, извлеченные из аварий. - Текст: электронный // Ростехнадзор: [Электронный ресурс]. - URL: https://www.gosnadzor.ru/industrial/oil/lessons/

5. РД 03-357-00 Методические рекомендации по составлению декларации промышленной безопасности опасного производственного объекта. – Утв. постановлением Госгортехнадзора России от 26.04.00 № 23 / Госгортехнадзор России. – М.: ПИО ОБТ, 2000.

6. Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах (с изменениями на 14.12.2010). Приказ МЧС России от 10.07.2009 № 404 // Пожарная безопасность, № 3, 2009.

7. СП 131.13330.2020 Строительная климатология. Утвержден приказом от 24 декабря 2020 г. № 859/пр Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ.

8. Коробейников, А. М., Кончаков С.А. Обеспечение пожарной безопасности в организациях системы "Транснефть" // Пожарная безопасность: проблемы и перспективы. – 2018. – Т. 1. – С. 421-423.

9. Аралов, О. В. Оценка соответствия оборудования, применяемого на объектах магистральных нефтепроводов ОАО "АК "Транснефть" для снижения рисков возникновения аварий / О. В. Аралов // Трубопроводный транспорт - 2015 : Материалы X Международной учебно-научно-практической конференции, Уфа, 21–22 мая 2015 года. – Уфа: Уфимский государственный нефтяной технический университет, 2015. – С. 19-20.

10. Методика определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности. – Утв. приказом МЧС России № 382 от 30.06.2009.

11. ГОСТ 12.1.044-2018 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения. Принят Росстандартом 5 октября 2018 г. М.: Стандартинформ, 2018.

References

1. Rozhkov, D. M. Study of the fire hazard of the main oil pumping station GNPS-1 "Taishet" LLC "Transneft-Vostok" / D. M. Rozhkov, A. L. Belyak // XXI century. Technosphere safety. – 2022. – T. 7, No. 3(27). – pp. 249-263.

2. Duplyakov G.S., Elfimova M.V. Problems of ensuring fire safety of oil and petroleum products warehouses // Technosphere safety. 2019. No. 3 (24). pp. 50-62.

3. Polyakova, S. A., Ilyichev S.S. Analysis of accident rates at Russian oil and gas industry facilities // Young scientist. – 2022. – No. 16(411). – pp. 115-117.

4. Lessons learned from accidents. - Text: electronic // Rostekhnadzor: [website]. - URL: https://www.gosnadzor.ru/industrial/oil/lessons/

5. RD 03-357-00 Methodological recommendations for drawing up an industrial safety declaration for a hazardous production facility. – Approved Resolution of the Gosgortekhnadzor of Russia dated April 26, 2000 No. 23 / Gosgortekhnadzor of Russia. – M.: PIO OBT, 2000.

6. On approval of the methodology for determining the estimated values of fire risk at production facilities (as amended as of December 14, 2010). Order of the Ministry of Emergency Situations of Russia dated July 10, 2009 No. 404 // Fire Safety, No. 3, 2009.

7. SP 131.13330.2020 Construction climatology. Approved by order No. 859/pr of December 24, 2020 of the Ministry of Construction and Housing and Communal Services of the Russian Federation.

8. Korobeinikov, A.M., Konchakov S.A. Ensuring fire safety in organizations of the Transneft system // Fire safety: problems and prospects. – 2018. – T. 1. – P. 421-423.

9. Aralov, O. V. Conformity assessment of equipment used at the facilities of main oil pipelines of JSC AK Transneft to reduce the risks of accidents / O. V. Aralov // Pipeline transport - 2015: Materials of the X International educational, scientific and practical conference , Ufa, May 21–22, 2015. – Ufa: Ufa State Petroleum Technical University, 2015. – pp. 19-20.

10. Methodology for determining the calculated values of fire risk in buildings, structures and structures of various classes of functional fire hazard. – Approved by order of the Ministry of Emergency Situations of Russia No. 382 of June 30, 2009.

11. GOST 12.1.044-2018 System of occupational safety standards (SSBT). Fire and explosion hazard of substances and materials. Nomenclature of indicators and methods for their determination. Accepted by Rosstandart on October 5, 2018. M.: Standartinform, 2018.

Информация об авторах

Д.М. Рожков - кандидат технических наук, доцент; П. И. Ильин - кандидат технических наук, доцент; С.Н. Шуханов – доктор технических наук, профессор.

Information about the authors

D. Rozhkov - candidate of technical sciences, associate professor; P. Ilyin - candidate of technical sciences, associate professor; S. Shukhanov – Doctor of Technical Sciences, Professor.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
Contribution of the authors: all authors have made an equivalent contribution to the preparation of the publication.
The authors declare no conflict of interest

Поступила в редакцию (Received): 03.10.2023 Принята к публикации (Accepted): 24.10.2023