

ПОЖАРОВЗРЫВБЕЗОПАСНОСТЬ/FIRE AND EXPLOSION SAFETY. 2021. Т. 30. № 6. С. 52–60

POZHAROVZRYVOBEZOPASNOST/FIRE AND EXPLOSION SAFETY. 2021; 30(6):52-60

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ / RESEARCH PAPER

УДК 614.835.3

<https://doi.org/10.22227/0869-7493.2021.30.06.52-60>

Особенности оценки уровня пожаровзрывобезопасности резервуаров перед проведением огневых работ

Владимир Петрович Назаров¹, Дмитрий Александрович Корольченко^{2✉},
Сергей Александрович Швырков¹, Мухаммед Муратович Тангиев¹,
Анатолий Павлович Петров¹

¹ Академия Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, г. Москва, Россия

² Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, г. Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Одним из важнейших этапов в разработке требований пожаровзрывобезопасности при проектировании и эксплуатации объектов хранения нефти и нефтепродуктов является корректная экспертиза фактов пожаров и взрывов. К сожалению, электронные ресурсы не всегда правильно раскрывают причины пожаров и не позволяют сделать правильные оценки уровня пожаровзрывобезопасности.

Цели и задачи. Повышение качества оценки статистических данных о пожарах на резервуарах на основе использования данных из разных источников информации. Формирование квалификационных признаков причин пожаров позволит упростить процедуру экспертизы пожаров.

Методы. Анализ статистических данных о пожарах на объектах хранения, транспортировки и переработки углеводородов. Расчетно-аналитическая оценка опасности формирования горючих концентраций в газовом пространстве резервуаров и формирование взрывоопасных зон снаружи технологических аппаратов.

Результаты и их обсуждение. В статье рассматриваются особенности оценки уровня пожаровзрывобезопасности резервуаров на основе классификации причин пожаров, происходящих на стадии предремонтной подготовки резервуаров и проведения огневых работ. Сформированы три основных классификационных признака: пожары, возникающие при выполнении технологических операций по предремонтной подготовке; пожары, возникающие после выполнения нормативных требований по предремонтной подготовке, и пожары, связанные с грубейшими нарушениями требований пожарной безопасности.

Выводы. В целях предотвращения пожаров должны тщательно прорабатываться вопросы проектирования резервуарных парков, соблюдаться меры пожарной безопасности при эксплуатации объектов хранения углеводородов, осуществляться поддержание исправности оборудования, проводиться профилактические работы.

Ключевые слова: резервуарный парк; пожар; нефтепродукт; предремонтная подготовка; очистка; дегазация; огневые работы; источник зажигания; горючая среда

Для цитирования: Назаров В.П., Корольченко Д.А., Швырков С.А., Тангиев М.М., Петров А.П. Особенности оценки уровня пожаровзрывобезопасности резервуаров перед проведением огневых работ // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2021. Т. 30. № 6. С. 52–60. DOI: 10.22227/0869-7493.2021.30.06.52-60

✉ Корольченко Дмитрий Александрович, e-mail: KorolchenkoDA@mgsu.ru

Features of assessing the level of fire and explosion safety of tanks before hot works

Vladimir P. Nazarov¹, Dmitriy A. Korolchenko^{2✉}, Sergey A. Shvyrkov¹,
Mukhammed M. Tangiev¹, Anatoliy P. Petrov¹

¹ The State Fire Academy of the Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination on Consequences of Natural Disasters, Moscow, Russian Federation

² Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. One of the most important stages in the development of fire and explosion safety requirements applicable to the process of design and operation of oil and petroleum products storage facilities is the correct examination of the facts of fires and explosions. Unfortunately, electronic resources don't always correctly disclose the causes of fires and don't allow for the correct assessments of the fire safety level.

Goals and objectives. The goal of the study is to improve the quality of evaluation of statistical data on fires arising in reservoirs, based on the use of data from various information sources. The compilation of qualification attributes of causes of fires will simplify the fire examination procedure.

Methods. Research methods include the analysis of statistical data on fires at hydrocarbon storage, transportation and processing facilities. The work encompasses the computational and analytical assessment of the possibility of formation of combustible concentrations in the gas space of tanks and formation of explosive zones outside technological devices.

Results and their discussion. The article addresses features of assessing the fire and explosion safety of tanks by classifying causes of fires at the stage of pre-repair preparation of tanks and hot works. Three principal classification features have been identified: fires that occur during the pre-repair preparation; fires that occur after the fulfillment of regulatory requirements for the pre-repair preparation, and fires caused by major violations of fire safety requirements.

Conclusions. To prevent fires, the issue of tank farm design should be elaborated in detail, fire safety measures should be taken during the operation of hydrocarbon storage facilities, maintenance of equipment should be carried out, preventive maintenance should be executed, as well.

Keywords: tank farm; fire; oil product; pre-repair preparation; cleaning; degassing; hot works; ignition source; combustible environment

For citation: Nazarov V.P., Korolchenko D.A., Shvyrkov S.A., Tangiev M.M., Petrov A.P. Features of assessing the level of fire and explosion safety of tanks before hot works. *Pozharovzryvobezopasnost/Fire and Explosion Safety*. 2021; 30(6):52-60. DOI: 10.22227/0869-7493.2021.30.06.52-60 (rus).

✉ *Dmitriy Aleksandrovich Korolchenko*, e-mail: KorolchenkoDA@mgsu.ru

Введение

Резервуарные парки являются объектами с повышенным уровнем пожаровзрывобезопасности, так как пожар, происходящий в резервуаре, приводит к значительному материальному ущербу и к человеческим жертвам.

Проблема пожарной безопасности объектов нефтегазового комплекса актуальна не только на территории Российской Федерации, но и за рубежом. В ряде научных работ приведен анализ пожаров на резервуарах, произошедших за рубежом. Согласно этим работам, в период с 1950 по 2004 годы произошло около 500 пожаров на резервуарах [1–3]. Отмечается, что происходит незначительное увеличение количества аварий в рассматриваемый период. Данное явление позволяет сделать вывод о том, что это может быть связано не только с развитием нефтедобывающей и нефтеперерабатывающей промышленности, но и с отсутствием достоверной информации о реальном количестве произошедших аварий в данный отрезок времени.

В 1980-х годах сотрудниками ВИПТШ МВД СССР Волковым О.М., Сучковым В.П., Швырковым А.Н., Назаровым В.П. был проведен анализ статистики пожаров в системе Госкомнефтепродукта РСФСР. В основу анализа были взяты данные ГУПО МВД СССР, данные журнального учета в центральном аппарате и региональных подразделений Госкомнефтепродукта РСФСР, а также результаты опроса специалистов на местах. Результаты исследований показали, что результаты журнального учета на местах и данные официальной статистики отличаются в несколько раз, а результаты опроса специалистов, например, по опасным событиям при подготовке к ремонту технологического оборудования и проведении огневых работ — в 10 раз. Специ-

алисты на местах давали информацию о том, что факты опасных событий не передавались в вышестоящие инстанции, если не было травматизма персонала.

Современный стиль отчетности тоже имеет недостатки. Так, по данным ВНИИПО на объектах НК «Лукойл» не было случаев гибели персонала, тем не менее известно, что 5 октября 2017 г. в г. Кстово произошел взрыв на РВСП-10000 при проведении реконструкции системы пенного пожаротушения с гибелью четырех рабочих. Аналогичная ситуация сложилась и в учете пожаров в системе АК «Транснефть». Данные опубликованной статистики ВНИИПО МЧС РФ не соответствуют реальным фактам пожаров, так, в 2019 г. не учтены факты двух пожаров при проведении предремонтной подготовки резервуаров^{1, 2}.

Указанная выше ситуация с обработкой статистических данных и исследованием пожаров не способствует адекватной оценке уровня пожаровзрывобезопасности резервуаров. Поэтому целесообразно обсудить конкретные факты и причины пожаров на резервуарах, которыми являются: самовозгорания пирофорных соединений — 11,6 % (из этого числа на НПЗ — 62,5 %, на промыслах — 37,5 %), разряды атмосферного электричества — 5,8 %, разряды статического электричества — 8,7 %, искры от ударов, возникающих при отборе проб, — 2,9 %. Согласно имеющимся данным, наибольшая доля аварийных ситуаций была связана с предремонтной подготовкой (34,7 %) и проведением огневых работ [2].

¹ Новости дня в России и мире. РБК. URL: [https://www.rbc.ru/rbc_freenews/5de8176b9a7947b3e8e1b061\(03.02.2020\)](https://www.rbc.ru/rbc_freenews/5de8176b9a7947b3e8e1b061(03.02.2020))

² Новостной портал «Нижегород онлайн». URL: <https://www.nn.ru/news/articles/51321851>

Цель настоящего исследования: оценка статистических данных о пожарах на резервуарах на основе использования разных источников информации. Формирование квалификационных признаков причин пожаров позволит упростить процедуру экспертизы пожаров.

Аналитический обзор и аналитическая оценка результатов исследования

4 декабря 2019 г. на нефтеперекачивающей станции (НПС) «Калейкино» в резервуаре объемом 20 000 м³ произошел взрыв, а затем начался пожар. В результате погибли два человека, которые проводили работы по зачистке резервуара. Причиной пожара стало возгорание паровоздушной смеси. Такой подход к оценке причинно-следственных связей не является достаточно профессиональным, так как любой взрыв (пожар) связан с возгоранием паровоздушной смеси. В этой оценке причины формирования горючих концентраций не раскрыты, а источники зажигания не указаны.

В г. Кстово Нижегородской области 5 октября 2017 г. в 14.10 на заводе «Лукойл» в ходе ремонтных работ на бензиновом резервуаре, проводимых подрядными организациями, произошло возгорание, а затем взрыв. Причина инцидента — нарушение

правил пожаровзрывобезопасности при проведении регламентных работ на резервуаре. Из-за аварии погибло четыре человека. Данные приведенного электронного ресурса противоречивы, так как на видео съемке зафиксирован сначала взрыв, а затем пожар, а не возгорание и затем взрыв.

31 мая 2005 г. в Варффюме, Нидерланды, при осуществлении сварочных работ внутри закрытого резервуара с остатками нефтепродуктов произошел взрыв. В результате двое рабочих погибли. Третий был госпитализирован в тяжелом состоянии в больницу [4]. Из этих сведений нельзя сделать вывод, проводился ли предварительный газовый анализ, если да, то какими приборами. Какие предварительные технологические операции по предремонтной подготовке резервуара были проведены перед огневыми работами.

Приведенная выше информация не раскрывает фактических причин пожаров и искажает законы и закономерности возникновения и развития пожаров. Поэтому рассмотрим более детально взрывы и пожары, произошедшие при проведении предремонтной подготовки и огневых работ, которые можно классифицировать на несколько основных групп:

1) возникшие при очистке резервуара от остатков нефтепродуктов в период проведения технологи-



Рис. 1. Взрыв на РВСП-10000 в г. Кстово

Fig. 1. An explosion of an RVSP-10000 oil tank, Kstovo

ческих операций по очистке резервуаров — 29,2 %, что свидетельствует о высоком уровне пожаро-взрывоопасности технологий предремонтной подготовки резервуаров;

2) произошедшие непосредственно при проведении ремонтных работ, в том числе огневых работ на резервуарах, которые были предварительно очищены, — 50,0 %. Учитывая такое большое количество аварийных ситуаций, произошедших по данной причине, необходимо анализировать и перерабатывать нормативно-техническую документацию, регламентирующую порядок проведения, технологию и пожаровзрывобезопасность очистных работ. Также это указывает на отсутствие безопасной и качественной техники и технологии по предремонтной подготовке;

3) возникшие при проведении огневых ремонтных работ на резервуарах при их обслуживании, но без предварительной очистки резервуаров от остатков нефтепродуктов, — 20,8 %. Такое количество скорее всего свидетельствует о низком уровне профессиональной подготовки и квалификации обслуживающего персонала, а также о необходимости разработки способов обеспечения пожаро-взрывобезопасности при проведении ремонтных работ на резервуарах без их предварительной очистки (рис. 1, 2) [1].

Характерным примером пожаров, произошедших при грубейших нарушениях требований нормативных документов, является пожар на РВСП-10000, происшедший в г. Кстово 5 октября 2017 г. на ООО «ЛУКОЙЛ- НЕФТЕОРГСИНТЕЗ».

По результатам проведенного статистического анализа Исследовательским центром экспертизы

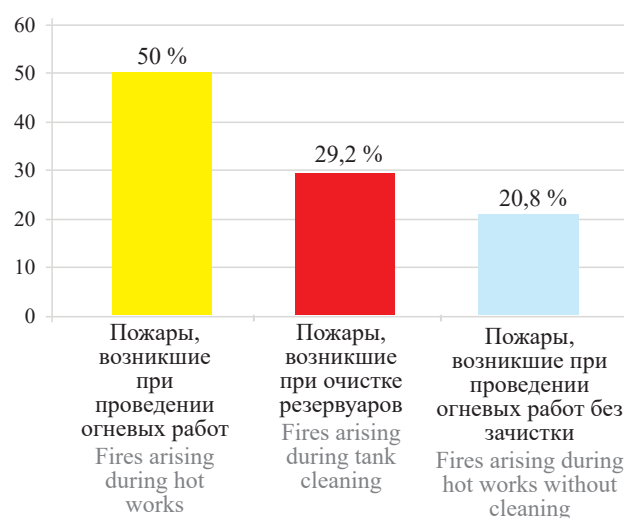


Рис. 2. Гистограмма статистических данных о пожарах в резервуарах, относящихся к предремонтной подготовке

Fig. 2. The hystogram of statistical data on tank fires related to pre-repair preparations

пожаров Чешко И.Д. и Петровой Н.В. установлено, что в период с 2010 г. по 2015 г. на территории резервуарных парков произошло 30,75 % пожаров, на резервуарах для хранения нефтепродуктов — 15 %, на автомобильных цистернах для перевозки нефтепродуктов — 6,25 %, на автозаправочных станциях — 11 %. Также на резервуарах для хранения нефтепродуктов, расположенных на территории промышленных предприятий — 2,5 %, на нефтепроводах, расположенных на территории нефтебаз, — 2,5 %, в железнодорожных цистернах для перевозки нефтепродуктов на нефтебазе — 2,5 %, складах горюче-смазочных материалов — 2,5 %. Данный анализ проводился на основании данных, полученных из 27 государственных судебно-экспертных учреждений федеральной противопожарной службы «Испытательная пожарная лаборатория» (СЭУ ФПС «ИПЛ»). В этих учреждениях запрашивались данные о пожарах, по которым в период 2010–2015 гг. работала лаборатория, и были подготовлены технические заключения или судебные экспертизы (рис. 3) [5]. Статистика свидетельствует, что 54 % происходит в резервуарах для хранения бензина, 32 % — в резервуарах для хранения сырой нефти, 14 % — в резервуарах, которые используются для хранения других видов нефтепродуктов [5–7].

Согласно проведенному анализу статистики о пожарах на объектах хранения и переработки нефтепродуктов, можно сделать вывод о том, что огневые и ремонтные работы зачастую являются причинами пожаров. В процессе их проведения могут возникать технологические источники зажигания, образующиеся при осуществлении резательных, сварочных, огневых работ.

Стоит отметить, что катастрофический отказ резервуара может возникнуть при взрыве легковоспламеняющихся паров. Характерным примером является авария 1986 г. в Салониках, произошедшая в ходе проведения резательных работ с образованием искр, воспламенивших горючие пары, что привело к распространению огня на другие районы. Пожар длился семь дней, результатом чего стало уничтожение 10 из 12 резервуаров для хранения сырой нефти и 5 погибших [8].

Выбор способа подготовки резервуара к ремонтным работам зависит от типа резервуара, его вместимости, количества отложений и т.д. Эта работа опасна и трудоемка, поэтому требует качественной предварительной оценки опасности, которая включает в себя анализ паровоздушной среды в зоне работ, вид нефтепродукта, с которым необходимо работать, также необходимо учитывать климатические условия, в которых находится резервуарный парк и состояние целостности резервуара. Эти и другие факторы в значительной степени оказыва-



Рис. 3. Гистограмма статистических данных о пожарах в период 2010–2015 гг.

Fig. 3. The histogram of statistical data on fires in 2010–2015

ют влияние на выбор метода подготовки резервуара к ремонту [1, 9, 10].

Наиболее распространенными технологическими операциями по предремонтной подготовке являются смыв остатков нефтепродукта, откачка нефтешлама, отделение нефтепродукта, его закачка в емкости, дегазация резервуаров с применением естественной и принудительной напорной вентиляции, зачистка внутренних поверхностей, сбор отходов [11].

Резервуары часто содержат остатки легковоспламеняющихся материалов, даже небольшое количество которых может привести к воспламенению и взрывоопасным концентрациям. Это особенно опасно при проведении огневых работ, в том числе газовой сварки, или с применением средств, генерирующих источник зажигания, таких как шлифовальные машины [9].

Опасность возникновения пожара существует при очистке резервуара. В результате того, что нарушаются условия нормального режима работы оборудования, возникает возможность для проникновения воздуха внутрь оборудования и его контакта с горючим, вследствие чего образуется взрывоопасная концентрация, которая представляет пожарную

опасность. Источниками зажигания здесь могут также быть фрикционные искры, искры от электрооборудования, выхлопные газы от используемой техники.

Несмотря на пожароопасность данного процесса, он необходим для поддержания резервуаров в нормальных условиях эксплуатации и хорошем техническом состоянии. В течение длительной эксплуатации резервуара на днище резервуара образуется технологический осадок нефтепродукта. Со временем он уплотняется, что ведет к снижению полезной емкости резервуара. Кроме этого, из-за осадка существует риск не выявить своевременно коррозию в днище, способную привести к его прорыву. Чтобы этого не случилось, необходимо систематически проводить очистку резервуаров [12].

Для этого могут использоваться различные способы. Одними из распространенных способов очистки днища и стенок резервуара от отложений нефтепродуктов являются системы гидравлического размыва и винтовые мешалки [10]. Однако опасность данного способа заключается в том, что при его применении происходит разгерметизация резервуара, а также существует вероятность утечки в случае потери герметичности сальниковых уплотнений. Следовательно, известные методы очистки от отложений недостаточно безупречны и совершенны. Поэтому поиск качественных способов очистки резервуаров является актуальной задачей.

Перед очисткой резервуара важен анализ его остатков, чтобы определить их химический состав [13].

Кроме этого, пожар способны вызвать разряды атмосферного электричества, к которым также относятся пожары, возникающие от ударов молний в резервуары, и огневые технологические установки.

Аварии, связанные с ударом молний и последующим взрывом паров нефти и газа, происходили множество раз. Например, в августе 1989 г. в г. Циндао произошел пожар в резервуаре, в результате которого 19 человек погибли и более 100 человек получили ранения, также был понесен непосредственный экономический ущерб 35,4 млн юаней [14].

Большую опасность представляют собой зоны со взрывоопасной концентрацией, которая образуется в результате загазованности воздуха парами горючих жидкостей. Повышенное содержание паров возникает при заполнении резервуаров, при перекачке нефтепродуктов. Здесь источниками зажигания могут быть автомобили, искры от электрооборудования, открытый огонь, курение и др. [15].

Характерным примером является пожар, распространившийся на другие территории и произошедший 22 июня 1996 г. в ходе перекачки нефти рабочим. Данные исследования показали, что рас-

стояние от трубы до дна резервуара составило 1,9 м, вследствие чего был накоплен огромный электростатический заряд от ударов брызг нефти, в результате которого произошло воспламенение горючих паров [16].

В связи с тем, что ремонтные работы происходят в условиях повышенной пожароопасности и часто являются причиной возникновения пожаров, их проведение должно быть предопределено разработкой методологии на основании исследований статистических данных о пожарах.

Следует отметить, что механизированные способы очистки имеют ряд преимуществ перед ручными с помощью рабочего персонала. Конечно, зачастую заказчик делает выбор в пользу более низкой стоимости проведения работ, но их качество в данных случаях снижается, а возникновение аварий при проведении огневых работ напрямую зависит от качества очистки, что также подтверждают случаи, описанные выше. В таких случаях экономический ущерб от пожара может превышать 200 млн рублей, что делает целесообразным применять именно механизированные методы и способы очистки с помощью мобильных очистных комплексов и допускать к работам только высококвалифицированный рабочий персонал [17–19].

В целях предотвращения пожаров должны тщательно прорабатываться вопросы проектирования резервуарных парков, соблюдаться меры пожарной безопасности, поддерживаться исправность оборудования, проводиться профилактические работы. Важно соблюдать меры по смягчению последствий и минимизации масштабов аварий. Системы без-

опасности должны обеспечивать соблюдение основных требований к резервуарным паркам [20–22]. Однако, несмотря на принимаемые меры, число пожаров практически не изменяется

Пожары, происходящие в резервуарах, как правило, начинаются со взрыва, в результате чего автоматические установки пожаротушения выходят из строя. После повреждения пеногенерирующей аппаратуры пожар практически невозможно потушить автоматическими установками пожаротушения. Подобные случаи приводят к значительным материальным ущербам.

Выводы

Из вышесказанного следует, что возникновение пожара в резервуаре связано с наличием источников зажигания, пожароопасными свойствами нефтепродуктов, конструктивных особенностей резервуаров, наличия в газовом пространстве взрывоопасных концентраций. Анализ пожаров и аварийных ситуаций за последние несколько лет показывает, что в основном пожары и взрывы возникают, согласно результатам исследований статистики, на наземных резервуарах, причем значительная часть из них происходит в результате некачественной предремонтной подготовки. В связи с этим необходимо совершенствовать нормативную базу, связанную с хранением, технологическими операциями, проводимыми на объектах хранения нефтепродуктов, а также при подготовке резервуаров к ремонту применять современные механизированные мобильные очистные комплексы и привлекать для организации работ высококвалифицированный персонал.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Волков О.М., Назаров В.П. Пожарная безопасность при очистке и ремонте крупных резервуаров и танкеров. М. : ВНИИОЭНГ, 1979. 40 с.
2. Persson H., Lönnemark A. Tank fires-Review of fire incidents 1951–2003 // Brandforsk Project. 2004.
3. Назаров В.П. Проблемы и методы обеспечения пожаровзрывобезопасности предприятий нефтегазового комплекса // Вестник Академии ГПС МЧС России. 2005. № 4.
4. Knegtering B., Pasma H.J. Safety of the process industries in the 21st century: A changing need of process safety management for a changing industry // Journal of Loss Prevention in the Process Industries. 2009. Vol. 22. No. 2. Pp. 162–168. DOI: 10.1016/j.jlp.2008.11.005
5. Петрова Н.В., Чешко И.Д. Анализ экспертной практики по исследованию пожаров, произошедших на объектах хранения нефти и нефтепродуктов // Проблемы и перспективы судебной пожарно-технической экспертизы : материалы Междунар. науч.-практ. конф. СПб. : С.-Петербург. ун-т ГПС МЧС России. 2015. С. 78–81.
6. Петрова Н.В., Чешко И.Д. Установление причинно-следственных связей нарушений требований пожарной безопасности при чрезвычайной ситуации (пожаре) на объектах хранения нефтепродуктов // Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России. 2018. № 1. С. 42–49.

7. Петрова Н.В., Чешко И.Д., Шаранов С.В., Лобова С.Ф. Судебная нормативная пожарно-техническая экспертиза пожаров объектов хранения нефтепродуктов : монография. СПб. : СПб. Университет ГПС МЧС России, 2018. 466 с.
8. Chang J.I., Lin C.C. A study of storage tank accidents // Journal of loss prevention in the process industries. 2006. Vol. 19. No. 1. Pp. 51–59. DOI: 10.1016/j.jlp.2005.05.015
9. Fire safety in construction: Guidance for clients, designers and those managing and carrying out construction work involving significant fire risks. HSG168 (Second edition). HSE Books, 2010.
10. Александров В.Н., Галканов В.А., Мастобаев Б.Н., Кириллов Ю.К., Мальцев С.Н., Бахтин Р.Н., Локишин А.А. Совершенствование систем накопления донных нефтяных отложений в резервуарах большой вместимости // Нефтяное хозяйство. 2001. № 2. С. 70–72.
11. Гималетдинов Г.М. Очистка и диагностика резервуаров для нефти и нефтепродуктов : учеб. пособие. Уфа : Монография, 2016. 295 с.
12. Назаров В.П. Методы и способы снижения пожаровзрывоопасности процессов дегазации нефтяных резервуаров // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. 2019. № 1. С. 19–24. DOI: 10.25257/FE.2019.1.19-24
13. Chrysalidis A., Kyzas G.Z. Applied cleaning methods of oil residues from industrial tanks // Processes. 2020. Vol. 8. No 5. P. 569. DOI: 10.3390/pr8050569
14. Jiang L., Yin D. A reference to sea water in oil tank fire of coastal oil depot // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing, 2019. Vol. 267. No. 2. P. 022040. DOI: 10.1088/1755-1315/267/2/022040
15. Шевцов С.А., Быков И.А., Еськова Н.В., Владимиров Д.И., Балтабаев Д.Р. Оценка потенциального пожарного риска для оператора резервуарного парка от воздействия опасных факторов пожара // Современные проблемы гражданской защиты. 2018. № 2. С. 82–88. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35467533>
16. Hu Y., Wang D., Liu J., Gao J. A case study of electrostatic accidents in the process of oil-gas storage and transportation // Journal of Physics: Conference Series. IOP Publishing, 2013. Vol. 418. No. 1. P. 012037. DOI: 10.1088/1742-6596/418/1/012037
17. Плиева А.В., Освальд Е.С., Петровский В.М., Назаров В.П. Оценка экономической эффективности при подготовке резервуаров с нефтепродуктами к ремонтным огневым работам с использованием мобильных очистных комплексов // Экономика превентивных мероприятий по снижению риска возникновения чрезвычайных ситуаций и аварийно-спасательных работ : сб. ст. науч.-практ. конф. / под ред. А.И. Овсяник. М. : ООО «Объединенная редакция», 2019. С. 158–163.
18. Chettouh S., Hamzi R., Benaroua K. Examination of fire and related accidents in Skikda oil refinery for the period 2002–2013 // Journal of Loss Prevention in the Process Industries. 2016. Vol. 41. Pp. 186–193. DOI: 10.1016/j.jlp.2016.03.014
19. Zheng B., Chen G.H. Storage tank fire accidents // Process Safety Progress. 2011. Vol. 30. No. 3. Pp. 291–293. DOI: 10.1002/prs.10458
20. Ibrahim H.A., Syed H.S. Hazard analysis of crude oil storage tank farm // International Journal of Chem Tech Research. 2018. Pp. 300–308. DOI: 10.20902/IJCTR.2018.111132
21. Zhou Y., Zhao X.G., Zhao J.Y., Chen D. Research on fire and explosion accidents of oil depots // Chemical Engineering Transactions. 2016. Vol. 51. Pp. 163–168. DOI: 10.3303/CET1651028
22. Halloul Y., Chiban S., Awad A. Adapted fuzzy fault tree analysis for oil storage tank fire // Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects. 2018. Vol. 41. No. 8. Pp. 948–958. DOI: 10.1080/15567036.2018.1522393

REFERENCES

1. Volkov O.M., Nazarov V.P. *Fire safety during cleaning and repair of large tanks and tankers*. Moscow, VNIIOENG Publ., 1979; 40. (rus).
2. Persson H., Lönnemark A. Tank fires-Review of fire incidents 1951–2003. *Brandforsk Project*. 2004.
3. Nazarov V.P. Problems and methods of ensuring fire and explosion safety of oil and gas complex enterprises. *Journal of the Academy of GPS of the Ministry of Emergency Situations of Russia*. 2005; 4. (rus).
4. Knegtering B., Pasmanb H.J. Safety of the process industries in the 21st century: A changing need of process safety management for a changing industry. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. 2009; 22(2):162-168. DOI: 10.1016/j.jlp.2008.11.005

5. Petrova N.V., Czech Li.D. Analysis of expert practice in the study of fires that occurred at the objects of oil and petroleum products meals. *Problems and prospects of forensic fire-technical expertise : materials of the International Scientific and Technical Expertise. Practice. conf.* St. Petersburg, St. Petersburg. Ministry of Emergency Situations of Russia. 2015; 78-81. (rus).
6. Petrova N.V., Czech Li.D. Establishment of fire safety requirements violation cause and effect relationships and the appearance, development and (fire) consequences on petroleum storage facilities. *Journal of the St. Petersburg University of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia.* 2018; 1:42-49. (rus).
7. Petrova N.V., Cheshko S.V., Sharapov S.F., Lobova S.F. *Judicial regulatory fire-technical examination fires catering facilities oil products : monograph.* SPb, Saint-Petersburg University of state fire service of EMERCOM of Russia, 2018; 466. (rus).
8. Chang J.I., Lin C.C. A study of storage tank accidents. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries.* 2006; 19(1):51-59. DOI: 10.1016/j.jlp.2005.05.015
9. Fire safety in construction: Guidance for clients, designers and those managing and carrying out construction work involving significant fire risks. *HSG168 (Second edition).* HSE Books, 2010.
10. Alexandrov V.N., Galkanov V.A., Mastobaev B.N., Kirillov Yu.K., Maltsev S.N., Bakhtizin R.N., Lokshin A.A. Improvement of systems of accumulation of oil bottom deposits in large-capacity tanks. *Oil economy.* 2001; 2:70-72. (rus).
11. Himaletdinov G.M. *Cleaning and diagnostics of tanks for oil and petroleum products : textbook. The murder weapon.* Ufa, Monograph, 2016; 295. (rus).
12. Nazarov V.P. Methods and ways of reducing fire and explosion hazard at oil tanks degassing. *Fire and emergencies: prevention, elimination.* 2019; 1:19-24. DOI: 10.25257/FE.2019.1.19-24 (rus).
13. Chrysalidis A., Kyzas G.Z. Applied cleaning methods of oil residues from industrial tanks. *Processes.* 2020; 8(5):569. DOI: 10.3390/pr8050569
14. Jiang L., Yin D. A reference to sea water in oil tank fire of coastal oil depot. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.* IOP Publishing, 2019; 267(2):022040. DOI: 10.1088/1755-1315/267/2/022040
15. Shevtsov S.A., Bykov I.A., Eskova N.V., Vladimirov D.I., Baltabaev D.R. Assessment of potential fire risk for the operator of the reservoir park from influence of dangerous factors of the fire. *Modern Problems of Civil Protection.* 2018; 2:82-88. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35467533> (rus).
16. Hu Y., Wang D., Liu J., Gao J. A case study of electrostatic accidents in the process of oil-gas storage and transportation. *Journal of physics: conference series.* IOP Publishing, 2013; 418(1):012037. DOI: 10.1088/1742-6596/418/1/012037
17. Plieva A.V., Oswald E.S., Petrovsky V.M., Nazarov V.P. Assessment of economic efficiency in the preparation of tanks with petroleum products for fire repair work using mobile treatment complexes. *Evaluation of economic efficiency when preparing reservoirs with oil products for repair fire works using mobile cleaning complexes : collection of articles of the scientific and practical conference.* A. Ovsyanik (ed.). Moscow, LLC "United Edition", 2019; 158-163. (rus).
18. Chettouh S., Hamzi R., Benaroua K. Examination of fire and related accidents in Skikda Oil Refinery for the period 2002-2013. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries.* 2016; 41:186-193. DOI: 10.1016/j.jlp.2016.03.014
19. Zheng B., Chen G.H. Storage tank fire accidents. *Process Safety Progress.* 2011; 30(3):291-293. DOI: 10.1002/prs.10458
20. Ibrahim H.A., Syed H.S. Hazard analysis of crude oil storage tank farm. *International Journal of Chem Tech Research.* 2018; 300-308. DOI: 10.20902/IJCTR.2018.111132
21. Zhou Y., Zhao X.G., Zhao J.Y., Chen D. Research on fire and explosion accidents of oil depots. *Chemical Engineering Transactions.* 2016; 51:163-168. DOI: 10.3303/CET1651028
22. Halloul Y., Chiban S., Awad A. Adapted fuzzy fault tree analysis for oil storage tank fire. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects.* 2018; 41(8):948-958. DOI: 10.1080/15567036.2018.1522393

Поступила 12.10.2021, после доработки 05.11.2021;

принята к публикации 22.11.2021

Received October 12, 2021; Received in revised form November 5, 2021;

Accepted November 22, 2021

Информация об авторах

НАЗАРОВ Владимир Петрович, д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры пожарной безопасности технологических процессов в составе учебно-научного комплекса пожарной безопасности объектов защиты, Академия Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4; РИНЦ ID: 764644; ORCID: 0000-0001-8579-4062; e-mail: nazarovvp@bk.ru

КОРОЛЬЧЕНКО Дмитрий Александрович, канд. техн. наук, заведующий кафедрой комплексной безопасности в строительстве, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26; РИНЦ ID: 352067; Scopus Author ID: 55946060600; ResearcherID: E-1862-2017; ORCID: 0000-0002-2361-6428; e-mail: KorolchenkoDA@mgsu.ru

ШВЫРКОВ Сергей Александрович, д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры пожарной безопасности технологических процессов в составе учебно-научного комплекса пожарной безопасности объектов защиты, Академия Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4; РИНЦ ID: 765228; ORCID: 0000-0001-7449-8794; e-mail: magistr-87@list.ru

ТАНГИЕВ Мухаммед Муратович, лейтенант внутренней службы, адъюнкт факультета подготовки научно-педагогических кадров, Академия Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4; ORCID: 0000-0001-8485-8925; e-mail: tm_cfd@mail.ru

ПЕТРОВ Анатолий Павлович, д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры пожарной безопасности технологических процессов в составе Учебно-научного комплекса пожарной безопасности объектов защиты, Академия Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4; РИНЦ ID: 765316; ORCID: 0000-0002-7757-1771; e-mail: setyn@list.ru

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about the authors

Vladimir P. NAZAROV, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Professor of the Department of Fire Safety of Technological Processes as part of the Educational and Scientific Complex of Fire Safety of Protection Objects, the State Fire Academy of the Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination on Consequences of Natural Disasters, Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation; ID RISC: 764644; ORCID: 0000-0001-8579-4062; e-mail: nazarovvp@bk.ru

Dmitriy A. KOROLCHENKO, Cand. Sci. (Eng.), Head of Department of Integrated Safety in Civil Engineering, National Research Moscow State University of Civil Engineering, Yaroslavl'skoe Shosse, 26, Moscow, 129337, Russian Federation; ID RISC: 352067; Scopus Author ID: 55946060600; Researcher ID: E-1862-2017; ORCID: 0000-0002-2361-6428; e-mail: KorolchenkoDA@mgsu.ru

Sergey A. SHVYRKOV, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Professor of the Department of Fire Safety of Technological Processes as part of the Educational and Scientific Complex of Fire Safety of Protection Objects, the State Fire Academy of the Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination on Consequences of Natural Disasters, Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation; ID RISC: 479363; ORCID: 0000-0001-7449-8794; e-mail: pbtp@mail.ru

Mukhammed M. TANGIEV, Lieutenant of the Internal Service, Post Graduate Student of the Faculty of Training of Scientific and Pedagogical Personnel, the State Fire Academy of the Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination on Consequences of Natural Disasters, Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation; ORCID: 0000-0001-8485-8925; e-mail: tm_cfd@mail.ru

Anatoliy P. PETROV, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Professor of the Department of Fire Safety of Technological Processes as part of the Educational and Scientific Complex of Fire Safety of Protection Objects, The State Fire Academy of the Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination on Consequences of Natural Disasters, Moscow, Russian Federation, Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation; ID RISC: 765316; ORCID: 0000-0002-7757-1771; e-mail: setyn@list.ru

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

The authors declare no conflicts of interests.