

Научная статья
УДК 614.835.4
doi:10.34987/vestnik.sibpsa.2025.85.43.022

Обоснование необходимости экспериментального определения вероятности возгорания легковоспламеняющихся и горючих жидкостей в условиях их электризации

Юнус Юсупович Осмонов

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург, Россия
<https://orcid.org/0000-0002-8109-0495>

Автор, ответственный за переписку: Юнус Юсупович Осмонов, [junusosmonov@gmail.com](mailto:junososmonov@gmail.com)

Аннотация. В статье производится обоснование необходимости экспериментального определения вероятности возгорания легковоспламеняющихся и горючих жидкостей, обусловленного электростатическими разрядами, возникающими при накоплении зарядов. Определены объекты, на которых существует высокий риск электризации жидких топлив с последующим возникновением аварийных ситуаций. Проведен анализ существующих теоретических моделей и нормативных требований, выявлены их ограничения в части учета реальных условий эксплуатации. На основании анализа методик по оценке пожарных рисков выявлено, что вероятность возгорания от статического электричества не оценивается.

Обосновывается необходимость проведения комплексных экспериментальных исследований, направленных на определение вероятности возгорания легковоспламеняющихся и горючих жидкостей в зависимости от параметров электризации. Предлагается провести экспериментальное исследование для определения вероятности возникновения воспламенения в условиях электризации жидких топлив. Цель эксперимента заключается в анализе внешних факторов, влияющих на вероятность воспламенения, и оценке критического уровня заряда, приводящего к искрообразованию.

Данные, позволяющие произвести оценку вероятности возникновения пожара в условиях статической электризации жидких топлив, полученные экспериментальным путем, позволят уточнить методики оценки пожарных рисков и разработать мероприятия по защите объектов хранения и переработки легковоспламеняющихся и горючих жидкостей. Предложена установка для экспериментального определения вероятности воспламенения паров горючей жидкости от воздействия электростатического разряда.

Ключевые слова: электризация жидких топлив, статическое электричество, пожарный риск, воспламенение, нефтепродукты, легковоспламеняющиеся жидкости, горючие жидкости, взрывопожароопасность

Для цитирования: Осмонов Ю.Ю. Обоснование необходимости экспериментального определения вероятности возгорания легковоспламеняющихся и горючих жидкостей в условиях их электризации // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2025. № 4 (39). С. 261-269. <https://doi.org/10.34987/vestnik.sibpsa.2025.85.43.022>.

Original article.

Substantiation of the need for experimental determination of the probability of ignition of flammable and combustible liquids under conditions of their electrification

Yunus Y. Osmonov

Saint-Petersburg University of State Fire Service of EMERCOM of Russia, Saint Petersburg, Russia
<https://orcid.org/0000-0002-8109-0495>

Corresponding author: Yunus Y. Osmonov, [junusosmonov@gmail.com](mailto:junososmonov@gmail.com)

Abstract. The article justifies the need for experimental determination of the probability of ignition caused by electrostatic discharges resulting from charge accumulation. An analysis of existing theoretical models and regulatory requirements is presented, revealing their limitations in accounting for real-world operating conditions. The review of fire risk assessment methodologies shows that the probability of ignition due to static electricity is not currently evaluated.

The necessity of comprehensive experimental studies is substantiated, aimed at determining the probability of fire occurrence depending on electrification parameters. An experimental study is proposed to assess the likelihood of fires and explosions under conditions of liquid fuel electrification. The experiment's goal is to analyze external factors influencing ignition probability and evaluate the critical charge level leading to spark formation.

Data obtained experimentally will refine fire risk assessment methods and support the development of protective measures for storage and processing facilities handling flammable and combustible liquids. A setup has been proposed for the experimental determination of the ignition probability of flammable liquid vapors caused by electrostatic discharge.

Keywords: electrification of liquid fuels, static electricity, fire hazard, ignition, petroleum products, flammable liquids, combustible liquids, explosion and fire risk

For citation: Osmonov Y.Y. Substantiation of the need for experimental determination of the probability of ignition of flammable and combustible liquids under conditions of their electrification // Siberian Fire and Rescue Bulletin. 2025. № 4 (39). С. 261-269. (In Russ.) <https://doi.org/10.34987/vestnik.sibpsa.2025.85.43.022>.

Электризация жидких топлив – это процесс накопления статического электричества при их перекачивании, транспортировке, фильтрации и хранении. Данное явление представляет опасность, поскольку может привести к искрообразованию и последующему воспламенению паровоздушных смесей, что чревато пожарами и взрывами [1].

При движении топлива (особенно с высокой скоростью через фильтры и узкие трубопроводы) происходит его электризация – разделение зарядов и накопление электростатического потенциала. Это создает риск искрового разряда, который может воспламенить паровоздушную смесь топлива, приведя к пожару или взрыву. Цель статьи заключается в обосновании необходимости проведения эксперимента по определению вероятности пожара от статического электричества при работе с жидкими топливами.

При перекачке, наливе или фильтрации жидких углеводородных топлив, обладающих низкой электропроводностью (таких как бензин, керосин, дизельное топливо), возникает комплексное электростатическое явление, представляющее серьезную пожарную опасность. Физическая суть процесса заключается в двойном электрическом слое, который формируется на границе раздела фаз «жидкость – твердая стенка». При турбулентном движении жидкости происходит интенсивное трение и соударение капель о стенки трубопроводов, фильтрующие элементы и конструкционные элементы резервуаров. В результате этого взаимодействия происходит сепарация зарядов: отрицательные заряды (электроны) преимущественно адсорбируются на поверхности твердого тела, в то время как положительные заряды уносятся потоком жидкости. Этот механизм, известный как «заряд релаксации», приводит к тому, что сама жидкость становится носителем объемного пространственного заряда.

Накопление этого заряда происходит в самой жидкости и на изолированных проводящих объектах, погруженных в нее или находящихся в паровом пространстве резервуара. По мере поступления новой порции заряженной жидкости электростатический потенциал возрастает. Критически важным элементом системы является поверхность раздела «пар – газ», где скапливаются пары топлива.

Энергия такого разряда определяется накопленным зарядом и электрической емкостью системы. Для воспламенения необходимо одновременное выполнение трех условий: энергия разряда должна превысить минимальную энергию зажигания, конкретной паровоздушной смеси; сама смесь должна находиться в пределах своих концентрационных пределов воспламенения, а состав смеси должен быть близок к стехиометрическому для наиболее эффективного энерговыделения. Следует отметить, что образование горючей концентрации наиболее вероятно в замкнутых объемах (например, в цистерне при ее заполнении на 50%, где паровоздушная смесь находится в оптимальном для воспламенения состоянии) или в непосредственной близости от поверхности жидкости с высокой температурой, увеличивающей давление паров. Таким образом, сочетание технологических операций, генерирующих статическое электричество, и определенных физических условий, обеспечивающих формирование горючей среды, создает предпосылки для реализации катастрофического сценария возгорания и взрыва.

Перечислим объекты, на которых существует высокий риск электризации жидких топлив с последующим возгоранием:

- нефтеперерабатывающие заводы (НПЗ);
- топливные склады и нефтебазы;
- автозаправочные станции и автозаправочные комплексы;
- морские и речные нефтеналивные терминалы;
- предприятия по производству лаков и красок.

Из-за высоких скоростей потока легковоспламеняющихся жидкостей и горючих жидкостей при перекачке существует высокая вероятность их электризации. В случае несоблюдения мер защиты в условиях высокой концентрации паров углеводородов это может привести к воспламенению и взрыву, что как правило приводит к разрушению оборудования, выбросу токсичных веществ.

Так, например, 31 мая 2005 года при проведении операции по сливу дизельного топлива на ЗАО «Петербургский нефтяной терминал» воспламенились пары нефтепродукта при следующих обстоятельствах: дизельное топливо сливалось в резервуар, где находились пары бензина с концентрацией выше взрывоопасной. При поступлении дизельного топлива, концентрация паров снизилась до взрывоопасной, и произошел взрыв из-за разряда статического электричества внутри приёмной ёмкости. В результате аварии погиб 1 человек [2].

Аварии, вызванные электризацией топлив, могут привести к катастрофическим последствиям – от человеческих жертв до многомиллионных убытков. Реальные примеры показывают, что большинство инцидентов можно было предотвратить соблюдением элементарных мер безопасности.

Взрывы, пожары и катастрофы, происходящие при проведении операций по перегрузке, хранении и использовании нефтепродуктов свидетельствуют о том, что эти процессы не только недостаточно исследованы, но и не полностью формализованы в части адекватного документального обеспечения безопасности.

Анализ зарубежных и отечественных методик оценки пожарных рисков показывает, что большинство подходов сосредоточены на оценке вероятности возникновения пожаров исходя из общих факторов риска, таких как состояние оборудования, характеристики материалов, наличие источников воспламенения и человеческий фактор [3-10].

Методики NFPA являются одними из наиболее широко используемых стандартов пожарной безопасности в мире. Несмотря на то, что они охватывают широкий спектр вопросов пожарной безопасности, специализированная оценка риска возгорания от статического электричества представлена лишь частично. Например, стандарт NFPA 77, посвященный электростатике, рассматривает меры защиты против образования опасных зарядов, но методика расчета вероятности возникновения пожара непосредственно от статического разряда детально не разработана.

Комиссия IEC разработала стандарты, касающиеся измерения и предотвращения электрических разрядов. Стандарт IEC 60079-32-1 посвящен измерению уровня электростатической опасности и предотвращению возгораний во взрывоопасных зонах. Хотя этот документ охватывает технические аспекты проблемы, подробной методики количественной оценки риска пожара от статического электричества он не предлагает.

Федеральный закон № 123-ФЗ [11] устанавливает общие принципы организации противопожарной защиты объектов и производств, в частности рассматривая необходимость учета статического электричества как фактора риска. Тем не менее, конкретных методов расчета вероятности пожара от этого явления документ не определяет.

Методика определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах [12] также не учитывает вероятность возникновения пожара от статического электричества.

В работе [2] представлена обширная информация о взрывах цистерн и резервуаров по причине статического электричества. Интересен вывод о том, что заземление оборудования, являющаяся стандартной мерой борьбы со статическим электричеством, не гарантирует полной безопасности. Большинство взрывов происходит от разрядов внутри емкостей, несмотря на надежное заземление. Заземление лишь частично решает проблему; необходимы дополнительные меры для минимизации риска разрядов.

Вторым интересным моментом, представленным в статье [2] является факт, подтвержденный экспериментальными исследованиями, что, налив дизтоплива в цистерну из-под бензина особенно опасен: дизель абсорбирует пары бензина, снижая концентрацию до взрывоопасного диапазона. Прокачка дизтоплива (без контакта с жидким бензином) через объем с парами бензина высокой концентрации снижает ее до взрывоопасного уровня, что приводит к взрыву при наличии искры (нередко она возникает из-за возникновения электростатического разряда).

Для исключения аварийных ситуаций авторами предлагается производить строгое разделение емкостей – не допускать налива дизельного топлива в емкости, где ранее хранился бензин и наоборот. В случае невозможности производить полную дегазацию паров путем продувки емкостей воздухом.

Несмотря на то, что международные и российские нормы признают опасность возникновения пожаров от статического электричества, детальной методологии для количественного анализа риска пока не существует ни в одной общепринятой зарубежной или отечественной методике. Обычно проблема решается путем внедрения технических мер предосторожности – заземления, увлажнения воздуха, выбора специальных материалов и покрытий, снижающих накопление зарядов.

В рассматриваемом случае под вероятностью воспламенения подразумевается количественная оценка случаев воспламенения паров легковоспламеняющихся жидкостей при задаваемых параметрах, тем самым планируется определение минимальных энергий зажигания для различных метеорологических условий.

Определение вероятности воспламенения жидких топлив от источника электростатического разряда позволит уточнить методики по оценке пожарных рисков и оценить эффективность антистатических мероприятий, а также дает возможность разработки точных регламентов безопасной эксплуатации объектов хранения и переработки ЛВЖ и ГЖ.

В целях обеспечения промышленной безопасности предлагается провести экспериментальное определение вероятности возникновения пожаров и взрывов при электризации жидких топлив. Целью эксперимента является анализ внешних факторов, зависящих на вероятность воспламенения. Задачами – оценка критического уровня заряда, приводящего к искрообразованию и вероятности воспламенения паровоздушной смеси в конкретных условиях.

Вероятность воспламенения жидких топлив от источников статического электричества определяется рядом факторов, включая характеристики самого топлива, условия его хранения и транспортировки, а также интенсивность накопления статического заряда.

Экспериментальные исследования позволяют выявить критические уровни статического заряда, при которых возникает риск взрыва или воспламенения. Важным параметром является минимальное количество энергии, необходимое для инициирования воспламенения.

Возникновение статического электричества топлив практически невозможно предотвратить, так как процесс накопления разряда вызван внутренними свойствами систем, связанными с различными процессами на поверхностях [13]. Статическое электричество возникает при использовании материалов с высокими изоляционными свойствами. Для обеспечения безопасной эксплуатации объектов, на которых обращаются горючие и легковоспламеняющиеся жидкости, существует необходимость анализа факторов электризации нефтепродуктов, развития методов оценки интенсивности и закономерностей этого процесса.

Решение этих задач будет способствовать обеспечению безопасного проведения технологических операций с нефтепродуктами, предотвратить возникновение пожаров от разрядов статического электричества. Электризация нефти и нефтепродуктов при движении по трубопроводам является причиной внесения образующегося заряда статического электричества в резервуары и иные емкости, что способствует возникновению искровых разрядов в парогазовом пространстве с развитием в дальнейшем взрывов и пожаров. Значительного проявления статическое электричество приобрело на автозаправочных станциях при заправке автомобильного транспорта и при перекачивании светлых нефтепродуктов [14].

Электризация жидких топлив может возникнуть при перемещении, переливе, а также при наличии турбулентного потока, что может вызвать накопление статического электричества. Параметры окружающей среды могут в значительной степени повлиять на исследуемые параметры, так, например, при низкой влажности и высокой температуре вероятность возгорания значительно возрастает.

Метеорологические условия влияют на вероятность возникновения пожаров и взрывов в условиях статической электризации жидких топлив. Температура, влажность окружающей среды влияют на способность накопления электростатических зарядов и риск возгорания паров топлива.

В теории, повышение температуры увеличивает испаряемость топлива, повышая концентрацию его паров в воздухе. Чем выше концентрация пара, тем больше вероятность образования опасной смеси с воздухом, способной воспламениться от искры, вызванной разрядом статического электричества. Высокая относительная влажность напротив уменьшает накопление статического заряда, поскольку влажный воздух обладает большей электропроводностью, чем сухой. Таким образом, с увеличением влажности вероятность воспламенения топлив должна снижаться. В ходе проведения экспериментальных исследований предполагается подтвердить или опровергнуть данную гипотезу.

Таким образом, понимание влияния внешних параметров на вероятность возникновения возгорания в условиях статической электризации жидких топлив позволит разработать эффективные меры безопасности.

В этой связи, эксперимент по определению вероятности воспламенения паров легковоспламеняющихся жидкостей в условиях статической электризации топлив

целесообразно провести для различных видов топлива, с учетом изменения таких параметров, как мощность электростатического разряда, температура топлива, относительная влажность воздуха.

Перед исследователем стоят задачи по определению величины электростатического разряда для каждого вида топлива в стандартных условиях, исследованию влияния температуры и относительной влажности воздуха топлива на вероятность воспламенения. Необходимо установить критические (пороговые) значения параметров (мощность разряда, температура, влажность) для безопасного обращения с каждым видом топлива.

Электростатические разряды предлагается моделировать при помощи имитатора электростатических разрядов, используемых при тестировании электронных устройств и оборудования к электростатическим разрядам. Данные устройства позволяют задавать мощность разряда.

Предлагается следующий принцип эксперимента: в контролируемой атмосфере (камере) создается облако паров топлива. К этому облаку подводится электростатический разряд с известными параметрами. Фиксируется факт воспламенения или его отсутствие. Для статистической достоверности эксперимент повторяется многократно, как правило порядка 50 повторений для одинаковых условий.

Предлагается установка для экспериментального определения вероятности воспламенения паров горючей жидкости от воздействия электростатического разряда представленная на рисунке 1, которая содержит камеру – 1 с располагающимся в ее стенках чиллером – 2, съемную емкость – 3, куда помещается испытуемая жидкость, крышка – 4, где устанавливаются: патрубок от увлажнителя воздуха – 5, имитатор электростатического разряда – 6 с возможностью изменения положения электродов – 7, относительно испытуемой жидкости, датчик температуры – 8, датчик влажности воздуха – 9.

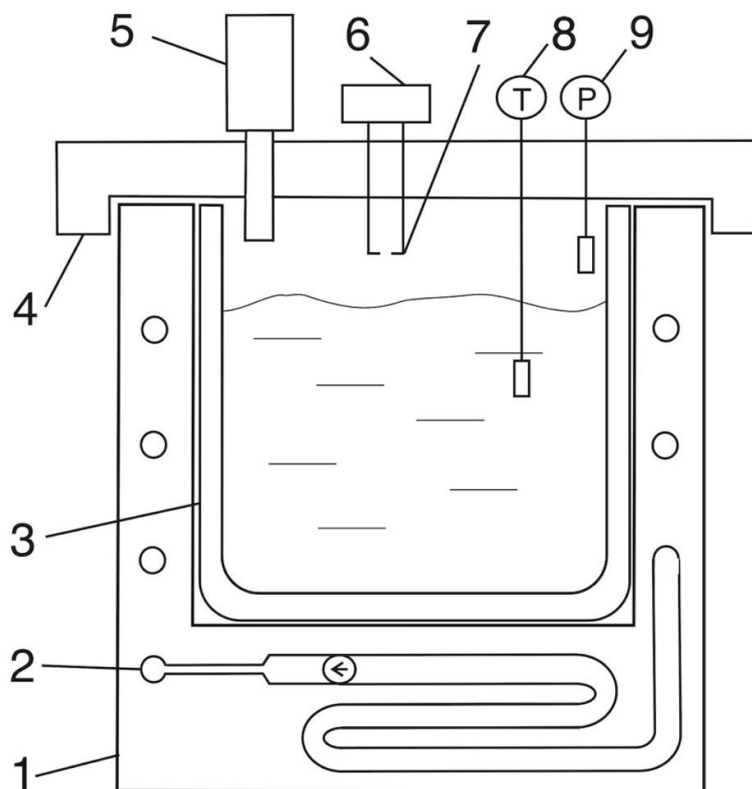


Рис.1. Установка для экспериментального определения вероятности воспламенения паров горючей жидкости от воздействия электростатического разряда

В результате проведения эксперимента важно достоверно оценить именно вероятность воспламенения жидких топлив. Достичь цели предлагается проведением серии испытаний с варьированием параметров.

В соответствии с теорией ожидается, что наиболее легколетучие топлива, такие как бензины, продемонстрируют наименьшую минимальной энергии зажигания, подтвердив их высочайшую опасность, в то время как для дизельного топлива минимальная энергия зажигания окажется существенно выше. Однако главная ценность исследования заключается не в констатации этого факта, а в установлении того, как эта критическая энергия изменяется в реальных эксплуатационных условиях.

Анализ влияния температуры топлива позволит выявить четкие температурные пороги безопасности. Это напрямую связано с давлением насыщенных паров и формированием горючей концентрации в воздухе. На практике это означает, что будут даны конкретные рекомендации по безопасным температурам хранения и перекачки, что позволит дифференцировать технологические регламенты для разных климатических зон и сезонов.

Исследование зависимости от относительной влажности воздуха, как ожидается, подтвердит ее роль как мощного фактора подавления риска, но в количественном выражении. Вероятно, будет установлен некий критический уровень влажности, выше которого вероятность образования воспламеняющего разряда резко падает. Это связано с увеличением электропроводности воздуха и поверхности оборудования, что способствует стеканию зарядов. Данный результат будет иметь прямое прикладное значение для проектирования складов и заправочных станций: в зонах повышенного риска можно будет рекомендовать установку систем поддержания влажности, что станет эффективной профилактической мерой.

Сравнительный анализ всех полученных данных позволит создать итоговую матрицу пожарной опасности топлив. В этой матрице все исследуемые топлива будут ранжированы не по одному параметру (температура вспышки), а по совокупности критериев: чувствительность к температуре, зависимость от влажности и ширина энергетического диапазона, в котором вероятность возгорания высока. В результате можно будет сделать вывод, что, например, некий вид бензина является наиболее критичным по совокупности параметров, требующим самых строгих мер, в то время как зимнее дизельное топливо в определенных условиях может оказаться достаточно безопасным.

Определение вероятности воспламенения от электростатического разряда представляет собой важный элемент современной системы управления пожарными рисками на объектах обращения с жидкими топливами. Такой подход позволит перейти от эмпирических оценок к научно обоснованным решениям и обеспечить экономически оптимальный уровень безопасности.

Экспериментальное определение вероятности возникновения воспламенения является необходимым элементом обеспечения безопасности процессов работы с жидкими топливами, что обусловлено фундаментальной сложностью явления электростатики в двухфазных средах и невозможностью теоретическим путем получить достоверную количественную оценку вероятности для конкретной установки.

Внедрение вероятностных методов оценки с учетом вероятности воспламенения жидких топлив должно стать обязательным требованием для особо опасных производств, что позволит повысить уровень промышленной безопасности в нефтеперерабатывающей и нефтехимической отраслях.

Список источников

1. Зыков П.И. Исследование статической электризации при флегматизации топливных резервуаров АЗС твердым диоксидом углерода // Пожарная безопасность. – 2019. – С. 84.
2. Перевалка нефтепродуктов. Опасности, которые необходимо предотвратить. Статья в интернете. <https://www.neftbaza.ru/informatsiya/publikatsii/356-perevalka-nefteproduktov-opasnosti-kotorye-neobkhodimo-predotvratit> [Электронный ресурс]. Дата обращения: 10.06.2025.

3. Якуш С.Е., Эсманский Р.К. Анализ пожарных рисков. Часть I: Подходы и методы // Проблемы анализа риска. – 2009. – Т. 6. – № 3. – С. 8-27.
4. Мاستрюков Б.С. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. / Б.С. Мاستрюков // Монография. – М.: Академия, 2013. – 336 с. – 2012.
5. Hadjisophocleous G.V., Fu Z. Literature review of fire risk assessment methodologies // International Journal on Engineering Performance-Based Fire Codes. – 2004. – Т. 6. – №. 1. – pp. 28-45.
6. Ibrahim M.N. et al. The development of fire risk assessment method for heritage building // Procedia Engineering. – 2011. – Т. 20. – pp. 317-324.
7. Black J. Risk-based regulation: choices, practices and lessons being learnt. Risk and regulatory policy. Improving the governance of risk. – Paris: OECD Publishing. – 2010. pp. 185 – 192.
8. Watts, J.M. Fire Risk Indexing. In: SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, Ch. 10. Section 5, Fire Risk Analysis, – 2002 – pp. 125 – 142.
9. Watts, J.M. (2002). Fire Risk Indexing. In: SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, Ch. 10. Section 5, Fire Risk Analysis, pp. 125 – 142. Quincy, MA: National Fire Protection Association.
10. Брушлинский, Н.Н. Пожарные риски. / Брушлинский Н. Н., Есин В. М., Слугин В. И // Вып. 4. Управление пожарными рисками. 2006 – М.: ФГУ ВНИИПО МЧС России.
11. Российская Федерация. Законы. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности: Федеральный закон N 123-ФЗ: текст с изменениями и дополнениями на 30 апреля 2021 года: [принят Государственной Думой 04 июля 2008 года: одобрен Советом Федерации 11 июля 2008 года]. – Текст: электронный // Консультант плюс: [сайт информ.-правовой компании]. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_78699. – Режим доступа: сеть Интернет.
12. Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах: [Введ. 2024-06-26: Приказ МЧС России № 533]. – 2024. – 76 с.
13. Кондрашова, О.Г. Причинно-следственный анализ аварий вертикальных стальных резервуаров / О.Г. Кондрашова, М.Н. Назарова // Нефтегазовое дело. – 2004. – Режим доступа: <http://www/ogbus.ru>.
14. Кондратович А.А., Оразбаев А.Р. Сигнальное устройство об опасном уровне электризации нефтепродуктов в резервуаре // Чрезвычайные ситуации: образование и наука. – 2015. – т. 10. – №. 1. – с. 108-112.

References

1. Zykov, P.I. (2019). Issledovanie staticheskoy elektrizacii pri flegmatizacii toplivnyh rezervuarov AZS tverdym dioksidom ugleroda [Investigation of static electrification during phlegmatization of gas station fuel tanks with solid carbon dioxide]. *Pozharnaya bezopasnost'* [Fire Safety], 84.
2. Perevalka nefteproduktov. Opasnosti, kotorye neobhodimo predotvratit' [Petroleum products transshipment. Hazards that need to be prevented]. (2025). Retrieved June 10, 2025, from <https://www.neftebaza.ru/informatsiya/publikatsii/356-perevalka-nefteproduktov-opasnosti-kotorye-neobkhodimo-predotvratit>.
3. Yakush, S.E., & Esmanskij, R.K. (2009). Analiz pozharnyh riskov. Chast' I: Podhody i metody [Fire risk analysis. Part I: Approaches and methods]. *Problemy analiza riska* [Issues of Risk Analysis], 6(3), 8-27.
4. Mastyukov, B.S. (2013). Bezopasnost' v chrezvychajnyh situacijah [Safety in emergency situations]. Moscow: Akademiya.
5. Hadjisophocleous, G.V., & Fu, Z. (2004). Literature review of fire risk assessment methodologies. *International Journal on Engineering Performance-Based Fire Codes*, 6(1), 28-45.
6. Ibrahim, M.N., Ibrahim, M.S., Mohd-Din, A., Abdul-Hamid, K., Yunus, R.M., & Yahya, M.R. (2011). The development of fire risk assessment method for heritage building. *Procedia Engineering*, 20, 317-324.
7. Black, J. (2010). Risk-based regulation: choices, practices and lessons being learnt. Risk and regulatory policy. Improving the governance of risk. Paris: OECD Publishing, 185-192.

8. Watts, J.M. (2002). Fire Risk Indexing. In: SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, Ch. 10. Section 5, Fire Risk Analysis, 125-142.
9. Watts, J.M. (2002). Fire Risk Indexing. In: SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, Ch. 10. Section 5, Fire Risk Analysis (pp. 125-142). Quincy, MA: National Fire Protection Association.
10. Brushlinskij, N.N., Esin, V.M., & Sluev, V.I. (2006). Pozharnye riski. Vypusk 4. Upravlenie pozharnymi riskami [Fire risks. Issue 4. Fire risk management]. Moscow: FGU VNIPO MCHS Rossii.
11. Rossijskaya Federaciya. Zakony. Tekhnicheskij reglament o trebovaniyah pozharnoj bezopasnosti: Federal'nyj zakon N 123-FZ [Russian Federation. Laws. Technical regulations on fire safety requirements: Federal Law N 123-FZ]. (2021). Retrieved from http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_78699.
12. Ob utverzhdenii metodiki opredeleniya raschetnyh velichin pozharnogo riska na proizvodstvennyh ob"ektah [On approval of methodology for determining the calculated values of fire risk at production facilities]. (2024). Order of the Ministry of Emergency Situations of Russia No. 533.
13. Kondrashova, O.G., & Nazarova, M.N. (2004). Prichinno-sledstvennyj analiz avarij vertikal'nyh stal'nyh rezervuarov [Causal analysis of accidents of vertical steel tanks]. Neftegazovoe delo [Oil and Gas Business]. Retrieved from <http://www.ogbus.ru>.
14. Kondratovich, A.A., & Orazbaev, A.R. (2015). Signal'noe ustrojstvo ob opasnom urovne elektrizacii nefteproduktov v rezervuare [Signaling device for dangerous level of electrization of petroleum products in the tank]. Chrezvychajnye situacii: obrazovanie i nauka [Emergency Situations: Education and Science], 10(1), 108-112.

Статья поступила в редакцию 29.10.2025, одобрена после рецензирования 10.12.2025, принята к публикации 15.12.2025.

The article was submitted 29.10.2025, approved after reviewing 10.12.2025, accepted for publication 15.12.2025.