

Научная статья

УДК 614.841.48; DOI: 10.61260/1998-8990-2025-1-50-61

ОБ ОСОБЕННОСТЯХ ТУШЕНИЯ ПОЖАРОВ ПРИ ПЕРЕВОЗКЕ ОПАСНЫХ ГРУЗОВ В РАЙОНАХ КРАЙНЕГО СЕВЕРА

✉ Клюй Валерий Владимирович;

Косенко Денис Витальевич;

Мельников Григорий Олегович.

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург, Россия

✉ val-1964@yandex.ru

Аннотация. Проанализированы чрезвычайные ситуации, возникающие при железнодорожных перевозках нефти и нефтепродуктов в северных регионах России. Исследованы причины крупных пожаров и взрывов, связанных с перевозкой опасных грузов, а также рассмотрены особенности их ликвидации при низких температурах (ниже -10 °C). Проведен анализ возможностей отечественных пожарных машин, таких как автомобиль многоцелевого назначения и ГАЗ-59402 «Пурга», для использования в Арктике. Разработаны рекомендации по распределению обязанностей между железнодорожными и пожарными службами для эффективного проведения аварийных и восстановительных работ. Предложены пути решения проблем, возникающих при тушении пожаров на железнодорожном транспорте в условиях низких температур.

Ключевые слова: пожар, авария, опасный груз, тушение пожара, низкая температура

Для цитирования: Клюй В.В., Косенко Д.В., Мельников Г.О. Об особенностях тушения пожаров при перевозке опасных грузов в районах Крайнего Севера // Проблемы управления рисками в техносфере. 2025. № 1 (73). С. 50–61. DOI: 10.61260/1998-8990-2025-1-50-61.

Scientific article

ABOUT THE PECULIARITIES OF EXTINGUISHING FIRES DURING THE TRANSPORTATION OF DANGEROUS GOODS IN THE REGIONS OF THE FAR NORTH

✉ Klyuy Valery V.;

Kosenko Denis V.;

Melnikov Grigoriy O.

Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia

✉ val-1964@yandex.ru

Abstract. This article analyzes emergency situations that arise during the rail transportation of oil and petroleum products in northern regions of Russia. The causes of major fires and explosions related to the transport of hazardous materials are investigated, along with the challenges of mitigating these incidents at low temperatures (below -10 °C). The capabilities of domestic firefighting vehicles, such as multipurpose fire engines and the GAZ-59402 «Purga», for use in the Arctic are examined. Recommendations are developed for the division of responsibilities between railway and firefighting services to ensure effective emergency response and recovery operations. Potential solutions to the problems encountered when extinguishing fires on railway transport in low-temperature conditions are proposed.

Keywords: fire, accident, dangerous cargo, fire extinguishing, low temperature

For citation: Klyuy V.V., Kosenko D.V., Melnikov G.O. About the peculiarities of extinguishing fires during the transportation of dangerous goods in the regions of the Far North // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere. 2025. № 1 (73). P. 50–61. DOI: 10.61260/1998-8990-2025-1-50-61.

Введение

Практически ежедневно в средствах массовой информации появляются сведения об авариях, возникающих на транспорте в различных странах, приводятся сведения об их последствиях.

22 апреля 2004 г. в Северной Корее на ст. Йончхон (провинция Пхенан-Пукто) столкнулись два поезда, перевозившие сжиженный газ и нефть. При взрыве перевозимых продуктов переработки нефти погибло более 150 чел., более тысячи получили ранения, и тысячи жилых и производственных строений были разрушены¹.

16 ноября 2013 г. произошла катастрофа на железнодорожном (ж/д) переезде рядом со ст. Мангистау (Казахстан). В поезд, состоящий более чем из 30 цистерн с нефтью, врезался бензовоз фирмы ТОО «Эмир Ойл». В результате катастрофы случился крупнейший пожар. Горело 17 цистерн с нефтью. Погиб ассистент машиниста поезда, сам машинист получил ожоги. Площадь загрязнения составила более 3 тыс. м². Вред природе от пожара, произошедшего в Мангистауской обл., составил 120 млн тенге². На рис. 1 приведена фотография с места аварии.



Рис. 1. Авария на железнодорожном переезде вблизи ст. Мангистау (Казахстан)
(<https://titus.kz/?previd=43212.%27&start=>)

Целью данной статьи является актуализация вопросов, касающихся обеспечения безопасности и тушения пожаров на ж/д транспорте при перевозке опасных грузов в условиях низких температур.

¹ Новости науки, техники и технологий. Lenta.ru. URL: <https://lenta.ru/articles/2004/04/23/nkorea/> (дата обращения: 25.01.2023)

² Forbes: новости. URL: https://forbes.kz/news/newsid_44866 (дата обращения: 05.02.2023)

Основные положения

Ж/д перевозки – важное звено транспортного потока государства, на которое приходится свыше половины грузооборота в стране. Сегодня Северная железная дорога (СЖД) – одна из крупнейших в России. Ее развернутая длина – более 8,5 тыс. км. Она идет из центра на север через г. Ярославль и г. Вологду до г. Архангельска по одной ветке, а по другой – через г. Котлас и через всю Республику Коми уходит за Северный полярный круг. 33 вокзала и 227 станций дороги обслуживаются пассажирами, 235 станций открыты для грузовых операций [1].

Многие города и поселки в северных районах связаны СЖД. Эксплуатация дороги происходит в суровых климатических условиях. На рис. 1 показан перегон Норильской железной дороги в зимнее время, а на рис. 2 – вид ж/д станции.



Рис. 2. Перегон Норильской железной дороги в зимнее время
(<https://dzen.ru/a/YkGIIIXRSYDyuqHDg->)



Рис. 3. Ж/д Норильской железной дороги в зимнее время
(<https://dzen.ru/a/YkGIIIXRSYDyuqHDg->)

Транспортировка опасных грузов по ж/д представляет значимый транспортный риск, так как одновременно на станции могут находиться до 1 000 вагонов с различными опасными веществами. Фактически такие вещества могут оказаться в любом товарном поезде. В итоге грузовые поезда представляют собой потенциально опасные объекты [2, 3]. Несколько тысяч тонн грузов с рисками пожаров и взрывов перевозятся каждодневно.

Грузовые перевозки по СЖД значительно осложняются погодными условиями. В северных широтах круглогодичная погода с доминированием отрицательных температур.

Как показывает опыт, для тушения пожаров при низких температурах требуется большое количество материальных и людских ресурсов.

Опасные грузы включают вещества, материалы и продукты, имеющие опасные физические и химические свойства, которые при нарушении транспортировки могут привести к травмированию, гибели людей, животных, нанести вред окружающей среде, причинить материальный ущерб.

Классификация веществ, материалов и изделий, которые перевозятся в качестве опасных грузов, сформирована в ГОСТ 19433–88 «Грузы опасные. Классификация и маркировка» на основе характеристик соответствующих типов риска транспортировки, сортировки и критериев специальных методов испытаний.

Большую опасность представляют грузовые и сортировочные ж/д станции, характеризуемые:

- наличием одновременно находящихся на ж/д путях вагонов, цистерн, контейнеровозов с горючими твердыми и жидкими материалами и сжиженными газами. Все эти грузы представляют чрезвычайную опасность при возникновении пожара на станции;
- недостаточным противопожарным водоснабжением.

Наибольшая угроза для сортировочных и грузовых станций определяется следующими факторами:

- большое количество подвижного состава с разными горючими жидкостями и другими материалами;
- наличие складов с высочайшей плотностью застройки и значительной длиной;
- наличие слишком узких протяженных разрывов между составами, способствующих быстрому распространению огня на большую площадь;
- недостаточность водоснабжения для целей пожаротушения [4].

Взрыв ж/д цистерн, в которых перевозятся нефтепродукты, является следствием воздействия открытого пламени около 20 мин. Высота факела пламени увеличивается до 50 м при взрыве горючих и легковоспламеняющихся жидкостей. Взрыв цистерны наращивает площадь пожара до 1 500 м² в зависимости от балластного состояния ж/д путей и рельефа местности. Чаще всего пожар возникает при вытекании жидкости из цистерн в результате ж/д катастрофы. Если цистерны получили повреждения и опрокинуты, то площадь пожара может быть 10–35 тыс. м². В случае разливов продуктов нефтепереработки пожар может захватить не только ж/д составы, но и склады, промышленные и административные строения, а в некоторых вариантах даже строения городской зоны, которые располагаются в непосредственной близости от места аварии. Если разлитый продукт попадет в дренажную либо канализационную систему, то огонь может перейти на различные объекты, находящиеся в зоне до одного километра от очага пожара [5]³.

Тушение пожаров и проведение аварийно-спасательных работ на ж/д транспорте осложняется следующими проблемами:

- задержка начала тушения для выявления физико-химических свойств груза;
- необходимость обесточивания контактных сетей;
- оценка риска последствий аварии в случае разгерметизации цистерны;
- возможность утечки легковоспламеняющихся жидкостей, опасных химических веществ и загрязнения территории вокруг аварийного участка;
- необходимость эвакуации населения из районов, прилегающих к месту чрезвычайной ситуации (ЧС).

Чтобы не допустить вскипания или же выброса пылающей жидкости, следует принять меры по подаче огнетушащего вещества на охлаждение цистерны компактными водяными струями и далее подать пенные стволы внутрь цистерны через горловину загрузочного люка для тушения горящей жидкости.

³ Рекомендации по тушению пожаров на железнодорожном транспорте. СПб.: Институт проблем транспорта им. Н.С. Соломенко РАН, 2018. 268 с.

При разгерметизации (перфорации) ж/д цистерны, предназначенной для перевозки жидкостей (нефть, мазут, бензины, продукты переработки нефти), происходит вытекание жидких продуктов. В большинстве случаев жидкости при этом воспламеняются от случайных источников воспламенения (искра металлическая или электрическая; открытые источники огня – сварка, спички, горящие сигареты; нагретые металлические поверхности цистерн). Задачи пожаротушения при таком варианте горения заключаются в первую очередь в отсечении истекающего жидкого продукта из цистерны. Для этой цели применяют пенные или водяные струи [6].

Контроль над пожаром при этом несут службы пожарной охраны или специально организованные группы. Время контроля определяется режимом полного прекращения пожара. Движение по ж/д путям до окончания пожара не допускается.

При тушении пожаров в условиях низких температур (-10 °С и ниже) в соответствии с нормативными документами пожаротушения согласно приказу МЧС России от 16 октября 2017 г. № 444 «Об утверждении Боевого устава подразделений пожарной охраны, определяющего порядок организации тушения пожаров и проведения аварийно-спасательных работ» необходимо:

- применять на открытых пожарах при достаточном количестве воды пожарные стволы с большим расходом, ограничивать использование перекрывных стволов и стволов-распылителей;
- принимать меры к предотвращению образования наледей на путях эвакуации людей и движения личного состава;
- прокладывать линии из прорезиненных и латексных рукавов больших диаметров, рукавные разветвления по возможности устанавливать внутри зданий, а при наружной установке утеплять их;
- защищать соединительную арматуру рукавных линий подручными средствами, в том числе снегом;
- при подаче воды из водоемов или пожарных гидрантов сначала подавать воду из насоса в свободный патрубок и только при устойчивой работе насоса – в рукавную линию;
- создавать резерв сухих напорных рукавов;
- в случае уменьшения расхода воды подогревать ее в насосе, увеличивая число оборотов двигателя;
- избегать перекрытия пожарных стволов и рукавных разветвлений, не допускать выключения насосов;
- при замене и уборке пожарных рукавов, наращивании линий подачу воды не прекращать, а указанные работы проводить со стороны ствола, уменьшив напор;
- определять места заправки подогретой водой и, при необходимости, заправить ею цистерны;
- замерзшую соединительную арматуру пожарных рукавов, рукава в местах перегибов и соединений отогревать горячей водой, паром или нагретыми газами (замерзшую соединительную арматуру, разветвления и стволы допускается отогревать паяльными лампами и факелами);
- подготавливать места для обогрева участников тушения и спасаемых и сосредоточивать в этих местах резерв защитной одежды для личного состава.

В настоящее время ведущей тактической единицей по устранению пожаров и проведению аварийно-спасательных работ при авариях, крушениях, стихийных бедствиях и иных ЧС, сопровождающихся пожарами на ж/д транспорте, является пожарный поезд (функционируют 324 пожарных поезда). Использование пожарных поездов зимой в северных областях нашей страны осложняется перечисленными выше недостатками⁴ [7].

⁴ Автомобиль пожарный многоцелевой МПЗ-АПМ // Мытищинский приборостроительный завод. URL: <https://www.mpz.ru/catalog/avtomobil-pozharnyy-mnogotselevoy-mpz-apm/> (дата обращения: 22.01.2025)

В начале 2000-х гг. в Российской Федерации было наложено производство современной пожарной техники, которую можно использовать при тушении различных пожаров, в том числе и на ж/д транспорте, в условиях низкого температурного режима⁵.

Большую эффективность при работе в северных условиях показала пожарная машина ГАЗ-59402 «Пурга» (рис. 4)⁶ [8].



Рис. 4. Пожарная машина ГАЗ-59402 «Пурга» на комбинированном ходу
(<https://portal.edufire37.ru/articles/140>)

В случае возникновения пожара на перегоне может быть эффективно использована пожарная машина ГАЗ-59402 «Пурга» на комбинированном ходу с установкой пожаротушения температурно-активированной водой, которая на ближайшей станции к месту аварии или пожара может встать на рельсы.

Для тушения пожаров в помещениях (вагонах, складах и т.п.) с опасными грузами наиболее перспективны, с точки зрения авторов, автоматические автономные модульные устройства пожаротушения, например устройство автоматического пожаротушения [9, 10].

В качестве источника энергии в автономных установках пожаротушения применяются специальные заряды из порохов или других пиротехнических составов [11].

Долгое время внимание исследователей было приковано к газифицирующимся системам типа взрывчатых веществ, порохов и твердых ракетных топлив. Здесь большую роль в развитии представления о механизме горения сыграли ученики Н.Н. Семенова: А.Ф. Беляев и П.Ф. Похил [12, 13]. Следует отметить успехи, достигнутые в создании теории нестационарного горения порохов (Я.Б. Зельдович, Б.В. Новожилов и др.). Интересно, что в большинстве случаев описание нестационарных эффектов не зависит от сложной картины превращения веществ при горении и может быть проведено в обобщенной форме. Пламенное горение пиротехнических составов такого типа, на взгляд авторов, один из их недостатков, а именно: в определенных условиях установки, использующие такие составы, могут сами быть источником зажигания [14, 15].

⁵ FIREMAN.CLUB. URL: <https://fire-truck.ru/encyclopedia/pozharniy-btr-gaz-59402-purga.html> (дата обращения: 02.02.2025)

⁶ НПО «Сопот». URL: <https://sopot.ru/> (дата обращения: 02.02.2025).

Впервые возможность безгазового горения описана в работе [16], в которой обнаружено отсутствие зависимости скорости горения от давления для одной термитной системы. В дальнейшем реальность безгазового горения была доказана Э.И. Максимовым, В.М. Шкиро и А.Г. Мержановым [17], которые специально разработали безгазовый состав на базе железоалюминиевого термита и подробно изучили механизм и закономерности его горения. Долгое время такое горение в чистом виде считалось экзотермическим. И лишь после того, как был обнаружен обширный класс реакций горения в системах металл-нemetалл, безгазовое горение получило научное обоснование.

По мнению авторов, такого типа системы имеют большое будущее в качестве источника энергии для автономных устройств пожаротушения.

Тем не менее при горении всегда возможна частичная газификация компонентов, понятие безгазового горения нуждается в уточнении. Низкая калорийность иногда достигается разбавлением исходных высококалорийных смесей конечными продуктами реакции. При переходе к вакуумным давлениям безгазовый режим горения обычно нарушается. Можно указать три типа систем, в которых реализуется безгазовое горение:

1. Системы с тугоплавкими компонентами.
2. Низкокалорийные термитные системы.

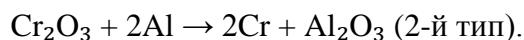
3. Гомогенные системы с низкотемпературными экзотермическими реакциями, способными протекать в режиме горения (послойная полимеризация, рекомбинация радикалов при криогенных температурах).

Наиболее распространены в настоящее время первые два типа систем.

Примеры реакций:



Реакция данного типа осуществляется при температуре от 1 500 °C до 2 000 °C и может проводиться как при атмосферном давлении, так и в условиях вакуума для предотвращения окисления. Для достижения максимального выхода продукта рекомендуется использовать порошкообразные реагенты в стехиометрическом соотношении 1:1. Инициация реакции происходит с использованием высокотемпературной печи. Время реакции может варьироваться от 30 мин до нескольких часов в зависимости от температуры. Контроль за процессом осуществляется с помощью специализированного оборудования. При наличии кислорода могут образовываться окислы титана (TiO_2) [18].



Данная реакция осуществляется при температуре около 1 000 °C и выше в инертной атмосфере (аргон или азот) с использованием порошковых форм реагентов. Для достижения максимального выхода продукта необходимо соблюдать стехиометрическое соотношение 1:2. Инициация реакции может происходить с использованием искры или пламени [19, 20].

При попытках применения систем первого типа в качестве химического генератора теплоты (ХГТ) наблюдалось довольно значительное пламя, так как с целью более полного окисления С или S (в системе $\text{Fe}+\text{S}=\text{FeS}$) приходилось добавлять окислитель (NaNO_3). Однако из-за наличия на поверхности алюминия оксидной пленки температуры зажигания алюминия и его смесей с оксидами достаточно высоки [21].

Железоалюминиевые составы имеют сравнительно низкую температуру зажигания (смесь $\text{FeO}:\text{Al}=50:50$, 810 °C), но высокую температуру горения, порядка 3 000 K.

И наоборот, хромоалюминиевые составы имеют высокую температуру зажигания ($\text{Cr}_2\text{O}_3:\text{Al}=73:27$, 1 180 °C), зато температуру горения порядка 2 000 K.

Были проведены эксперименты по оптимизации ХГТ [20, 21].

В качестве исходных компонентов в экспериментах использовали порошок оксидов хрома и железа марки Ч размером частиц меньше 10 мкм, полидисперсный алюминий марки АСД-1 ($d \leq 10$ мкм).

Состав готовили смешением исходных реагентов $\text{Cr}_2\text{O}_3:\text{Al}=0,73:0,27$ и $\text{Fe}_2\text{O}_3:\text{Al}=0,66:0,34$ в ступке в течение 10–15 мин.

Приготовленную смесь с постоянной массой 2,5 г помещали в пресс-форму и формовали таблетку диаметром 20 мм и высотой 10 мм.

Все эксперименты проведены при атмосферном давлении и в среде воздуха. Таблетку поджигали вольфрамовой спиралью (проволока диаметром 350 мкм и длиной 150 мм), состоящей из 10 витков проволоки с внутренним диаметром 2,2 мм. Длина витой части спирали была соизмерима с диаметром таблетки. Переменное напряжение $0 \leq U \leq 6$ В подавали с автотрансформатора типа АОМН-40-74УХЛ-4. Автоматическое устройство, изменяющее напряжение на поджигающей спирали, обеспечивало постоянный темп нагрева. Напряжение на спирали контролировали по цифровому вольтметру В7-34А.

В экспериментах фиксировали температуру зажигания термопарой хромель-алюмель с диаметром термоэлектрода 50 мкм, спай которой помещался внутрь поджигающей спирали, что позволяло устранить непосредственный контакт термопары с экзотермической смесью. Время от начала разогрева поджигающей спирали до зажигания смеси определялось из термограммы.

Визуальное наблюдение показало, что таблетка поджигается в прилежащей к спирали области, а процесс горения осуществляется послойно сверху вниз. На полученных термограммах четко фиксировалась точка перегиба, выше которой резко нарастает температура. Это значение принимали за температуру зажигания T_3 . Для состава $\text{Cr}_2\text{O}_3 + \text{Al}$ $T_3 = 12\,000$ °С достигается за 16,1 с. По сравнению с железоалюминиевым термитом, это время возрастает на 25 %. В основной серии экспериментов фиксировалась температура зажигания в зависимости от соотношения смеси. Показано, что с увеличением содержания Cr_2O_3 T_3 возрастает с 980 до 1 200 °С.

На рассматриваемой стадии процесса глубина превращения относительно мала, и определяющим фактором является температурная зависимость, используемая квазистационарной теорией зажигания конденсированных веществ горячим телом высокой теплопроводности с переменной температурой поверхности.

Поэтому оценить T_3 для исследуемых систем можно из выражения:

$$(T_3 - T_h) \frac{E}{RT_3^2} e^{\frac{E}{RT_3}} = \frac{2Qz}{c\sqrt{m}},$$

где T_h – начальная температура; c – удельная теплоемкость смеси; z – предэкспонента; Q – тепловой эффект реакции; E – энергия активации; m – темп нагрева; R – газовая постоянная.

Воспользоваться моделью полубесконечного тела позволяет тот факт, что в течение всего периода зажигания температура холодного конца смеси меняется незначительно.

Для состава $\text{Cr}_2\text{O}_3 + \text{Al}$ ($Q=2\,706$ Дж/г; $E=186,4$ кДж/моль; $c=0,25$ Дж/(г·град); $z=3,3104$ с^{-1}) расчет дает $T_3=1\,154$ °С, а для состава $\text{FeO} + \text{Al}$ ($Q=3\,247,2$ Дж/г; $E = 181,8$ кДж/моль; $c = 0,46$ Дж/(г·град); $z=3,9107$ с^{-1} – $T_3=955$ °С).

По результатам расчетов выявлено, что для зажигания подходят спирали из никрома и аналогичных материалов, обеспечивающие температуру в интервале 900–1 200 °С. Эти спирали обеспечивают необходимую температуру зажигания, что делает их подходящими для инициации термохимических реакций в сложных условиях, таких как арктическая среда.

Заключение

Для повышения пожарной безопасности на железных дорогах в Арктической зоне авторы предлагают:

- обеспечивать работоспособность пожарной техники в условиях низких температур, используя установку пожаротушения температурно-активированной водой, которой необходимо оборудовать пожарные поезда СЖД;
- для оперативной доставки личного состава и огнетушащих веществ к месту пожара на ж/д использовать комбинированный пожарный автомобиль ГАЗ-59402 «Пурга», дооборудовать автомобиль установкой пожаротушения температурно-активированной водой, что может значительно улучшить результативность ликвидации пожара;
- оборудовать вагоны, перевозящие опасные грузы, модульными автономными установками пожаротушения;
- для срабатывания ХГТ в модульных автономных установках пожаротушения использовать спирали из никрома и аналогичных материалов.

Список источников

1. Серебренников Д.С. Совершенствование системы пожарной безопасности объектов нефтегазовой отрасли в условиях низких температур // Молодой ученый. 2012. № 10 (45). С. 77–78.
2. Королева Л.А., Хайдаров А.Г., Ивахнюк Г.К. Термофизические условия возникновения горения пористых и дисперсных материалов, изделий при перевозке железнодорожным транспортом и захоронении на полигонах // Проблемы управления рисками в техносфере. 2019. № 3 (51). С. 12–19. EDN PEFSDU.
3. Цакаев И.Б., Нарусова Е.Ю., Горохова Т.Т. Причины аварийных ситуаций при перевозке опасных грузов железнодорожным транспортом и способы их минимизации // Мир современной науки. 2021. № 3 (67). С. 7–9. EDN SIMMWV.
4. Решетов А.П. Проблемы организации пожаротушения на железнодорожном транспорте при перевозке опасных грузов // Фундаментальные и прикладные научные исследования: актуальные вопросы, достижения и инновации: сб. статей VII Междунар. науч.-практ. конф.: в 4-х ч. Ч. 1. 2017.
5. Гавкалюк Б.В., Гуменюк В.И. Проблемы обеспечения пожарной безопасности при обращении с опасными грузами на железнодорожном транспорте // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2019. № 4. С. 43–47. EDN XEKNXY.
6. Игнатьев А.Л. Особенности организации тушения пожаров в условиях низких температур // Арктика и Север. 2011. № 3. С. 162–168. EDN OKFUWX.
7. Проведение аварийно-спасательных работ, тушение пожаров и применение пожарной и аварийно-спасательной техники в условиях Крайнего Севера: учеб. пособие / В.Н. Ложкин [и др.]. СПб.: С.-Петерб. ун-т ГПС МЧС России, 2016. 160 с.
8. Решетов А.П., Хоткевич В.П. К вопросу об эффективности автономных модульных устройств автоматического тушения пожаров // Проблемы управления рисками в техносфере. 2009. № 1-2 (9-10). С. 74–76. EDN LAUBZR.
9. Обеспечение пожарной безопасности на железнодорожном транспорте: учеб. пособие / В.С. Беликов [и др.] / под ред. В.С. Артамонова. СПб.: С.-Петерб. ун-т ГПС МЧС России, 2013. 101 с.
10. Маклецов А.К. Современные системы порошкового пожаротушения // Проблемы обеспечения безопасности при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. 2013. № 1-1 (2). С. 13–20. EDN WDNPLF.
11. Беляев А. Теория горения близантных взрывчатых веществ. М.: Изд-во «Наука», 1968. 255 с.

12. Похил П.Ф., Ромоданова Л.Д., Белов М.М. О механизме горения бездымных порохов. Ч. 2 // Сборник экспериментальных научно-исследовательских работ в области физики взрыва. 1955. № 3. С. 93–115.
13. Похил П.Ф., Садовский М.А. Испульс взрыва и его зависимость от формы и размеров заряда и свойств взрывчатого вещества // Физика взрыва. 1952. № 1. С. 148–160.
14. Решетов А.П., Косенко Д.В. К вопросу о составах для генераторов огнетушащего аэрозоля // Природные и техногенные риски (физико-математические и прикладные аспекты). 2017. № 1 (21). С. 33–36. EDN YNDJAF.
15. Корольченко Д.А., Шароварников А.Ф. Тушение пламени огнетушащими порошками и аэрозольными составами // Пожаровзрывобезопасность. 2014. Т. 23. № 8. С. 63–68. EDN TCCPZL.
16. Максимов Е.И., Мержанов А.Г., Шкиро В.М. Безгазовые составы как простейшая модель горения нелетучих конденсированных систем // Физика горения и взрыва. 1965. № 4. С. 24–30.
17. Initial stage of mechanochemical synthesis in the Ti-C exothermic system / G.A. Dorofeev [et al.] // Bull. Russ. Acad. Sci. Phys. 2011. № 75. P. 1427–1434. DOI: 10.3103/S1062873811110086.
18. Highly Reactive Thermite Energetic Materials: Preparation, Characterization, and Applications: A Review / X. Guo [et al.] // Molecules. 2023. № 28. P. 2520. DOI: 10.3390/molecules28062520.
19. Юхвид В.И. Высокотемпературные жидкофазные СВС-процессы: новые направления и задачи // Известия высших учебных заведений. Цветная металлургия. 2006. № 5. С. 6–78. EDNJWSYSX.
20. Пиротехнические аэрозолеобразующие составы и генераторы объемного пожаротушения / Г.Г. Богатеев [и др.] // Вестник Казанского технологического университета. 2012. Т. 15. № 24. С. 135–136. EDN PLLYMV.
21. Прохоренко К.В., Серебренников С.Ю., Чернов С.В. Особенности применения порошковых и аэрозольных систем пожаротушения на взрывопожароопасных объектах // Территория Нефтегаз. 2013. № 2. С. 74–77. EDN RDZSFB.

References

1. Serebrennikov D.S. Sovershenstvovanie sistemy pozharnoj bezopasnosti ob"ektov neftegazovoj otrassli v usloviyah nizkih temperatur // Molodoj uchenyj. 2012. № 10 (45). S. 77–78.
2. Koroleva L.A., Hajdarov A.G., Ivahnyuk G.K. Teplofizicheskie usloviya vozniknoveniya goreniya poristykh i dispersnykh materialov, izdelij pri perevozke zheleznodorozhnym transportom i zahoronenii na poligonah // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere. 2019. № 3 (51). S. 12–19. EDN PEFSDU.
3. Cakaev I.B., Narusova E.Yu., Gorohova T.T. Prichiny avarijnyh situacij pri perevozke opasnyh gruzov zheleznodorozhnym transportom i sposoby ih minimizacii // Mir sovremennoj nauki. 2021. № 3 (67). S. 7–9. EDN SIMMWV.
4. Reshetov A.P. Problemy organizacii pozharotusheniya na zheleznodorozhnom transporte pri perevozke opasnyh gruzov // Fundamental'nye i prikladnye nauchnye issledovaniya: aktual'nye voprosy, dostizheniya i innovacii: sb. statej VII Mezhdunar. nauch.-prakt. konf.: v 4-h ch. Ch. 1. 2017.
5. Gavkalyuk B.V., Gumenyuk V.I. Problemy obespecheniya pozharnoj bezopasnosti pri obrashchenii s opasnymi gruzami na zheleznodorozhnom transporte // Nauch.-analit. zhurn. «Vestnik S.-Peterb. un-ta GPS MCHS Rossii». 2019. № 4. S. 43–47. EDN XEKNXY.
6. Ignat'ev A.L. Osobennosti organizacii tusheniya pozharov v usloviyah nizkih temperatur // Arktika i Sever. 2011. № 3. S. 162–168. EDN OKFUWX.
7. Provedenie avarijno-spasatel'nyh rabot, tushenie pozharov i primenie pozharnoj i avarijno-spasatel'noj tekhniki v usloviyah Krajnego Severa: ucheb. posobie / V.N. Lozhkin [i dr.]. SPb.: S.-Peterb. un-t GPS MCHS Rossii, 2016. 160 s.

8. Reshetov A.P., Hotkevich V.P. K voprosu ob effektivnosti avtonomnyh modul'nyh ustrojstv avtomaticheskogo tusheniya pozharov // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere. 2009. № 1-2 (9-10). S. 74–76. EDN LAUBZR.
9. Obespechenie pozharnoj bezopasnosti na zheleznodorozhnom transporte: ucheb. posobie / V.S. Belikov [i dr.] / pod red. V.S. Artamonova. SPb.: S.-Peterb. un-t GPS MCHS Rossii, 2013. 101 s.
10. Maklecov A.K. Sovremennye sistemy poroshkovogo pozharotusheniya // Problemy obespecheniya bezopasnosti pri likvidacii posledstvij chrezvychajnyh situacij. 2013. № 1-1 (2). S. 13–20. EDN WDNPLF.
11. Belyaev A. Teoriya gorenija brizantnyh vzryvchatyh veshchestv // Institut himicheskoj fiziki Akademii nauk SSSR. M.: Izdatel'stvo «Nauka», 1968. 255 s.
12. Pohil P.F., Romodanova L.D., Belov M.M. O mekhanizme gorenija bezdymnyh porohov. Ch. 2 // Sbornik eksperimental'nyh nauchno-issledovatel'skih rabot v oblasti fiziki vzryva. 1955. № 3. S. 93–115.
13. Pohil P.F., Sadovskij M.A. Ispul's vzryva i ego zavisimost' ot formy i razmerov zaryada i svojstv vzryvchatogo veshchestva // Fizika vzryva. 1952. № 1. S. 148–160.
14. Reshetov A.P., Kosenko D.V. K voprosu o sostavah dlya generatorov ognetushashchego aerozolya // Prirodnye i tekhnogennye riski (fiziko-matematicheskie i prikladnye aspekty). 2017. № 1 (21). S. 33–36. EDN YNDJAF.
15. Korol'chenko D.A., Sharovarnikov A.F. Tushenie plameni ognetushashchimi poroshkami i aerozol'nyimi sostavami // Pozharovzryvobezopasnost'. 2014. T. 23. № 8. S. 63–68. EDN TCCPZL.
16. Maksimov E.I., Merzhanov A.G., Shkiro V.M. Bezgazovye sostavy kak prostejshaya model' gorenija neletuchih kondensirovannyh sistem // Fizika gorenija i vzryva. 1965. № 4. S. 24–30.
17. Initial stage of mechanochemical synthesis in the Ti-C exothermic system / G.A. Dorofeev [et al.] // Bull. Russ. Acad. Sci. Phys. 2011. № 75. P. 1427–1434. DOI: 10.3103/S1062873811110086.
18. Highly Reactive Thermite Energetic Materials: Preparation, Characterization, and Applications: A Review / X. Guo [et al.] // Molecules. 2023. № 28. P. 2520. DOI: 10.3390/molecules28062520.
19. Yuhvid V.I. Vysokotemperurnye zhidkofaznye SVS-processy: novye napravleniya i zadachi // Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Cvetnaya metallurgiya. 2006. № 5. S. 6–78. EDNJWSYSX.
20. Pirotekhnicheskie aerozoleobrazuyushchie sostavy i generatory ob"emnogo pozharotusheniya / G.G. Bogateev [i dr.] // Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta. 2012. T. 15. № 24. S. 135–136. EDN PLLYMV.
21. Prohorenko K.V., Serebrennikov S.Yu., Chernov S.V. Osobennosti primeneniya poroshkovyih i aerozol'nyh sistem pozharotusheniya na vzryvopozharoopasnyh ob"ektah // Territoriya Neftegaz. 2013. № 2. S. 74–77. EDN RDZSFB.

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 16.10.2024; одобрена после рецензирования: 31.01.2025;
принята к публикации: 03.02.2025

The information about article:

The article was submitted to the editorial office: 16.10.2024; approved after review: 31.01.2025;
accepted for publication: 03.02.2025

Информация об авторах:

Клюй Валерий Владимирович, доцент кафедры организации пожаротушения и проведения аварийно-спасательных работ Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), кандидат педагогических наук, доцент, e-mail: val-1964@yandex.ru, SPIN-код: 2972-5083

Косенко Денис Витальевич, доцент кафедры организации пожаротушения и проведения аварийно-спасательных работ Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), кандидат технических наук, e-mail: kosenkodv@igps.ru, SPIN-код: 3482-8308

Мельников Григорий Олегович, аспирант факультета подготовки кадров высшей квалификации Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149)

Information about the authors:

Klyuy Valery V., associate professor of the department of fire extinguishing and emergency rescue operations of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), candidate of pedagogical sciences, associate professor, e-mail: val-1964@yandex.ru, SPIN: 2972-5083

Kosenko Denis V., associate professor of the department of fire extinguishing and emergency rescue operations of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), candidate of technical sciences, e-mail: kosenkodv@igps.ru, SPIN: 3482-8308

Melnikov Grigoriy O., adjunct of the faculty of training highly qualified personnel of Saint-Petersburg university of the State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149)