
ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

Аналитическая статья

УДК 614.842.66; DOI: 10.61260/2304-0130-2025-4-26-33

К ВОПРОСУ ПОДГОТОВКИ РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ ДОРОЖНО-ТРАНСПОРТНЫХ ПРОИСШЕСТВИЙ С УЧАСТИЕМ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ, ИСПОЛЬЗУЮЩИХ ИЛИ ПЕРЕВОЗЯЩИХ СЖИЖЕННЫЙ ПРИРОДНЫЙ ГАЗ

✉ Попов Сергей Вениаминович;

Косарев Иван Владимирович;

Баклыков Владимир Николаевич.

Оренбургский филиал Всероссийского ордена «Знак Почета» научно-исследовательский институт противопожарной обороны МЧС России, Оренбург, Россия

Завьялов Дмитрий Евгеньевич.

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

✉ popov_sv@vniipo.ru

Аннотация. В ближайшие годы в Российской Федерации ожидается рост перевозок сжиженного природного газа автомобильным транспортом, а также его использования в качестве газомоторного топлива. Соответственно, в случае возникновения дорожно-транспортных происшествий с подобными транспортными средствами пожарными должны использоваться алгоритмы действий с учетом сложившихся условий. Выполнен обзор и анализ рекомендаций по ликвидации последствий аварий на транспорте с наличием сжиженного природного газа. Обобщение международного опыта и результатов отечественных экспериментальных исследований позволяет выявить ключевые меры по обеспечению безопасности личного состава и населения, требования к средствам тушения и ограничения их применения. Теоретическая значимость работы заключается в комплексной систематизации подходов к реагированию на дорожно-транспортные происшествия с наличием сжиженного природного газа, а практическая – в формировании основы для разработки алгоритма действий и методических рекомендаций для пожарных подразделений.

Ключевые слова: сжиженный природный газ, пожарный, транспортное средство, дорожно-транспортное происшествие

Для цитирования: К вопросу подготовки рекомендаций по ликвидации последствий дорожно-транспортных происшествий с участием транспортных средств, использующих или перевозящих сжиженный природный газ / Попов С.В. [и др.] // Природные и техногенные риски (физико-математические и прикладные аспекты). 2025. № 4 (56). С. 26–33. DOI: 10.61260/2307-7476-2025-4-26-33.

ON THE ISSUE OF PREPARING RECOMMENDATIONS FOR THE ELIMINATION OF CONSEQUENCES OF ROAD ACCIDENTS INVOLVING VEHICLES USING OR TRANSPORTING LIQUEFIED NATURAL GAS

✉ Popov Sergey V.;

Kosarev Ivan V.;

Baklykov Vladimir N.

FGBU VNIPO EMERCOM of Russia (Orenburg branch), Orenburg, Russia

Zavyalov Dmitry E.

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

✉ popov_sv@vniipo.ru

Abstract. In the coming years, the Russian Federation is expected to see growth in the transport of liquefied natural gas by road, as well as its use as a gas engine fuel. Accordingly, in the event of road traffic accidents involving such vehicles, firefighters must use procedures that differ from those established for normal conditions. This article provides an overview and analysis of recommendations for dealing with the consequences of accidents involving vehicles carrying liquefied natural gas. A summary of international experience and the results of domestic experimental studies allows us to identify key measures to ensure the safety of personnel and the public, requirements for fire extinguishing equipment, and limitations on their use. The theoretical significance of this work lies in its comprehensive systematization of approaches to responding to road accidents involving liquefied natural gas, and its practical significance lies in its formation of a basis for developing an action plan and guidelines for fire departments.

Keywords: liquefied natural gas, firefighter, vehicle, road traffic accident

For citation: On the issue of preparing recommendations for the eliminating the consequences of road accidents involving vehicles using or transporting liquefied natural gas / S.V. Popov [et all.] // *Prirodnye i tekhnogennye riski (fiziko-matematicheskie i prikladnye aspekty)* = Natural and man-made risks (physico-mathematical and applied aspects). 2025. № 4 (56). P. 26–33. DOI: 10.61260/2307-7476-2025-4-26-33.

Введение

Мировой спрос на сжиженный природный газ (СПГ) в последние 15 лет растет в среднем на 2 % в год [1], что позволяет прогнозировать расширение географии использования. Согласно Энергетической стратегии Российской Федерации производство СПГ в стране возрастет к 2030 г. до 90–105 млн т [2], что в 3 раза больше по сравнению с 2023 г. Помимо положительного экономического эффекта развитие производства СПГ несет определенные риски, в том числе, связанные с безопасностью производства, хранения и транспортировки до конечного потребителя. С развитием рынка потребления СПГ ожидается рост количества автомобильных транспортных средств (ТС), использующих СПГ в качестве газомоторного топлива (ГМТ). В этих обстоятельствах на первый план выходит обеспечение пожарной безопасности автомобильных перевозок СПГ, а также ТС, использующих его в качестве ГМТ. Следует учесть, что в Российской Федерации для личного состава пожарных подразделений отсутствуют практические рекомендации по ликвидации последствий дорожно-транспортных происшествий (ДТП) с его наличием. Поэтому изучение и обобщение зарубежного опыта ликвидации последствий ДТП с наличием СПГ является актуальной проблемой, позволяющей с учетом проведенных экспериментальных исследований пожарной опасности СПГ разработать алгоритм действий для пожарных в аварийных ситуациях.

Аналитическая часть

В руководстве [3] акцент сделан на следующих моментах. Для снижения концентрации метана в газовом облаке необходимо применять распыленную водяную струю. В случае небольших утечек метана размеры утечки при этом не нормируются. Требуется выставить оцепление со всех сторон, при этом пожарным рекомендовано располагаться с наветренной стороны. Во всех случаях запрещается подавать воду в жидкий СПГ (место пролива или источник выхода жидкой фазы), чтобы исключить увеличение испарения СПГ. При больших (значительных) утечках пожарным необходимо предусмотреть эвакуацию личного состава и людей с места ДТП или обеспечить их укрытие при отсутствии такой возможности. Также авторы руководства обращают внимание на характер распространения опасных факторов при ДТП в зависимости от уклона местности и направления ветра. Жидкая фаза СПГ будет стекать по склону, и если направление ветра совпадает с уклоном, то газовое облако СПГ также будет перемещаться вниз по склону. При направлении ветра вверх по склону или поперек него, жидкая и газовые фазы СПГ будут двигаться разнонаправленно, и это необходимо учитывать при выставлении оцепления, эвакуации людей и ликвидации аварии.

Рассмотрим меры реагирования на чрезвычайные ситуации, изложенные в совместном руководстве оперативных служб США, Канады, Мексики и Аргентины [4]. Прибывшие на место ДТП пожарные идентифицируют перевозимое опасное вещество одним или несколькими способами: табличка (ярлык) на ТС, надписи международного идентификационного номера ID (для СПГ – № 1972), наименования перевозимого вещества, внешний вид резервуара ТС. В руководстве приводятся описание возможных вариантов внешнего вида резервуара, используемого для перевозки криогенных жидкостей. При этом отмечается, что обзор неполный и возможны другие варианты конструкции резервуара. Рекомендуемые действия пожарных после идентификации опасного вещества сводятся к выбору средств индивидуальной защиты (СИЗ), проведению эвакуации и осуществлению оперативных действий, связанных с определенным сценарием развития аварийной ситуации. В случае выхода жидкой фазы или утечки газовой фазы СПГ рекомендовано применение дыхательных аппаратов со сжатым воздухом, при этом пожарным следует учесть, что «повседневная» боевая одежда не защищает их от химических факторов, а при контакте с криогенной жидкостью (пролив) – от аномально низкой температуры.

Эвакуацию с места ДТП рекомендовано проводить в радиусе не менее 100 м при небольшой утечке СПГ. Под небольшой утечкой в руководстве понимается разгерметизация резервуара объемом до 208 л. При утечке СПГ из резервуара большего объема эвакуация с подветренной стороны должна производиться на расстояние не менее 800 м. В случае возникновения пожара на месте ДТП для больших утечек СПГ эвакуация осуществляется не менее чем на 1 600 м во всех направлениях.

К основным мероприятиям при проливе или утечке СПГ относят:

- устранение потенциальных источников воспламенения СПГ;
- обеспечение заземления оборудования, используемого для работы с СПГ;
- исключение контакта пожарных с жидкой фазой СПГ;
- по возможности (без риска для жизни и здоровья) ликвидация утечки СПГ (для ликвидации выхода жидкой фазы СПГ рассматривается возможность переворачивания деформированного резервуара);
- распыление воды для рассеяния метана, при этом необходимо исключить попадание стока воды на жидкую фазу СПГ;
- исключение попадания струй воды, а также обычной или спиртоустойчивой пены на жидкую фазу СПГ, при этом допускается использование пены высокой кратности для покрытия пролива СПГ.

К основным мероприятиям при возникновении пожара, связанного с проливом или утечкой СПГ, относят:

- запрет на тушение пожара, связанного с утечкой газовой фазы СПГ, при невозможности устранения утечки;
- тушение СПГ только углекислотой или пеной высокой кратности;
- при большом пожаре распыление воды с максимального расстояния или путем применения роботизированных устройств;
- охлаждение резервуара СПГ водой в больших количествах до момента локализации пожара, при этом запрещается направлять поток воды на источник утечки из-за увеличения испарения СПГ и предохранительные устройства из-за их обледенения;
- при увеличении нарастающего шума от предохранительных устройств или изменении цвета резервуара пожарным следует покинуть опасную зону;
- приоритетным считается применение роботизированных или неуправляемых устройств подачи огнетушащего вещества.

В Пожарной академии (Akademia Pożarnicza), г. Варшава (Польша) [5] рассматриваются следующие возможные ситуации последствий ДТП: ТС в устойчивом положении (на колесах или перевернутое); ТС в устойчивом положении (на колесах или перевернутое), но происходит выход жидкой фазы СПГ; произошло воспламенение газовой фазы СПГ; взрыв расширяющихся паров вскипающей жидкости или парожидкостный взрыв (BLEVE).

При ДТП с возможным опрокидыванием ТС, но находящимся в устойчивом положении без разгерметизации резервуара СПГ, выполняются следующие действия: определяется зона эвакуации людей и осуществляется их эвакуация; обозначается опасная зона вокруг ТС, попавшего в ДТП, радиусом 50 м; проводится осмотр резервуара СПГ и трубопроводной арматуры. В качестве мер по ликвидации последствий приводятся действия по перекачке СПГ в другой резервуар и использование грузоподъемных устройств для возвращения ТС (прицепа) в устойчивое положение.

Если в результате ДТП произошла разгерметизация резервуара или трубопроводной арматуры, что привело к выходу жидкой фазы СПГ, пожарным следует определить зону эвакуации людей и осуществить их эвакуацию. Опасная зона вокруг поврежденного ТС составляет 150 м. Уделяется внимание исключению в опасной зоне потенциальных источников воспламенения. Постановкой водяных завес и струй добиваются рассеянием метана. Осуществляется осмотр резервуара и трубопроводной арматуры для принятия решения об устранении утечки (выхода) СПГ в окружающую среду. Полная ликвидация последствий ДТП осуществляется перекачкой СПГ в другой резервуар, использованием грузоподъемных средств для эвакуации поврежденного ТС.

При воспламенении газовой фазы СПГ после ДТП рекомендовано для защиты пожарных и эвакуации людей применять теплозащитные экраны. Опасная зона вокруг ТС составляет 300 м, необходимо осуществлять инструментальный контроль параметров пламени. Допускается осуществлять охлаждение резервуара СПГ подачей воды интенсивностью $0,17 \text{ л}/(\text{м}^2 \times \text{с})$. Запрещено тушить пожар во время утечки газовой фазы, в также не допускать попадание воды на предохранительные клапаны и внутрь резервуара. Рассеяние парового облака СПГ необходимо осуществлять водяными завесами. Осуществляется контролируемое выжигание СПГ, в случае локализации открытого пламени необходимо выполнить герметизацию резервуара и перекачать СПГ в другой резервуар.

В случае возникновения BLEVE выполняют эвакуацию, определяют опасную зону. Одновременно с разведкой принимают меры по орошению резервуара СПГ (в случае сохранения целостности внешней оболочки и нахождения источника горения снаружи) с интенсивностью $0,17 \text{ л}/(\text{м}^2 \times \text{с})$ и тушению пожара. Используют роботизированную пожарную технику. Эффективность охлаждения подтверждается отсутствием испарения с поверхности резервуара. В случаях деформирования резервуара, его вибрации, гула, шума, испарения воды с поверхности резервуара следует вывести личный состав, пожарно-техническое вооружение и оборудование из опасной зоны. Внешний пожар, как правило, вызывает рост давления

внутри резервуара, поэтому необходимо устанавливать водяные завесы для рассеяния метана при срабатывании предохранительного клапана. В случае успешной локализации пламени охлаждение резервуара СПГ водой осуществляется в течение 10–15 мин. При выявлении утечек СПГ из поврежденной арматуры резервуара следует их устранить, далее предусмотреть перекачку СПГ в другой резервуар или осуществить выжигание на контролируемом факеле. Определено, что расчетное время нагрева резервуара, после которого может произойти BLEVE, составляет примерно 45 мин при наличии на резервуаре предохранительных клапанов.

Среди ДТП с участием ТС, перевозящих или использующих СПГ в качестве ГМТ, следует выделить аварии в провинции Шэнси (Китай) [6], Массенховен (Бельгия) [7], Зарзалико (Испания) [8], Тивисса (Испания) [9]. По результатам анализа ДТП в Зарзалико (Испания) [8] были выработаны предложения по действию личного состава, реагирующих подразделений в случае пожара ТС, перевозящего СПГ. Основные тезисы: эвакуация людей из опасной зоны; громкий шум, шипение – фактор, указывающей на опасный рост давления в резервуаре, поэтому следует немедленно покинуть опасную зону; охлаждение водой допустимо только при сохраненной целостности оболочки резервуара, интенсивность орошения должна составлять не менее $0,17 \text{ л}/(\text{м}^2 \times \text{с})$; мобильные пожарные подразделения в условиях отсутствия пожарных гидрантов (водоисточников) не способны обеспечить длительное охлаждение с безопасного расстояния; попадание воды на предохранительный клапан приводит к его обмерзанию и блокированию сброса давления внутри резервуара; наиболее эффективное мероприятие – эвакуация людей из опасной зоны и расположение личного состава в безопасной зоне с подветренной стороны. Также по итогам данной аварии было запрещено использование одностенных резервуаров СПГ.

Соображения и выводы, сформулированные после ДТП в Массенховене (Бельгия) [7]. Во-первых, проблема с идентификацией топливной системы тягача из-за возникшего пожара. Несмотря на наличие маркировки, из-за задымления и охваченного огнем тягача заметить небольшую надпись на топливном резервуаре для пожарных оказалось непосильной задачей. В последующем был принят стандарт ISO 17840-4:2018, обязывающий на грузовые автомобили наносить маркировку о виде применяемого топлива. В Российской Федерации настоящий стандарт прошел гармонизацию и введен в действие с 1 июля 2024 г [10]. Во-вторых, отсутствие первичной информации об опасном веществе привело к увеличению временного интервала, связанного с доставкой дополнительного оборудования и специалистов. В-третьих, в руководствах по реагированию отсутствовала информация об алгоритмах действий в случае аварии, связанной с СПГ. И, наверное, в этой ситуации главный фактор, у личного состава реагирующих подразделений отсутствовали, и специальная подготовка, и опыт ликвидации аварий с наличием СПГ.

Заключение

К основным выводам, сформулированным в результате настоящего обзора, а также с учетом результатов исследований пожарной опасности СПГ, полученных во время натурных (огневых) испытаний на полигоне Оренбургского филиала ФГБУ ВНИИПО МЧС России, следует отнести:

1. Определение опасных зон и эвакуация из них людей является обязательным и высокоэффективным мероприятием ликвидации ДТП с наличием СПГ.
2. Орошение современных резервуаров (двухоболочных) СПГ недопустимо, что подтверждается, как опытом использования подобных резервуаров, так и проведением натурных испытаний.
3. Для локализации пожара на месте ДТП с наличием СПГ можно применять следующие огнетушащие вещества: порошок, пена (S/AR и AFFF/AR) средней кратности (интенсивность подачи уточняется натурными испытаниями), в перспективе пены высокой кратности при обеспечении пожарных расчетов соответствующим оборудованием.
4. В ДТП с наличием СПГ возможно криогенное воздействие, для ликвидации подобных аварий следует уточнить характеристики применяемых пожарными СИЗ.

5. В процесс обучения пожарных необходимо внедрять программу практической подготовки ликвидации аварий с наличием криогенных жидкостей.

6. В выпущенных рекомендациях отсутствует детальная информация о мероприятиях реагирования на отдельные виды воспламенения: факельное горение, огненный шар, пожар пролива, пожар-вспышка, взрыв топливно-воздушной смеси.

Учитывая опыт зарубежных коллег, принимая во внимание проведенные исследования в области пожарной опасности СПГ, существует необходимость в разработке алгоритма (порядка действий) локализации и ликвидации последствий ДТП с наличием СПГ и введении его в методическое пособие [11] по выбору средств и способов локализации и ликвидации пожаров с участием горящего СПГ. Алгоритм действий должен предусматривать следующие сценарии ликвидации последствий ДТП с наличием СПГ:

- без разгерметизации резервуара и трубопроводной арматуры;
- с разгерметизацией резервуара и (или) трубопроводной арматуры, утечкой газовой фазы СПГ;
- с разгерметизацией резервуара и (или) трубопроводной арматуры, выходом жидкой фазы СПГ;
- с разгерметизацией резервуара и (или) трубопроводной арматуры, воспламенением СПГ (факельное горение; огненный шар; пожар пролива);
- пожар-вспышка; взрыв топливно-воздушной смеси;
- без разгерметизации резервуара и (или) трубопроводной арматуры, наличием внешнего пожара.

Список источников

1. Топливо роста // Коммерсантъ: офиц. сайт. URL: <https://www.kommersant.ru/doc/7295158?ysclid=mcx9v0qsxx467304644> (дата обращения: 19.09.2025).
2. Об утверждении Энергетической стратегии Российской Федерации на период до 2050 года: распоряжение Правительства Российской Федерации от 12 апр. 2025 г. № 908-р. Доступ из информ.-правовой системы «Гарант».
3. Fire and rescue service. Operational guidance incidents involving hazardous materials // Department for Communities and Local Government. Crown Copyright. 2012. 643 p.
4. 2024 Emergency response guidebook. Transport Canada. Comunicaciones. 2024. 389 p.
5. Akademia Pożarnicza: официальный сайт. URL: <https://apoz.edu.pl/> (дата обращения: 19.09.2025).
6. Failure analysis integrated with prediction model for LNG transport trailer and thermal hazards induced by an accidental VCE: A case study Engineering Failure Analysis / K. Wang [et al.]. 2020. T. 108. P. 104350.
7. Vollmacher K., Van Esbroeck T. Accident involving LNG truck // CTIF Commission for Extrication & New Technology. 2018. 53 p. URL: <https://ctif.org/library/accident-involving-lng-truck> (reference date: 19.09.2025).
8. Analysis of the boiling liquid expanding vapor explosion (BLEVE) of a liquefied natural gas road tanker: The Zarzalico accident / E. Planas [et al.] // Journal of Loss Prevention in the Process Industries. 2015. № 34. p. 127–138.
9. Explosion of a road tanker containing liquified natural gas / E. Planas-Cuchi [et al.] // Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 2004. № 17. P. 315–321.
10. ГОСТ ISO 17840-4-2023. Автомобильные транспортные средства. Информация для экстренных оперативных и аварийно-спасательных служб. Часть 4. Идентификация источника энергии, приводящего в движение транспортное средство. Доступ из информ.-правовой системы «Гарант»
11. Методическое пособие по выбору средств и способов локализации и ликвидации пожаров с участием горящего сжиженного природного газа. М.: ВНИИПО, 2023. 65 с.

References

1. Toplivo rosta // Kommersant": ofic. sajt. URL: <https://www.kommersant.ru/doc/7295158?ysclid=mcx9v0qsxx467304644> (data obrashcheniya: 19.09.2025).
2. Ob utverzhdenii Energeticheskoy strategii Rossijskoj Federacii na period do 2050 goda: rasporyazhenie Pravitel'stva Rossijskoj Federacii ot 12 apr. 2025 g. № 908-r. Dostup iz inform.-pravovoj sistemy «Garant».
3. Fire and rescue service. Operational guidance incidents involving hazardous materials // Department for Communities and Local Government. Crown Copyright. 2012. 643 p.
4. 2024 Emergency response guidebook. Transport Canada. Comunicaciones. 2024. 389 p.
5. Akademia Pożarnicza: oficial'nyj sajt. URL: <https://apoz.edu.pl/> (data obrashcheniya: 19.09.2025).
6. Failure analysis integrated with prediction model for LNG transport trailer and thermal hazards induced by an accidental VCE: A case study Engineering Failure Analysis / K. Wang [et al.]. 2020. T. 108. P. 104350.
7. Vollmacher K., Van Esbroeck T. Accident involving LNG truck // CTIF Commission for Extrication & New Technology. 2018. 53 p. URL: <https://ctif.org/library/accident-involving-lng-truck> (reference date: 19.09.2025).
8. Analysis of the boiling liquid expanding vapor explosion (BLEVE) of a liquefied natural gas road tanker: The Zarzalico accident / E. Planas [et al.] // Journal of Loss Prevention in the Process Industries. 2015. № 34. p. 127–138.
9. Explosion of a road tanker containing liquified natural gas / E. Planas-Cuchi [et al.] // Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 2004. № 17. P. 315–321.
10. GOST ISO 17840-4-2023. Avtomobil'nye transportnye sredstva. Informaciya dlya ekstremnyh operativnyh i avarijno-spasatel'nyh sluzhb. CHast' 4. Identifikaciya istochnika energii, privodyashchego v dvizhenie transportnoe sredstvo. Dostup iz inform.-pravovoj sistemy «Garant»
11. Metodicheskoe posobie po vyboru sredstv i sposobov lokalizacii i likvidacii pozharov s uchastiem goryashchego szhizhennogo prirodnogo gaza. M.: VNIPO, 2023. 65 s.

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 07.11.2025; одобрена после рецензирования: 10.11.2025;
принята к публикации: 19.11.2025

The information about article:

The article was submitted to the editorial office: 07.11.2025; approved after review: 10.11.2025;
accepted for publication: 19.11.2025

Сведения об авторах:

Попов Сергей Вениаминович, ведущий научный сотрудник научно-исследовательского отдела Всероссийского ордена «Знак Почета» Научно-исследовательского института противопожарной обороны Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий (Оренбургский филиал) (460507, Оренбургская область, Оренбургский район, пос. Пригородный, ул. Луговая, д. 6.) кандидат технических наук, e-mail: popov_sv@vniipo.ru, <http://orcid.org/0009-0005-7124-8278>, SPIN-код: 1801-7973

Косарев Иван Владимирович, научный сотрудник научно-исследовательского отдела Всероссийского ордена «Знак Почета» Научно-исследовательского института противопожарной обороны Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий (Оренбургский филиал) (460507, Оренбургская область, Оренбургский район, пос. Пригородный, ул. Луговая, д. 6.), e-mail: kosarev_iv@vniipo.ru, SPIN-код: 6447-9230

Баклыков Владимир Николаевич, старший научный сотрудник научно-исследовательского отдела «Всероссийского ордена «Знак Почета» Научно-исследовательского института противопожарной обороны Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий (Оренбургский филиал) (460507, Оренбургская область, Оренбургский район, пос. Пригородный, ул. Луговая, д. 6.), e-mail: baklikov_vn@vniipo.ru, SPIN-код: 9438-8803

Завьялов Дмитрий Евгеньевич, ведущий научный сотрудник центра организации научно-исследовательской и редакционной деятельности Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), кандидат технических наук, e-mail: zavialov-dmitriy@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9170-9247>, SPIN-код: 2290-6769

Information about the authors:

Popov Sergey V., leading researcher of the research department of the All-Russian Order of the «Badge of Honor» Scientific research institute of fire protection of the Ministry of the Russian Federation for civil defense, emergencies and elimination of consequences of natural disasters (Orenburg Branch) (460507, Orenburg Region, Orenburg District, Pos. Prigorodny, Lugovaya Street, 6.) candidate of technical sciences, e-mail: popov_sv@vniipo.ru, <http://orcid.org/0009-0005-7124-8278>, SPIN: 1801-7973

Kosarev Ivan V., researcher at the scientific research department of the All-Russian Order of the «Badge of Honor» Scientific research institute of fire protection of the Ministry of the Russian Federation for civil defense, emergencies and elimination of consequences of natural disasters (Orenburg Branch) (460507, Orenburg region, Orenburg district, village Prigorodny, Lugovaya St., 6.), e-mail: kosarev_iv@vniipo.ru

Baklykov Vladimir N., senior researcher at the scientific research department of the All-Russian Order of the «Badge of Honor» Scientific research institute of fire protection of the Ministry of the Russian Federation for civil defense, emergencies and elimination of consequences of natural disasters (Orenburg Branch) (460507, Orenburg region, Orenburg district, village Prigorodny, Lugovaya St., 6.), e-mail: baklikov_vn@vniipo.ru, SPIN: 9438-8803

Zavyalov Dmitry E., leading researcher at the center for research and editorial activities of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), candidate of technical sciences, e-mail: zavialov-dmitriy@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9170-9247>, SPIN: 2290-6769