

ПОЖАРНАЯ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Аналитическая статья

УДК 614.841.12; DOI: 10.61260/2218-13X-2025-4-1-13

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАСЧЕТНЫХ ВЕЛИЧИН ПОЖАРНОГО РИСКА ПРИ ТРАНСПОРТИРОВКЕ ПОЖАРООПАСНЫХ ГРУЗОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫМ И АВТОМОБИЛЬНЫМ ТРАНСПОРТОМ

✉ Леончук Петр Алексеевич;
Простов Евгений Евгеньевич;
Фомин Максим Валерьевич;
Простов Евгений Николаевич.

ФГБУ ВНИИПО МЧС России, г. Балашиха, Россия

✉ pa.leonchuk@yandex.ru

Аннотация. Работа посвящена оценке параметров, влияющих на величину пожарного риска при транспортировке пожароопасных грузов железнодорожным и автомобильным транспортом. В рамках работы изложены результаты оценки частоты реализации аварий, сопровождающихся пожарами, для грузового автомобильного транспорта и для грузовых железнодорожных вагонов на километр пробега. Также описан проведенный эксперимент по эвакуации людей из пассажирского вагона, приведены полученные результаты времени эвакуации для различных условий эвакуации людей, проведено сравнение экспериментальных результатов с расчетными, полученными посредством применения расчетной модели, построенной опираясь на индивидуально-поточную модель движения людей, а также с учетом положений существующих методик по пожарной безопасности. Показана сходимость экспериментальных и расчетных значений времени эвакуации. На основании анализа литературных источников приведены рекомендации по проведению оценки пожарного риска на транспортных путях, включая порядок проведения расчета, предлагаемые условные вероятности, применяемые для построения деревьев событий, формулы для оценки площади растекания топлива при утечке из железнодорожной цистерны, для оценки социального пожарного риска.

Ключевые слова: оценка пожарного риска, транспортировка пожароопасных грузов, эвакуация, статистика аварий и пожаров, пожарная безопасность железнодорожных и автомобильных перевозок

Для цитирования: Особенности применения методики определения расчетных величин пожарного риска при транспортировке пожароопасных грузов железнодорожным и автомобильным транспортом / П.А. Леончук [и др.] // Научно-аналитический журнал «Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России». 2025. № 4. С. 1–13. DOI: 10.61260/2218-13X-2025-4-1-13.

Analytical article

FEATURES OF THE APPLICATION OF THE METHODOLOGY FOR DETERMINING THE CALCULATED FIRE RISK VALUES DURING THE TRANSPORTATION OF FLAMMABLE GOODS BY RAIL AND ROAD

✉ Leonchuk Petr A.;

Prostov Evgeniy A.;

Fomin Maksim V.;

Prostov Evgeniy N.

FGBU VNIIPo of EMERCOM of Russia, Balashiha, Russia

✉ pa.leonchuk@yandex.ru

Abstract. The work is devoted to the assessment of parameters affecting the magnitude of fire risk during the transportation of flammable goods by rail and road. The paper presents the results of estimating the frequency of fire-related accidents for truck vehicles and for freight railcars per kilometer. The conducted experiment on the evacuation of people from a passenger car is also described, the results of evacuation times for various conditions of evacuation of people are presented, the experimental results are compared with the calculated ones obtained by applying a computational model based on an individually flow model of human movement, as well as taking into account the provisions of existing fire safety techniques. The convergence of experimental and calculated values of evacuation times is shown. Based on the analysis of literary sources, recommendations are given for assessing fire risk on transport routes, including the calculation procedure, proposed conditional probabilities used to build event trees, formulas for estimating the area of fuel spread during leakage from a railway tank, and for assessing social fire risk.

Keywords: fire risk, fire risk assessment, transportation of fire-hazardous goods, accident and fire statistics, fire safety of railway and automobile transportation

For citation: Features of the application of the methodology for determining calculated fire risk values during the transportation of flammable goods by rail and road / P.A. Leonchuk [et al.] // Scientific and analytical journal «Vestnik Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia». 2025. № 4. P. 1–13. DOI: 10.61260/2218-13X-2025-4-1-13.

Введение

Ведение масштабной хозяйственной деятельности в современном мире невозможно без транспортировки грузов различного назначения, значительную долю из которых составляют пожароопасные грузы, включая сжиженные и сжатые горючие газы, легковоспламеняющиеся и горючие жидкости, твердые горючие материалы. При этом, в силу особенностей географического расположения страны, транспортировка по железнодорожным и автомобильным путям сообщения является основным способом транспортировки.

При этом в силу значительной протяженности путей сообщения, разнообразия климатических условий, рельефа местности, наличия в непосредственной близости от путей сообщения иных производственных объектов (включая критически важные), жилых, общественно-деловых и рекреационных зон делают невозможным выработку единого способа обеспечения пожарной безопасности осуществления транспортировки.

Таким образом, для оценки эффективности разрабатываемых решений по обеспечению пожарной безопасности железнодорожных и автомобильных путей сообщения представляется целесообразным использование методов гибкого нормирования. Федеральный закон¹ предусматривает эту возможность, рассматривая в качестве одного

¹ Технический регламент о требованиях пожарной безопасности: Федер. закон Рос. Федерации от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ. Доступ из инф.-правового портала «Гарант»

из способов подтверждения соответствия объекта защиты требованиям пожарной безопасности расчет пожарного риска. Вместе с тем, существующая методика² не позволяет оценивать риск транспортировки пожароопасных грузов автомобильным и железнодорожным транспортом. В то же время оценка пожарной опасности железнодорожного и автомобильного транспорта проводилась в большом количестве работ как отечественных, так и зарубежных авторов. Но при этом, как правило, решались частные задачи по оценке пожарной опасности объектов защиты. Например, в статье [1] оценивается возможность реализации взрыва автоцистерны с жидким моторным топливом при ее нахождении на автомобильной заправочной станции, в диссертации [2] рассмотрены аспекты повышения безопасности эксплуатации цистерн для перевозки сжиженных углеводородных газов (СУГ), а в публикациях [3, 4] рассматривалась проблематика обеспечения пожаровзрывобезопасности перевозок СУГ железнодорожным транспортом и оценка влияния вспучивающегося огнезащитного покрытия на поведение резервуаров с СУГ в очаге пожара. Зарубежные авторы работ [5, 6] проводили подробный анализ произошедших при транспортировке грузов аварий. Методика оценки пожарного риска при транспортировке пожароопасных грузов автомобильным и железнодорожным транспортом была предложена и апробирована в статье [7]. Вместе с тем, оценка ряда параметров, важных для оценки величины пожарного риска при транспортировке, в указанной работе не проводилась, хоть и было отмечено, что важными факторами, влияющими на пожарную опасность путей сообщения, являются частота возникновения аварий, сопровождающихся пожарами на транспортных средствах, на миллион километров пробега, а также параметры, позволяющие строить сложные и разветвленные деревья событий, учитывать влияние опасных факторов пожара при пожаре на автомобильном и железнодорожном транспорте, а также, для случая железнодорожных перевозок, оценка времени эвакуации людей из пассажирских железнодорожных вагонов, перемещаемых по тем же путям сообщения, что и грузы. Оценке указанных параметров посвящена настоящая работа.

Оценка частоты пожара автомобильного и железнодорожного транспорта

Пожары на транспорте и объектах транспортной инфраструктуры в странах с развитой экономикой, как показывает статистика, весьма распространены. Например, в книге [8] на основе представленной статистики был сделан вывод, что пожары автомобильного транспорта в таких странах как США, Великобритания, Франция и Россия занимают второе место после пожаров в жилом секторе. В статье [9] был проведен анализ свыше 1 700 аварий с опасными веществами и отмечено, что 39 % от общего количества аварий произошло при транспортировке.

Вместе с тем, интерес представляет не только абсолютное количество аварий, но и их частота как во время осуществления технологических операций, так и при движении. В работе [10] был проведен анализ статистики аварий с автомобильными цистернами с легковоспламеняющимися жидкостями в Российской Федерации и получено, что большинство аварий с автомобильными цистернами происходят во время сливо-наливных операций. В работе [11] рассматривалась статистика, связанная с инцидентами на автомобильном транспорте в США. Было показано, что аварии при транспортировке опасных грузов в 80 % случаев происходят на национальных автомагистралях, при этом в автоцистернах в 85 % случаев перевозятся пожаровзрывобоязливые грузы. В статье [12] были приведены значения частоты пожара на километр пробега для Франции, составляющие для транспортировки по автодороге величину $2,6 \cdot 10^{-7}$ км⁻¹, по железной дороге – $1,3 \cdot 10^{-7}$ км⁻¹. Вместе с тем, поскольку эти сведения даны за период наблюдения с 1973 по 1980 г., а также

² Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах: приказ МЧС России от 26 июня 2024 г. № 533. Доступ из инф.-правового портала «Гарант»

ввиду географических и климатических особенностей места наблюдения, значительно отличающихся от представленных в Российской Федерации, то опираться на них при определении частоты пожара при транспортировке в Российской Федерации представляется нецелесообразным.

В соответствии с РД 37.009.015-98. Методическое руководство по определению стоимости автомототранспортных средств с учетом естественного износа и технического состояния на момент предъявления, средний годовой пробег грузового автомобильного транспорта составляет, в зависимости от грузоподъемности и класса автомобиля, от 30 тыс. км в год (для бортовых грузовиков полной массой до 3,5 т) до 130 тыс. км в год (для седельных тягачей и бортовых неполноприводных грузовиков (автопоездов) грузоподъемностью полной массой более 19 т). Для грузовиков иной максимальной массы и типа указанный пробег принимается равным 50 тыс. км.

В табл. 1, 2 приведены статистические сведения Госавтоинспекции МВД России [13] о количестве зарегистрированных в Российской Федерации транспортных средств возрастом менее 15 лет. Представляется корректным отказ от учета при оценке пробега коммерческого грузового автотранспорта старше 15 лет как слабо эксплуатируемого в силу высокого износа транспортных средств.

В соответствии со статистикой аналитического агентства «Автостат» [14], по состоянию на 1 января 2025 г. доля седельных тягачей в парке тяжелых грузовых автомобилей возрастом 20 и менее лет и максимальной массой свыше 16 т составляет 39 %. Исходя из использования крупных грузовиков для междугородних и международных перевозок представляется корректным распространение этого соотношения на весь грузовой транспорт с максимальной массой более 12 т.

Таблица 1

Количество зарегистрированного грузового транспорта

| Грузовики с технически допустимой максимальной массой: | Год | | | | |
|--|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 |
| не более 3,5 т | 1 785 776 | 1 767 916 | 1 825 015 | 1 866 312 | 1 915 684 |
| свыше 3,5 т, но не более 12 т | 520 903 | 517 029 | 539 607 | 597 617 | 578 914 |
| более 12 т | 939 272 | 943 241 | 1 025 882 | 1 029 263 | 1 062 160 |

Таблица 2

Количество зарегистрированного грузового транспорта

| Грузовики с технически допустимой максимальной массой: | Год | | | | |
|--|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 |
| не более 3,5 т | 1 991 582 | 2 090 860 | 2 138 575 | 2 212 625 | 2 324 767 |
| свыше 3,5 т, но не более 12 т | 585 174 | 595 394 | 604 549 | 614 991 | 634 807 |
| более 12 т | 1 094 701 | 1 151 398 | 1 189 186 | 1 282 052 | 1 357 705 |

Количество пожаров на объектах транспортной инфраструктуры, включая количество пожаров грузовых автомобильных транспортных средств, а также грузовых вагонов, полученное из статистических сборников ФГБУ ВНИИПО МЧС России приведено в табл. 3, 4.

Таким образом, разделив количество пожаров грузовых автомобильных транспортных средств на среднегодовую величину пробега, можно получить величину частоты пожаров при транспортировке грузов автомобильным транспортом. Результаты оценки приведены в табл. 5.

Тогда, средняя частота аварий, сопровождающихся пожарами для грузового автомобильного транспорта, может быть принята как средняя за указанный период и составит $13,6 \cdot 10^{-9} \text{ км}^{-1}$.

Таблица 3

Количество пожаров на объектах транспорта и транспортной инфраструктуры

| Год | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 |
|--------------------------|-------------------------|------|------|------|------|------|------|
| Объект пожара | Количество пожаров, ед. | | | | | | |
| Грузовой автомобиль | 3053 | 2704 | 2609 | 2317 | 2403 | 2175 | 2051 |
| Грузовой вагон | 11 | 15 | 11 | 12 | 5 | 11 | 9 |
| Специальный вагон | 13 | 5 | 3 | 3 | 5 | 3 | 4 |
| Железнодорожная цистерна | 2 | 2 | 2 | 4 | 3 | 3 | 2 |
| Автоцистерна | 26 | 42 | 35 | 25 | 14 | 17 | 23 |

Таблица 4

Количество пожаров на объектах транспорта и транспортной инфраструктуры

| Год | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 |
|--------------------------|-------------------------|------|------|------|-------|-------|
| Объект пожара | Количество пожаров, ед. | | | | | |
| Грузовой автомобиль | 2237 | 2191 | 2264 | 2562 | 13312 | 13871 |
| Грузовой вагон | 35 | 45 | 39 | 183 | н/д | н/д |
| Специальный вагон | 10 | 11 | 14 | — | н/д | н/д |
| Железнодорожная цистерна | 4 | 4 | 2 | 3 | н/д | н/д |
| Автоцистерна | 23 | 21 | 18 | 124 | 21 | 40 |

Примечание: в период 2023–2024 гг. в строку «грузовой автомобиль» включены все случаи пожаров автомобилей за исключением пожаров тягачей-автоцистерн, пожары которых включены в строку «АЦ»; н/д – данные не представлены; – пожары отсутствовали.

При этом, опираясь на статистику по общей аварийности с участием грузового автомобильного транспорта [13], в соответствии с которой в период с 2022 по 2024 г. количество аварий составило 17 574, 18 657 и 17 863 случая соответственно, что дает частоту аварий грузового автомобильного транспорта, равную $1,0 \cdot 10^{-7} \text{ км}^{-1}$.

При оценке пробега железнодорожных вагонов в Российской Федерации необходимо учесть следующие технические термины функционирования железнодорожных перевозок железнодорожного транспорта в соответствии с [15]:

– техническая скорость – средняя скорость движения поезда по участку без учета времени стоянок поезда на промежуточных раздельных пунктах;

– оборот вагона – основной показатель использования вагонного парка железной дороги по времени, включающий цикл операций от момента окончания погрузки вагона до момента окончания следующей его погрузки.

Таблица 5

Количество зарегистрированного грузового транспорта

| Год | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 |
|--|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Количество пожаров грузовых автомобилей | 2317 | 2403 | 2175 | 2051 | 2237 | 2191 | 2264 | 2562 |
| Среднегодовой пробег всех грузовых транспортных средств в России, млрд. км | 152 | 152 | 161 | 165 | 169 | 174 | 182 | 186 |
| Частота пожара, 10^{-9} км^{-1} | 15,2 | 15,8 | 13,5 | 12,4 | 13,2 | 12,6 | 12,4 | 13,8 |

На основании анализа работ [16–21] и архивных отчетов ОАО РЖД [22], в которых представлены средние годовые показатели грузовых железнодорожных перевозок: оборота железнодорожных вагонов, технической скорости, количества часов в движении во время оборота, а также количество грузовых вагонов в Российской Федерации за период с 2014 по 2022 г., величина общего пробега грузовых вагонов в Российской Федерации (L_{sum}) может быть рассчитана по формуле:

$$L_{sum} = \frac{365 \cdot 24}{T_{\text{оборот}}} T_{\text{движ}} \cdot \vartheta_{\text{технич}} N_{\text{ваг}},$$

где $T_{\text{оборот}}$ – среднее в течение года время оборота грузового вагона, ч; $T_{\text{движ}}$ – среднее время движения вагона по перегону, ч; $\vartheta_{\text{технич}}$ – средняя в течение года техническая скорость, км/ч; $N_{\text{ваг}}$ – среднее количество грузовых вагонов в год, шт.

В табл. 6 приведены значения рассчитанной величины общего пробега грузовых вагонов, количество пожаров грузовых вагонов, а также частота пожаров вагонов на железнодорожном транспорте.

Таблица 6

Сводная таблица количества пожаров и пробега железнодорожных вагонов за период с 2014 по 2022 гг.

| Год | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 |
|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Количество пожаров грузовых вагонов | 28 | 21 | 20 | 11 | 15 | 11 | 12 | 5 | 11 |
| Общий пробег всех грузовых вагонов в России, млрд. км | 80 | 79 | 77 | 82 | 86 | 86 | 82 | 86 | 84 |
| Частота пожара, 10^{-10} км ⁻¹ | 3,5 | 2,7 | 2,6 | 1,3 | 1,8 | 1,3 | 1,5 | 0,6 | 1,3 |

Предлагается принять частоту аварий, сопровождающихся пожаром, для железнодорожных вагонов как среднюю за рассматриваемый период и равную $1,8 \cdot 10^{-10}$ км⁻¹.

Оценка времени эвакуации людей из вагонов

При оценке пожарного риска предлагается учитывать наличие на железнодорожных путях и автомобильных дорогах, характеризующихся уклонами, водосточных систем, а именно – кюветов и различных типов канав, собирающих и отводящих поверхностную воду.

В этом случае, как было показано в работе [23] для случая железнодорожного, а в работе [24] – автомобильного транспорта, величина потенциального пожарного риска будет сильно зависеть от высоты участка дороги и будет максимальна в нижней точке прохождения трассы, где осуществляется сброс продукта на грунт.

Кроме того, на железной дороге есть ряд участков, в том числе с наличием уклонов, на которых невозможно движение подвижного состава в направлении, противоположном первоначальному. В случае возникновения на расположенному выше участке железнодорожного пути аварии, сопровождающейся разгерметизацией цистерн с легковоспламеняющимися и горючими жидкостями, а также сжиженными газами, может происходить стекание жидкостей по дренажным канавам. В этом случае, во избежание попадания состава с пассажирами в зону непосредственного воздействия горящего топлива, должна осуществляться эвакуация людей из вагонов непосредственно наружу, и далее – в безопасную зону. Таким образом, важным параметром при оценке уровня безопасности пассажиров является оценка времени эвакуации людей из пассажирского вагона.

Предлагается принять, что если время эвакуации людей из пассажирских вагонов превышает время, необходимое для достижения текущей жидкостью остановившегося состава $t_{\text{стекания}}$, то вероятность поражения людей в пассажирском составе будет равна единице. Время стекания предлагается рассчитывать по формуле:

$$t_{\text{стекания}} = \frac{L}{\vartheta_{\text{тек}}},$$

где L – расстояние от места утечки топлива до места остановки пассажирского состава, м; $\vartheta_{\text{тек}}$ – скорость течения жидкости, оцениваемая как максимальное значение неразмывающей скорости течения на участке.

Объектом испытаний являлся пассажирский вагон купейного типа. В объеме вагона размещаются девять купе, каждое из которых рассчитано на перевозку не более четырех человек. Также имеется купе для двух проводников. Таким образом, максимальное количество людей в вагоне составляло 38 человек.

В торцах вагона предусмотрены тамбуры. Тамбур рабочего конца вагона имеет две двери, тамбур нерабочего конца – одну дверь. Схема железнодорожного вагона представлена на рис. 1.

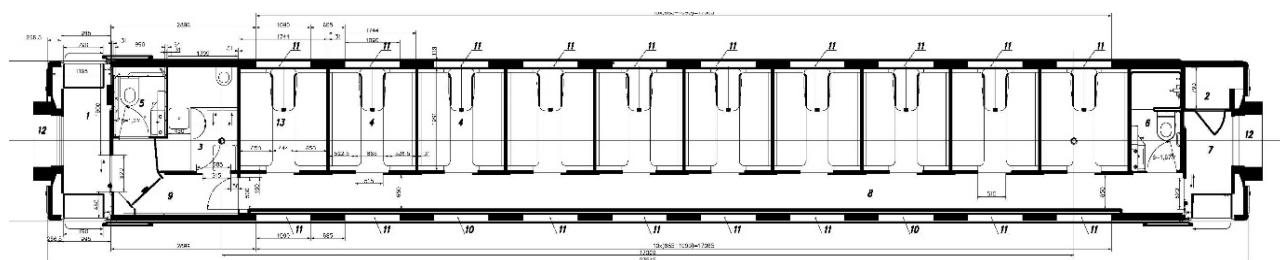


Рис. 1. Схема типового пассажирского вагона

Испытания проводились в несколько этапов:

- эвакуация людей из коридора и тамбура вагона через одну дверь;
- эвакуация людей из вагона через три двери (используются оба тамбура);
- эвакуация людей из вагона через две двери (используется тамбур рабочего конца вагона);
- эвакуация людей из вагона через одну дверь (используется тамбур нерабочего конца вагона).

Для каждого этапа испытаний с целью набора статистики проводилась серия из трех экспериментов. Эвакуация людей из вагона осуществлялась на земляное полотно. Состояние вагона: вагон остановлен, выходные боковые двери открыты, трапы опущены. Первые два эвакуирующихся из каждого выхода по выходу из вагона осуществляют страховку эвакуирующихся по лестнице пассажиров, находясь на грунте слева и справа от трапа.

На первом этапе в тамбуре и коридоре вагона был размещен 21 человек. Ближайшие к выходу из вагона эвакуирующиеся находились непосредственно перед эвакуационным трапом. Во втором и последующих испытаниях люди в начальный момент времени размещались в пассажирских купе и в купе проводника.

По результатам оценки времени эвакуации по трапу было получено, что указанное время не превышает 3 с.

Также посредством программного комплекса Pathfinder, реализующего индивидуально-поточную модель эвакуации людей, была построена расчетная модель эвакуации. При этом принималось, что параметры движения людей соответствуют методике³, а площадь проекции эвакуирующихся составляет $0,125 \text{ м}^2$, что соответствует взрослому человеку в зимней одежде.

Результаты оценки расчетного и экспериментального времени эвакуации из вагонов для рассмотренных сценариев приведены в табл. 7.

³ Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и пожарных отсеках различных классов функциональной пожарной опасности: приказ МЧС России от 14 нояб. 2022 г. № 1140. Доступ из инф.-правового портала «Гарант»

Расчетное и экспериментальное времена эвакуации людей из вагона

| Этап | Расчетное время, с | Экспериментальное время, с |
|-----------|--------------------|----------------------------|
| Первый | 24 | 26±2 |
| Второй | 30 | 25±2 |
| Третий | 56 | 31±3 |
| Четвертый | 49 | 42±2 |

На основании сравнения полученных результатов можно сделать вывод, что предлагаемая расчетная модель оценивает время эвакуации людей из вагона с погрешностью не более 30 %, за исключением этапа 3, когда ввиду значительного заужения пути эвакуации (до 0,56 м в самом узком месте) и большого количества эвакуирующихся значительно падает пропускная способность на путях эвакуации. Таким образом, можно сделать вывод, что индивидуально-поточная модель позволяет корректно оценить время, необходимое на перемещение пассажиров за пределы вагона.

Рекомендации по определению величин пожарного риска при транспортировке пожароопасных грузов железнодорожным и автомобильным транспортом

При оценке пожарного риска для линейных путей сообщения предлагается:

- разделить пути сообщения на участки, характеризующиеся одинаковой интенсивностью движения, структурой перевозимых грузов, величиной уклона;
- для каждого из участков, исходя из интенсивности движения и структуры перевозки, оценить частоту возникновения аварийных ситуаций с учетом частот пожароопасных ситуаций, а также построенных деревьев событий;
- произвести оценку вероятности поражения человека при реализации сценариев пожаров (например, в соответствии с методикой⁴) с учетом уклонов путей сообщения, а для участков железнодорожных путей на уклоне – дополнительного учета вероятности поражения людей в пассажирских поездах;
- на основе полученных ранее значений вероятности поражения человека и частот реализаций пожаров провести расчет величины потенциального пожарного риска для каждого из участков и за их пределами;
- оценить величины индивидуального пожарного риска для лиц на путях сообщения, индивидуального и социального пожарного риска для людей в общественно-деловой, жилой и рекреационной зонах на основе полученных значений потенциального пожарного риска и величин вероятности пребывания персонала и третьих лиц.

При отсутствии актуальных данных об интенсивности движения транспорта на линейных участках, получаемых от соответствующих муниципальных, региональных и федеральных ведомств, предлагается учитывать пропускную способность автодорог, в зависимости от их категории в соответствии с СП 34.13330. Автомобильные дороги, а пропускную способность улиц и дорог населенных пунктов в соответствии с СП 396.1325800. Улицы и дороги населенных пунктов. Правила градостроительного проектирования. На тупиковых участках, заканчивающихся на промышленных предприятиях, – исходя из сведений об интенсивности поставок на предприятие и из него. Также предлагается учитывать, что в узлах пересечений путей интенсивности движения складываются.

При отсутствии сведений доля автоцистерн среди грузовых автомобилей может быть принята равной $1,0 \cdot 10^{-2}$, доля железнодорожных цистерн равной 0,2 от общего количества грузовых вагонов.

⁴ Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах: приказ МЧС России от 26 июня 2024 г. № 533. Доступ из инф.-правового портала «Гарант»

При построении деревьев событий условные вероятности реализации могут быть приняты в соответствии с методикой⁵, а также исходя из сведений из литературных источников, приведенных выше (обзор результатов некоторых работ представлен, например, в статье [25]). Пример такого дерева событий с условными вероятностями, принятыми в соответствии с работой [26], приведен на рис. 2.



Рис. 2. Типовое дерево событий для случая разгерметизации цистерны с СУГ

Как было показано в [27], оценка величины площади пролива при разгерметизации играет важную роль при оценке последствий пожара пролива и возможной эскалации пожара. Вместе с тем, в силу как трудоемкости оценки площади растекания расчетными методами (например, с применением модели тонкого слоя воды), так и затрудненностью получения в полном объеме исходных данных на путях движения транспорта, предлагается рассчитывать площадь пролива при разгерметизации железнодорожных цистерн и растекании на неограниченную территорию без перепадов высот с уклоном от 1 % по формуле, приведенной в работе [28], но не более 1500 м² на одну цистерну:

$$S = 53,3(m_n/\bar{\rho}_n)^{0,89},$$

где m_n – общая масса вещества в проливе, равная всей массе продукта в цистерне; $\bar{\rho}_n$ – средняя плотность разлившихся нефтепродуктов.

Для других случаев – проводить в соответствии с методикой.

Величину социального пожарного риска допускается рассчитывать по формуле, предложенной в работе [29]:

$$S = \sum_{i=1}^I \frac{P_i \cdot N_i}{10},$$

где I – количество объектов, в которых находится N человек (где $N \geq 10$); P_i – величина потенциального риска в i -м объекте.

Время аварийного истечения продукта из трубопроводов сливоналивных эстакад можно принимать на основании результатов, полученных в работе [30], равным 2 ч, из резервуаров (цистерн) с СУГ емкостью до 200 м³ – 3 ч.

Величина интенсивности излучения, при которой происходит разрушение цистерн с СУГ может быть принята равной 37,8 кВт/м² [31].

⁵ Там же.

Заключение

Учет факторов, оценка величин которых была проведена авторами, в значительной степени влияет на расчетную величину пожарного риска при транспортировке пожароопасных грузов. Полученные значения частот аварийных ситуаций на автомобильном и железнодорожном транспорте, сопровождающихся пожарами (взрывами), значения условных вероятностей развития аварийных ситуаций, применяемых для построения типовых логических деревьев событий, способствуют оценке частоты реализации соответствующих сценариев развития пожара. Полученные значения времени эвакуации людей из пассажирского вагона, который может оказаться в зоне воздействия опасных факторов пожара и взрыва при реализации аварийных ситуаций на железнодорожном транспорте с опасными грузами, позволяют оценить вероятность поражения пассажиров вагона. Сведения об удовлетворительной сходимости результатов, полученных расчетным путем, позволяют сделать вывод о возможности оценки времени эвакуации людей из вагона расчетным путем. Кроме того, следование рекомендациям, изложенным в настоящей работе, позволит более корректно учесть специфику транспортировки пожароопасных грузов железнодорожным и автомобильным транспортом.

Список источников

1. Оценка возможности взрыва автоцистерны с жидким моторным топливом в очаге пожара разлива на автозаправочных станциях / С.А. Швырков [и др.] // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. 2009. № 4. С. 13–17.
2. Скуратов А.Е. Способы повышения безопасности эксплуатации цистерн для сжиженных углеводородных газов: автореф. дис. ... канд. тех. наук. М., 2009. 24 с.
3. Пожаровзрывобезопасность перевозок сжиженных углеводородных газов железнодорожным транспортом / Ю.Н. Шебеко [и др.] // Пожаровзрывобезопасность. 1992. Т. 1. № 4. С. 46–50.
4. Исследование влияния вспучивающегося огнезащитного покрытия на поведение резервуаров со сжиженными углеводородными газами в очаге пожара / Ю.Н. Шебеко [и др.] // Пожаровзрывобезопасность. 1998. Т. 7. № 1. С. 24–32.
5. Маршалл В. Основные опасности химических производств. М.: Мир, 1989. 672 с.
6. Survey of accidents occurring during the transport of hazardous substances by road and rail / A. Oggero [et al.] // Journal of Hazardous Materials. 2006. Vol. 133. № 1-3. P. 1–7.
7. Расчетная оценка пожарного риска перевозки сжиженных углеводородных газов автомобильным транспортом / П.А. Леончук [и др.] // Пожарная безопасность. 2014. № 2. С. 72–82.
8. Теребнев В.В., Артемьев Н.С., Грачев В.А. Транспорт: наземный, морской, речной, воздушный, метро. Книга 6. М.: Пожнаука, 2007. 204 с.
9. Hastrup P., Brockhoff L. Severity of accidents with hazardous materials. A comparison between transportation and fixed installations // Journal of Loss Prevention in the Process Industries. 1990. Vol. 3. № 4. P. 395–405.
10. Хабибулин Р.Ш. Устойчивость к воздействию тепловых потоков пожара горизонтальных резервуаров с нефтепродуктом: дис. ... канд. тех. наук. М., 2010. 162 с.
11. Сучков В.П., Хабибулин Р.Ш. Инциденты при перевозке нефтепродуктов автоцистернами: анализ причин и последствий // Транспорт и хранение нефтепродуктов. 2004. № 4. С. 11–13.
12. Ланнуа А. Оценка последствий аварийного выброса в атмосферу токсичных или воспламеняющихся веществ // RGS. 1989. № 81. С. 245–255.
13. Официальный сайт Министерства внутренних дел Российской Федерации. ГИБДД России. URL: <http://stat.gibdd.ru/> (дата обращения: 17.10.2025).
14. Журнал «За рулем». URL: <https://www.zr.ru/content/news/966143-poschitali-vse-gruzoviki-v-ross/> (дата обращения: 17.11.2025).

15. Железнодорожный транспорт: Энциклопедия / Под ред. Н.С. Конарева. М.: Большая Российская энциклопедия, 1994. 559 с.
16. Ожерельева М.В., Хусаинов Ф.И. Перевозки грузов железнодорожным транспортом в 2017 г.: эконом.-статист. обзор // Вестник транспорта. 2018. № 9. С. 15–23.
17. Хусаинов Ф.И., Ожерельева М.В. Перевозки грузов железнодорожным транспортом в 2018 г.: эконом.-статист. обзор // Вестник транспорта. 2019. № 9. С. 7–17.
18. Хусаинов Ф.И. Перевозки грузов железнодорожным транспортом в 2021 г.: эконом.-статист. обзор // Вестник транспорта. 2022. № 7. С. 2–13.
19. Хусаинов Ф.И. Перевозки грузов железнодорожным транспортом в 2022 г.: эконом.-статист. обзор // Вестник транспорта. 2023. № 4. С. 2–13.
20. Хусаинов Ф.И. Перевозки грузов железнодорожным транспортом в 2023 г.: эконом.-статист. обзор // Вестник транспорта. 2024. № 4. С. 5–16.
21. Хусаинов Ф.И. Показатели скорости как аналитические инструменты для оценки работы железных дорог // Транспорт Российской Федерации. 2017. № 4. С. 19–22.
22. Форма 9д-5: Приложение № 1 к Приказу ФАС России от 12.04.2011 г. № 263. URL: <https://company.rzd.ru/ru/9388/> (дата обращения: 17.11.2025).
23. Оценка влияния уклона и систем дренажа на величину пожарного риска при перевозке легковоспламеняющихся и горючих жидкостей железнодорожным транспортом / П.А. Леончук [и др.] // Безопасность труда в промышленности. 2020. № 2. С. 80–86.
24. Влияние уклона территории и систем дренажа на величину пожарного риска при перевозке горючих жидкостей автомобильным транспортом / П.А. Леончук [и др.] // Пожарная безопасность. 2021. № 1. С. 34–41.
25. Леончук П.А. Обзор научных работ по пожарной опасности транспортировки опасных грузов автомобильным и железнодорожным транспортом в части оценки последствий аварий и пожарного риска // Пожарная безопасность. 2017. № 1. С. 85–95.
26. Historical analysis of accidents in chemical plants and in the transportation of hazardous materials / Y.A. Vilchez [et al.] // Journal of Loss Prevention in the Process Industries. 1995. Vol. 8. № 2. P. 87–96.
27. Оценка влияния площади пролива на расчетную величину пожарного риска перевозки легковоспламеняющихся жидкостей автомобильным транспортом / П.А. Леончук [и др.] // Пожарная безопасность. 2018. № 1. С. 50–54.
28. Петров С.В. Совершенствование методов оценки и управления аварийным риском в чрезвычайных ситуациях при перевозке нефтепродуктов на железнодорожном транспорте: дис. ... канд. тех. наук. М., 2009. 142 с.
29. Расчет социального пожарного риска перевозки опасных грузов автомобильным и железнодорожным транспортом / П.А. Леончук [и др.] // Пожарная безопасность. 2016. № 1. С. 50–53.
30. Ланнуа А. Оценка последствий аварийного выброса в атмосферу токсичных или воспламеняющихся веществ // RGS. 1989. № 81. С. 245–255.
31. Birk A.M., Anderson R.J., Coppens A.J. A computer simulation of a derailment accident Part I – Model Basis // Journal of Hazardous Materials. 1990. Vol. 25. № 1-2. P. 121–147.

References

1. Otsenka vozmozhnosti vzryva avtotsistemy s zhidkim motornym toplivom v ochage pozhara razliva na avtozapravochnykh stantsiyakh / S.A. Shvyrkov [i dr.] // Pozhary i chrezvychajnye situatsii: predotvrashchenie, likvidatsiya. 2009. № 4. S. 13–17.
2. Skuratov A.E. Sposoby povysheniya bezopasnosti ekspluatatsii tsistern dlya szhizhennykh uglevodorodnykh gazov: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk. M., 2009. 24 s.
3. Pozharovzryvoopasnost' perevozok szhizhennykh uglevodorodnykh gazov zheleznodorozhnym transportom / Yu.N. Shebeko [i dr.] // Pozharovzryvobezopasnost'. 1992. T. 1. № 4. S. 46–50.

4. Issledovanie vliyaniya vspuchivayushchegosya ognezashchitnogo pokrytiya na povedenie rezervuarov so szhizhennymi uglevodorodnymi gazami v ochage pozhara / Yu.N. Shebeko [i dr.] // Pozharnovzryvobezopasnost'. 1998. T. 7. № 1. S. 24–32.
5. Marshall V. Osnovnye opasnosti khimicheskikh proizvodstv. M.: Mir, 1989. 672 s.
6. Survey of accidents occurring during the transport of hazardous substances by road and rail / A. Oggero [et al.] // Journal of Hazardous Materials. 2006. Vol. 133. № 1-3. P. 1–7.
7. Raschetnaya otsenka pozharnogo riska perevozki szhizhennykh uglevodorodnykh gazov avtomobil'nym transportom / P.A. Leonchuk [i dr.] // Pozharnaya bezopasnost'. 2014. № 2. S. 72–82.
8. Terebnev V.V., Artem'ev N.S., Grachev V.A. Transport: nazemnyj, morskoj, rechnoj, vozдушnyj, metro. Kniga 6. M.: Pozhnauka, 2007. 204 s.
9. Haastrup P., Brockhoff L. Severity of accidents with hazardous materials. A comparison between transportation and fixed installations // Journal of Loss Prevention in the Process Industries. 1990. Vol. 3. № 4. P. 395–405.
10. Khabibulin R.Sh. Ustojechivost' k vozdejstviyu teplovых potokov pozhara gorizontaльnykh rezervuarov s nefteproduktom: dis. ... kand. tekhn. nauk. M., 2010. 162 s.
11. Suchkov V.P., Khabibulin R.Sh. Intsidenty pri perevozke nefteproduktov avtotsisternami: analiz prichin i posledstvij // Transport i khranenie nefteproduktov. 2004. № 4. S. 11–13.
12. Lannua A. Otsenka posledstvij avarijnogo vybrosa v atmosferu toksichnykh ili vosplamenyayushchikhsya veshchestv // RGS. 1989. № 81. S. 245–255.
13. Ofitsial'nyj sajt Ministerstva vnutrennikh del Rossiijskoj Federatsii. GIBDD Rossii. URL: <http://stat.gibdd.ru/> (data obrashcheniya: 17.10.2025).
14. Zhurnal «Za rulem». URL: <https://www.zr.ru/content/news/966143-poschitali-vse-gruzoviki-v-rossi/> (data obrashcheniya: 17.11.2025).
15. Zheleznodorozhnyj transport: Entsiklopediya / Pod red. N.S. Konareva. M.: Bol'shaya Rossiijskaya entsiklopediya, 1994. 559 s.
16. Ozherel'eva M.V., Khusainov F.I. Perevozki gruzov zheleznodorozhnym transportom v 2017 g.: ekonom.-statist. obzor // Vestnik transporta. 2018. № 9. S. 15–23.
17. Khusainov F.I., Ozherel'eva M.V. Perevozki gruzov zheleznodorozhnym transportom v 2018 g.: ekonom.-statist. obzor // Vestnik transporta. 2019. № 9. S. 7–17.
18. Khusainov F.I. Perevozki gruzov zheleznodorozhnym transportom v 2021 g.: ekonom.-statist. obzor // Vestnik transporta. 2022. № 7. S. 2–13.
19. Khusainov F.I. Perevozki gruzov zheleznodorozhnym transportom v 2022 g.: ekonom.-statist. obzor // Vestnik transporta. 2023. № 4. S. 2–13.
20. Khusainov F.I. Perevozki gruzov zheleznodorozhnym transportom v 2023 g.: ekonom.-statist. obzor // Vestnik transporta. 2024. № 4. S. 5–16.
21. Khusainov F.I. Pokazateli skorosti kak analiticheskie instrumenty dlya otsenki raboty zheleznykh dorog // Transport Rossiijskoj Federatsii. 2017. № 4. S. 19–22.
22. Forma 9d-5: Prilozhenie № 1 k Prikazu FAS Rossii ot 12.04.2011 g. № 263. URL: <https://company.rzd.ru/ru/9388/> page/15689 (data obrashcheniya: 17.11.2025).
23. Otsenka vliyaniya uklona i sistem drenazha na velichinu pozharnogo riska pri perevozke legkovosplamenyayushchikhsya i goryuchikh zhidkostej zheleznodorozhnym transportom / P.A. Leonchuk [i dr.] // Bezopasnost' truda v promyshlennosti. 2020. № 2. S. 80–86.
24. Vliyanie uklona territorii i sistem drenazha na velichinu pozharnogo riska pri perevozke goryuchikh zhidkostej avtomobil'nym transportom / P.A. Leonchuk [i dr.] // Pozharnaya bezopasnost'. 2021. № 1. S. 34–41.
25. Leonchuk P.A. Obzor nauchnykh rabot po pozharnoj opasnosti transportirovki opasnykh gruzov avtomobil'nym i zheleznodorozhnym transportom v chasti otsenki posledstvij avarij i pozharnogo riska // Pozharnaya bezopasnost'. 2017. № 1. S. 85–95.
26. Historical analysis of accidents in chemical plants and in the transportation of hazardous materials / Y.A. Vilchez [et al.] // Journal of Loss Prevention in the Process Industries. 1995. Vol. 8. № 2. P. 87–96.

27. Otsenka vliyaniya ploshchadi proliva na raschetnyu velichinu pozharnogo riska perevozki legkovosplamenyayushchikhsya zhidkostej avtomobil'nym transportom / P.A. Leonchuk [i dr.] // Pozharnaya bezopasnost'. 2018. № 1. S. 50–54.
28. Petrov S.V. Sovershenstvovanie metodov otsenki i upravleniya avarijnym riskom v chrezvychajnykh situatsiyakh pri perevozke nefteproduktov na zheleznodorozhnom transporte: dis. ... kand. tekhn. nauk. M., 2009. 142 s.
29. Raschet sotsial'nogo pozharnogo riska perevozki opasnykh gruzov avtomobil'nym i zheleznodorozhnym transportom / P.A. Leonchuk [i dr.] // Pozharnaya bezopasnost'. 2016. № 1. S. 50–53.
30. Lannua A. Otsenka posledstvij avarijnogo vybrosa v atmosferu toksichnykh ili vosplamenyayushchikhsya veshchestv // RGS. 1989. № 81. S. 245–255.
31. Birk A.M., Anderson R.J., Coppens A.J. A computer simulation of a derailment accident Part I – Model Basis // Journal of Hazardous Materials. 1990. Vol. 25. № 1-2. P. 121–147.

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 17.11.2025; одобрена после рецензирования: 18.12.2025; принята к публикации: 19.12.2025

The information about article:

The article was submitted to the editorial office: 17.11.2025; approved after review: 18.12.2025; accepted for publication: 19.12.2025

Информация об авторах:

Леончук Петр Алексеевич, начальник сектора пожарной безопасности промышленных объектов и технологического оборудования ФГБУ ВНИИПО МЧС России (143903, г. Балашиха, мкр. ВНИИПО, д. 12), e-mail: pa.leonchuk@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5802-1416>

Простов Евгений Евгеньевич, ведущий научный сотрудник отдела пожарной безопасности строительных материалов ФГБУ ВНИИПО МЧС России (143903, г. Балашиха, мкр. ВНИИПО, д. 12), кандидат технических наук, e-mail: rep.91@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0004-2914-6588>

Фомин Максим Валерьевич, начальник сектора пожарной опасности объектов использования атомной энергии ФГБУ ВНИИПО МЧС России (143903, г. Балашиха, мкр. ВНИИПО, д. 12), e-mail: 3.5.4@vniipo.ru, <https://orcid.org/0009-0002-7099-391X>

Простов Евгений Николаевич, старший научный сотрудник отдела пожарной безопасности производственных объектов, технологий и моделирования техногенных аварий ФГБУ ВНИИПО МЧС России (143903, г. Балашиха, мкр. ВНИИПО, д. 12), e-mail: prostov.vniipo@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0007-1145-0241>

Information about authors:

Leonchuk Petr A., chief of sector of fire safety of industrial facilities and technological equipment of FGBU VNIIPo of EMERCOM of Russia (143903, Balashiha, mkr. VNIIPo, 12), e-mail: pa.leonchuk@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5802-1416>

Prostov Evgeniy E. leading researcher at the department of fire safety of building materials of FGBU VNIIPo of EMERCOM of Russia (143903, Balashiha, mkr. VNIIPo, 12), e-mail: rep.91@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0004-2914-6588>

Fomin Maksim V. chief of sector of fire danger of nuclear energy facilities of FGBU VNIIPo of EMERCOM of Russia (143903, Balashiha, mkr. VNIIPo, 12), e-mail: 3.5.4@vniipo.ru <https://orcid.org/0009-0002-7099-391X>

Prostov Evgeniy N., senior researcher at the department of fire safety of industrial facilities, technologies and modeling of accidents of FGBU VNIIPo of EMERCOM of Russia (143903, Balashiha, mkr. VNIIPo, 12), e-mail: prostov.vniipo@mail.ru <https://orcid.org/0009-0007-1145-0241>