

Оригинальная статья / Original article
УДК 614.864

ОЦЕНКА РИСКА ПОСЛЕДСТВИЙ АВАРИЙНОЙ РАЗГЕРМЕТИЗАЦИИ ЦИСТЕРНЫ С ОПАСНЫМ ХИМИЧЕСКИМ ВЕЩЕСТВОМ НА ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГЕ

© Е.А. Хамидуллина*, М.Н. Тарасова*

Иркутский национальный исследовательский технический университет,
664074, Россия, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83.

РЕЗЮМЕ. ВВЕДЕНИЕ. Грузооборот опасных химических веществ на железной дороге составляет до 30% перевозимых грузов, и с ними происходит более 7 аварий в год. Цель настоящей работы – провести моделирование аварийных ситуаций с опасными химическими веществами при их транспортировке железной дорогой и рассчитать размеры возможных зон поражения и значения риска причинения ущерба жизни людей. **МЕТОДЫ.** Моделирование выполнено с помощью программного комплекса ТОКСИ+^{Risk}. Моделировали происшествия нарушения герметичности оборудования (все сценарии от появления отверстия разгерметизации до полного разрушения оборудования) при перевозке сжиженных углеводородных газов (СУГ) и нефти. **РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ.** Для аварии с СУГ рассчитаны размеры зон поражения для сценариев пожара пролива, факела и огненного шара, для аварии с нефтью – параметры пожара пролива как наиболее вероятного сценария. Рассчитанные значения индивидуального и коллективного риска не превышают допустимых значений. **ЗАКЛЮЧЕНИЕ.** Авария с опасными химическими веществами на железной дороге – чрезвычайно опасное событие вследствие близости объектов инфраструктуры, большой плотности людей на железнодорожных объектах. Результаты исследования показали, что размеры зон поражения могут превосходить 100 м и, таким образом, поражающие факторы аварии могут оказывать воздействие на незащищенные объекты на значительном удалении от железнодорожного полотна.

Ключевые слова: железнодорожный транспорт, оценка риска, опасные химические вещества, авария.

Формат цитирования: Хамидуллина Е.А., Тарасова М.Н. Оценка риска последствий аварийной разгерметизации цистерны с опасным химическим веществом на железной дороге // XXI век. Техносферная безопасность. 2017. Т. 2. № 1. С. 104–116.

RISK ASSESSMENT FOR EFFECTS OF EMERGENCY DEPRESSURIZATION OF DANGEROUS CHEMICAL STORAGE TANKS ON THE RAILROAD

E.A. Khamidullina, M.N. Tarasova

Irkutsk National Research University,
83, Lermontov St., Irkutsk, 664074, Russian Federation.

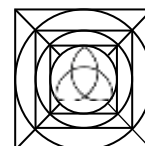
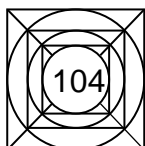
ABSTRACT. INTRODUCTION. Cargo turnover of dangerous chemicals by rail transport makes up to 30% of the transported freights, and they cause more than 7 accidents a year. The purpose of the paper is to simulate emergencies with dangerous chemicals when transported by rail and calculate the sizes of possible injury zones and indices of human health damage risk. **METHODS.** Simulation is based on +Risk TOKSI. We simulated equipment depressurization incidents (all scenarios from the initiation of depressurized holes to the complete destruction of equipment) when transporting liquefied hydrocarbonic gases (LHG) and oil. **RESULTS AND DISCUSSION.** For SUG accidents, the sizes of injury zones for spilling fire, torch fire and fiery sphere fire scenarios were calculated; for oil accidents, spilling fire parameters were determined. The calculated values of individual and collective risks don't exceed admissible values. **CONCLUSION.** Accidents with dangerous chemical storage tanks are extremely dangerous events due to the proximity of infrastructure facilities, and the high density of people on railway objects. The research results show that the sizes of injury zones can

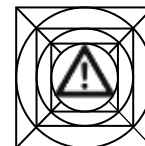
*Хамидуллина Елена Альбертовна, кандидат химических веществ, доцент кафедры промышленной экологии и безопасности жизнедеятельности, e-mail: Elena.irk.mail.@list.ru

Elena A. Khamidullina, Candidate of Chemical Science, Associate Professor of Industrial Ecology and Life Safety Department, e-mail: Elena.irk.mail@list.ru

*Тарасова Мария Николаевна, магистр направления подготовки «Техносферная безопасность», e-mail: Elena.irk.mail@list.ru

Maria N. Tarasova, Master degree student of the Program "Technosphere safety", e-mail: Elena.irk.mail@list.ru





exceed 100 m and, affecting factors can impact unprotected objects which are at considerable distances from the railroad tracks.

Keywords: railway transport, risk assessment, dangerous chemical substances, accident

For citation: Khamidullina E.A., Tarasova M.N. Risk assessment for effects of emergency depressurization of dangerous chemical storage tanks on the railroad. XXI century. Technosphere Safety. 2017, vol. 2, no. 1, pp. 104–116. (In Russian).

Введение

Грузооборот железнодорожного транспорта России составляет около 50% от общего грузооборота всех видов транспорта [1], в том числе доля перевозимых опасных грузов достигает 30% [2] и представлена тысячами наименований. Среднесуточный оборот перевозок опасных грузов по железной дороге составляет огромную цифру, так, например, в [3] отмечается, что на железных дорогах страны находится одновременно более 700 цистерн, содержащих до 5000 т сжиженного хлора.

Как показывает анализ официальных источников, СМИ и литературных дан-

ных [4–6], уровень аварийности при железнодорожных перевозках, как людей, так и грузов, высок. Статистические данные за последние годы представлены в табл. 1, 2.

Здесь следует оговориться, что понятие «опасные грузы» (ГОСТ 19433-88. Грузы опасные. Классификация и маркировка) шире понятия «опасные химические вещества» (116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов»), но в целях данной статьи будет использоваться именно терминология 116-ФЗ.

Таблица 1

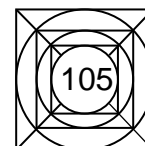
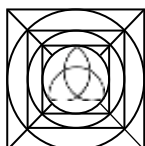
Аварийность при железнодорожных перевозках в России

Table 1

Accident rate on the Russian railroad

Год / Year	Всего аварий грузовых и пассажирских поездов / Accidents of cargo and passenger trains, in total	Количество погибших при авариях, чел. / Number of deaths, persons	Количество пострадавших при авариях, чел. / Number of injuries, persons	Аварии с выбросом (угрозой выброса) опасных химических веществ / Accidents with emissions (emission threat) of dangerous chemicals
2015	Не менее 27* / Not less 27	Не менее 1* / Not less 1	Не менее 27* / Not less 27	Не менее 3* / Not less 3
2014	21	32	244	Не менее 6* / Not less 6
2013	17	2	153	Не менее 6* / Not less 6
2012	14	1	4	Не менее 16* / Not less 16
2011	11	Нет данных / There are no data		Не менее 1* / Not less 1
2010	16	2	3	Не менее 1* / Not less 1
2009	23	30	151	Нет данных / There are no data

* – по данным СМИ / according to mass media



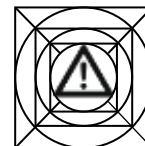


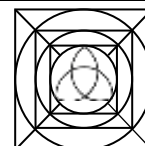
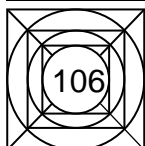
Таблица 2

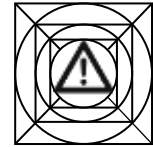
**Железнодорожные аварии с выбросом (угрозой выброса)
опасных химических веществ**

Table 2

Railway accidents with emission (emission threat) of dangerous chemicals

Год / Year	Количество аварий / Number of accidents	Сценарий развития аварии / Accident development scenario
1–6 мес. / months. 2016	Не менее 1 / at least 1	17.04 – угроза утечки серной кислоты в результате опрокидывания цистерн / a threat of sulfuric acid leak as a result of tank rol-over
2015	Не менее 3 / at least 3	2.09 – угроза утечки газа в результате опрокидывания цистерн / a threat of gas leak as a result of tank roll-over 12.05 – утечка мазута / fuel oil leak 25.04 – разгерметизация цистерны, разлив нефти / tank depressurization, oil spill
2014	Не менее 6 / at least 6	11.08 – утечка бензола / a benzene leak 18.10 – разлив газового конденсата / a gas condensate spill 29.03 – возгорание нефтепродуктов / ignition of oil products 22.03 – утечка мазута (площадь разлива 15 м ²) / fuel oil leak (15 m ² spilling area) 5.02 – разлив и возгорание газового конденсата / spilling and ignition of gas condensate 12.02 – утечка и возгорание нефтепродуктов / leak and ignition of oil products
2013	Не менее 6 / at least 6	22.02 – утечка метил-трет-бутилового эфира / methyl-tert-butyl air leak 17.02 – утечка серной кислоты (площадь разлива 100 м ²) / sulfuric acid leak (100 m ² spilling area) 22.01 – утечка нефтепродуктов (площадь разлива 400 м ²) / oil products leak (400 m ² spilling area) 26.03 – сход 3 цистерн с пропаном / derailment of 3 tanks with propane 9.05 – утечка, возгорание, взрыв цистерн с нефтепродуктами / leak, ignition, explosion of tanks with oil products 22.01 – пролив авиационного керосина (площадь пролива 400 м ²) / aviation kerosene spilling (400 m ² spilling area)





2012	Не менее 16 / at least 16	24.11 – разлив, возгорание сырой нефти / flood, ignition of crude oil 30.01 – возгорание цистерн с нефтью / ignition of oil tanks 25.07 – возгорание взрывчатых веществ / ignition of explosives 19.07 – угроза разгерметизации цистерн с мазутом в результате опрокидывания / a threat of fuel oil tank depressurization as a result of roll-over 15.07 – утечка аммиака / ammonia leak 16.07 – самовозгорание вагонов с серой / self-ignition of cars with sulfur 01.06 – угроза возгорания нефти / an oil ignition threat 28.05 – повреждение цистерны с бензином, возгорание, пожар высшей сложности (площадь пожара 500 м ²) / a damage of gasoline tanks, ignition, major hazard fire (500 m ² fire area) 22.05 – утечка хлорсульфоновой кислоты / a chlorosulphonic acid leak 22.05 – утечка бытового газа с повышенным содержанием одоранта / a leak of household gas with high concentration of odorant 19.05 – утечка метиленхлорида / a dichloromethane leak 10.05 – утечка нефти / oil leak 17.04 – утечка серной кислоты / sulfuric acid leak 05.04 – утечка соляной кислоты / hydrochloric acid leak 20.03 – утечка нефти / oil leak 19.03 – угроза возгорания сырой нефти в результате опрокидывания цистерны и пролива / a threat of ignition of crude oil as a result tank roll-over and spilling
------	---------------------------------	---

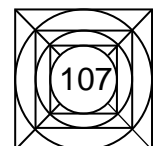
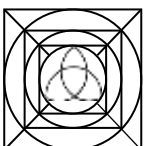
Методы исследования

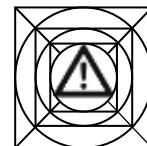
Как показано в табл. 2, за 4,5 года произошло не менее 32 аварий на железной дороге с участием взрывопожароопасных и токсичных веществ, т.е. в среднем более 7 аварий в год. Из этих аварий 8 сопровождались пожарами и взрывами и 10 – утечкой токсичных веществ. Большинство происходило на железнодорожных станциях, и некоторые из них потребовали экстренной эвакуации людей.

Причины произошедших аварий кроются: в действиях людей (нарушение правил безопасности движения и эксплуатации железнодорожного транспорта, в том числе следование на красный сигнал светофора, нарушение инструкций по техническому содержанию пути, необеспечение

безопасности сливо-наливных работ и т.д.); в отказах техники (неисправность автоматической системы блокировки колесных пар состава, излом рельса, излом боковой рамы тележки вагона, самопроизвольное открытие клапана цистерны); нерасчетных внешних воздействиях (просадка рельсов из-за размыва талыми водами, подмыв железнодорожной опоры, проседание насыпи), а также в особенностях железнодорожного транспорта.

Обеспечение безопасности при перевозке опасных химических веществ в Восточной Сибири имеет особую актуальность из-за высокой концентрации химически- и взрывопожароопасных производственных объектов и интенсивного исполь-





зования ресурсов железнодорожного транспорта при перевозке продукции этих предприятий. Кроме того, в настоящее время существенно увеличились перевозки нефти в восточном направлении, что связано с поставкой нефти «Роснефтью» в КНР. Таким образом, очевидно, что доля транспортировки опасных грузов на ВСЖД будет неуклонно расти и, следовательно, есть вероятность роста рисков при их перевозке.

При транспортировке опасных грузов одной из проблем, повышающих риски, является расстояние между производственными и жилыми помещениями и объектами железной дороги. Действующие на территории РФ строительные нормы и правила (СНиП 2.07.01-89. Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений) допускают отделять жилую застройку от железных дорог санитарно-защитной зоной шириной 100 м. Некоторые дома, возведенные до принятия данных нормативных актов, располагаются на еще меньшем расстоянии от железнодорожного полотна, при условии соблюдения нормативных требований к уровням шума в жилых зданиях, но при этом не учитывается уровень опасности, которой подвергаются жители в случае аварий с опасными грузами. Для примера были произведены измерения расстояния от жилых домов до железнодорожного полотна в городе Черемхове. Оказалось, что расстояние от домов под номерами 41, 65, 67, 73, 75 по улице Тракторной до путей составляет менее 30 метров, что более чем в три раза меньше допустимого.

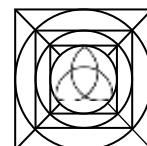
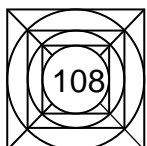
Следует также отметить, что при установлении возможных защитных расстояний селитебные территории должны иметь приоритет перед промышленными объектами. Исключение могут составлять опасные производственные объекты, которые должны рассматриваться специально для уменьшения рисков увеличения масштабов аварии при опасных воздействиях

на эти объекты происшествий на железной дороге. В зависимости от свойств перевозимых грузов, масштабов и особенностей аварийной ситуации размеры опасной зоны могут существенно превосходить имеющиеся фактические расстояния до жилых и производственных помещений, вокзалов и пассажирских платформ. Увеличение опасности железнодорожных аварий связывают и с ростом плотности населения вблизи железной дороги [7, 8].

Цель настоящей работы – провести моделирование аварийных ситуаций с опасными химическими веществами при их транспортировке железной дорогой и рассчитать размеры возможных зон поражения и значения риска причинения ущерба жизни людей.

Проведенный нами анализ аварий с выбросом (угрозой выброса) опасных веществ (табл. 2) показал, что наибольшее количество аварий приходится на цистерны, содержащие нефтепродукты и газовый конденсат или бытовой газ (50,0% и 15,6% от общего числа аварий с выбросом/угрозой выброса опасных веществ соответственно). По этой причине были рассмотрены аварийные ситуации с нефтяными и газовыми (СУГ) цистернами.

При перевозке опасных грузов в жидком или газообразном состоянии возможна разгерметизация цистерны. Частота разгерметизации цистерн приведена в табл. 3 (Приказ Ростехнадзора от 13.05.2015 № 188 «Об утверждении руководства по безопасности «Методические основы по проведению анализа опасностей и оценки риска аварий на опасных производственных объектах»). Относительно невысокий риск разгерметизации отдельно взятой цистерны существенно увеличивается вследствие использования железной дорогой большого количества цистерн, а также вследствие возможного «эффекта домино» при нескольких цистернах в железнодорожном составе.



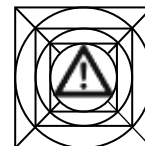


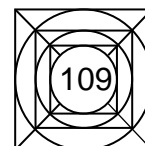
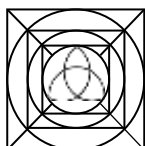
Таблица 3
Частота разгерметизации автомобильных и железнодорожных цистерн
(в стационарном положении)

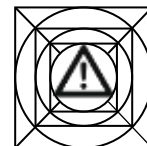
Table 3

Frequency of depressurization of automobile and railway tanks
(in a stationary position)

Тип оборудования / Equipment type	Частота разгерметизации / Depressurization frequency					
	Мгновенный выброс всего содержимого / Instant emission of total contents	Продолжительный выброс из цистерны через отверстие, соответствующее размеру наибольшего соединения / Lasting Long emission from the tank through opening, corresponding to the size the greatest connection	Полный разрыв сливоналивного рукава / Complete separation of a slivo-bulk sleeve	Утечка из сливоналивного рукава через отверстие с эффективным диаметром 10% от номинального диаметра, максимум 50 мм / Leak from a slivo-bulk sleeve through opening with effective with a diameter of 10% from nominal diameter, at most 50 mm	Полное разрушение жесткого сливоналивного устройства / Final fracture of the rigid slivo-bulk device	Утечка из жесткого сливоналивного устройства через отверстие с эффективным диаметром 10% от номинального диаметра, максимум 50 мм / Leak from the rigid slivo-bulk device through an opening with an effective diameter of 10% from nominal diameter, at most 50 mm
Цистерна под избыточным давлением / The tank under excessive pressure	$5 \cdot 10^{-7}$ год ⁻¹	$5 \cdot 10^{-7}$ год ⁻¹	$4 \cdot 10^{-6}$ ч ⁻¹	$4 \cdot 10^{-5}$ ч ⁻¹	$3 \cdot 10^{-8}$ ч ⁻⁸	$3 \cdot 10^{-8}$ ч ⁻⁷
Цистерна при атмосферном давлении / The tank under atmospheric pressure	$1 \cdot 10^{-5}$ год ⁻¹	$5 \cdot 10^{-7}$ год ⁻¹	$4 \cdot 10^{-6}$ ч ⁻¹	$4 \cdot 10^{-5}$ ч ⁻¹	$3 \cdot 10^{-8}$ ч ⁻⁸	$3 \cdot 10^{-8}$ ч ⁻⁷

Примечание: возникновение пожара под цистерной может привести к мгновенному выбросу всего содержимого с образованием огненного шара (при перевозке взрывопожароопасных жидкостей и сжиженных газов). Частота возникновения аварий данного типа по причине локальных утечек из соединительных шлангов оценивается величиной $1 \cdot 10^{-6}$ год⁻¹ для цистерн под избыточным давлением и $1 \cdot 10^{-6}$ год⁻¹ для цистерн при атмосферном давлении / Note: Fire under the tank can cause instant emission of total contents and formation of a fiery sphere (when transporting fire and explosion hazardous liquids and liquefied gases). The frequency of these accidents due to local leaks from connecting hoses is estimated as $1 \cdot 10^{-6}$ year⁻¹ for tanks under excessive pressure and $1 \cdot 10^{-6}$ year⁻¹ for tanks under atmospheric pressure





Для моделирования использовали программный комплекс ТОКСИ+^{Risk} (ЗАО НТЦ ПБ) [9], позволяющий как оценить размеры зон поражения от различных опасных явлений, так и рассчитать параметры риска.

Моделировали происшествия нарушения герметичности оборудования (все сценарии от появления отверстия разгерметизации до полного разрушения оборудования) при перевозке СУГ при следующих исходных данных: опасный груз – пропан, перевозимый в цистерне для перевоз-

ки сжиженного углеводородного газа модели 15-1200, объемом 55,7 м³. Давление в оборудовании 2 МПа. Температуру окружающей среды приняли 20°С. Температура в оборудовании равна температуре окружающей среды. Расчет выполнили для наиболее неблагоприятных условий рассеяния. Скорость ветра – 1 м/с. Стратификация атмосферы – F. Разлив происходит на бетон, тип разлива свободный. Время ликвидации аварии равно времени истечения жидкой фазы и составляет 3600 секунд.

Результаты и их обсуждение

Деревья событий, моделирующие все возможные сценарии развития аварийных ситуаций при полном и частичном разрушения емкости после разгерметизации цистерны с избыточным давлением газа, представлены на рис. 1 и 2.

При полном разрушении емкости с СУГ (которое следует принять за наиболее опасный сценарий) возможно дальнейшее развитие аварии по следующим основным сценариям:

- воспламенение пролива СУГ с возникновением огненного шара или пожара пролива;
- образование облака топливовоздушной смеси (ТВС) в штилевых условиях с последующим взрывом или возникновением пожара-вспышки;
- рассеивание облака ТВС (при наличии ветра) без воспламенения.

Наибольшая условная вероятность (0,608) у последнего сценария, т.е. у рассеивания без воспламенения, однако при исключении штилевых[условий, и, если помножить это значение на условную возможность ветра в г. Иркутске, то вероятность рассеивания без последствий уменьшится и станет соразмерной с условной вероятностью пожара пролива (0,228).

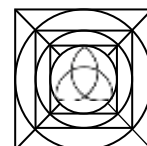
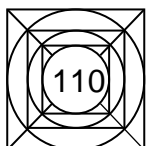
В сценариях с частичным разрушением емкости появляется вариант с воз-

никновением факельного горения, и это второй по значимости сценарий после рассеивания без воспламенения. При этом следует отметить, что с увеличением диаметра отверстия разгерметизации условная вероятность возникновения факельного горения растет. Так, при начальном расходе газа из отверстия меньше 1 кг/с условная вероятность факела составит 0,005, а уже при расходе газа из отверстия 50 кг/с условная вероятность факела повышается до 0,15.

В соответствии с приведенными деревьями событий, помимо взрыва облака парогазовоздушной смеси углеводородов, возможен пожар пролива СУГ. Расчет параметров пожара пролива осуществлялся в соответствии с ГОСТ Р 12.3.047–2012.

Расчет выполнили по вероятностным критериям поражения. По величинам интенсивности теплового излучения проследили однопроцентную вероятность гибели человека от теплового излучения пламени, результаты расчета представлены в табл. 4.

Проанализировали и остальные учтенные в дереве событий сценарии аварийных ситуаций. Характеристика зон поражения, площади отверстий разгерметизации и вероятности реализации сценариев аварии для факельного горения газа



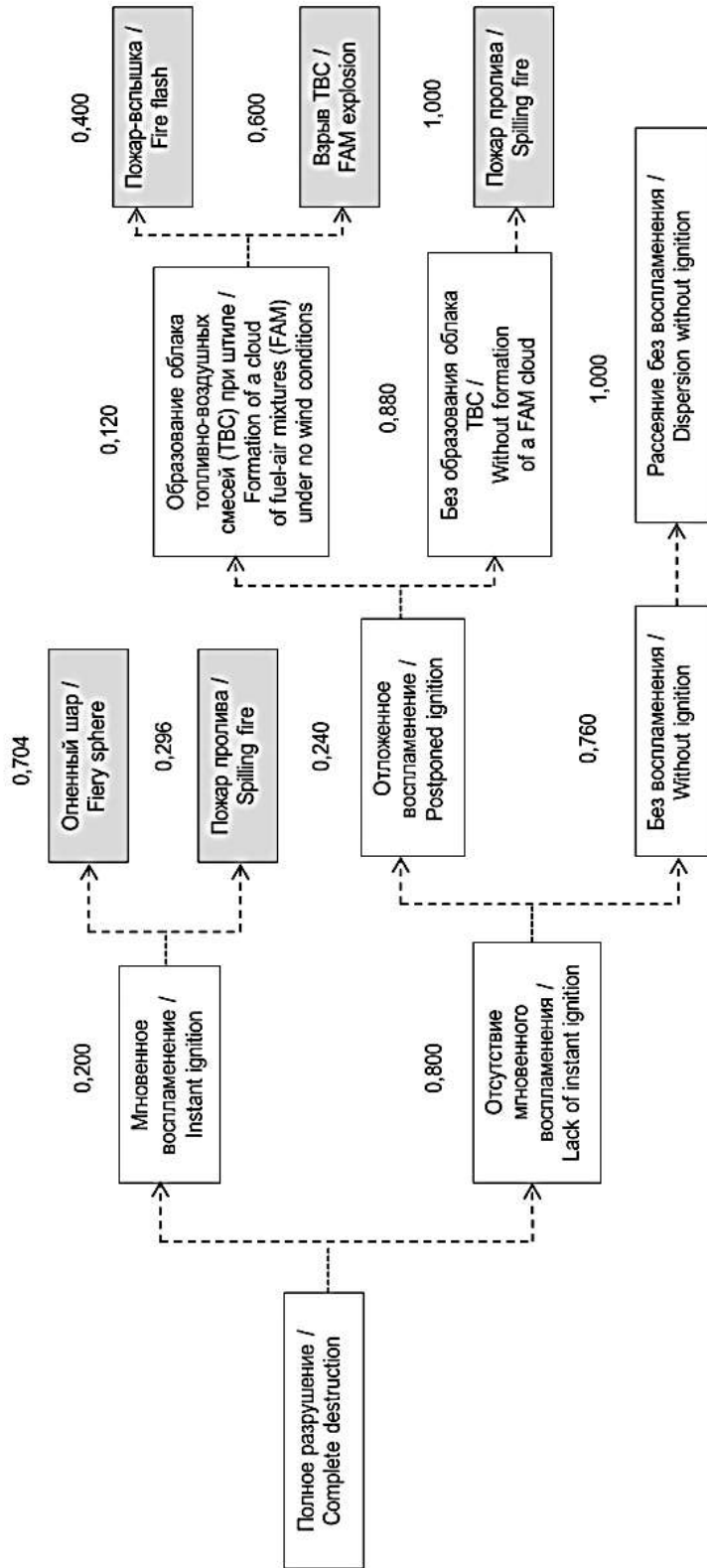
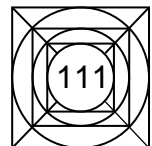
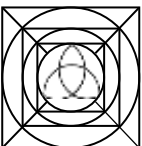


Рис. 1. Дерево событий аварийной ситуации «Полное разрушение емкости, содержащей горючее вещество под давлением»
Fig. 1. Emergency event tree "Complete destruction of a tank with combustible substance under pressure"



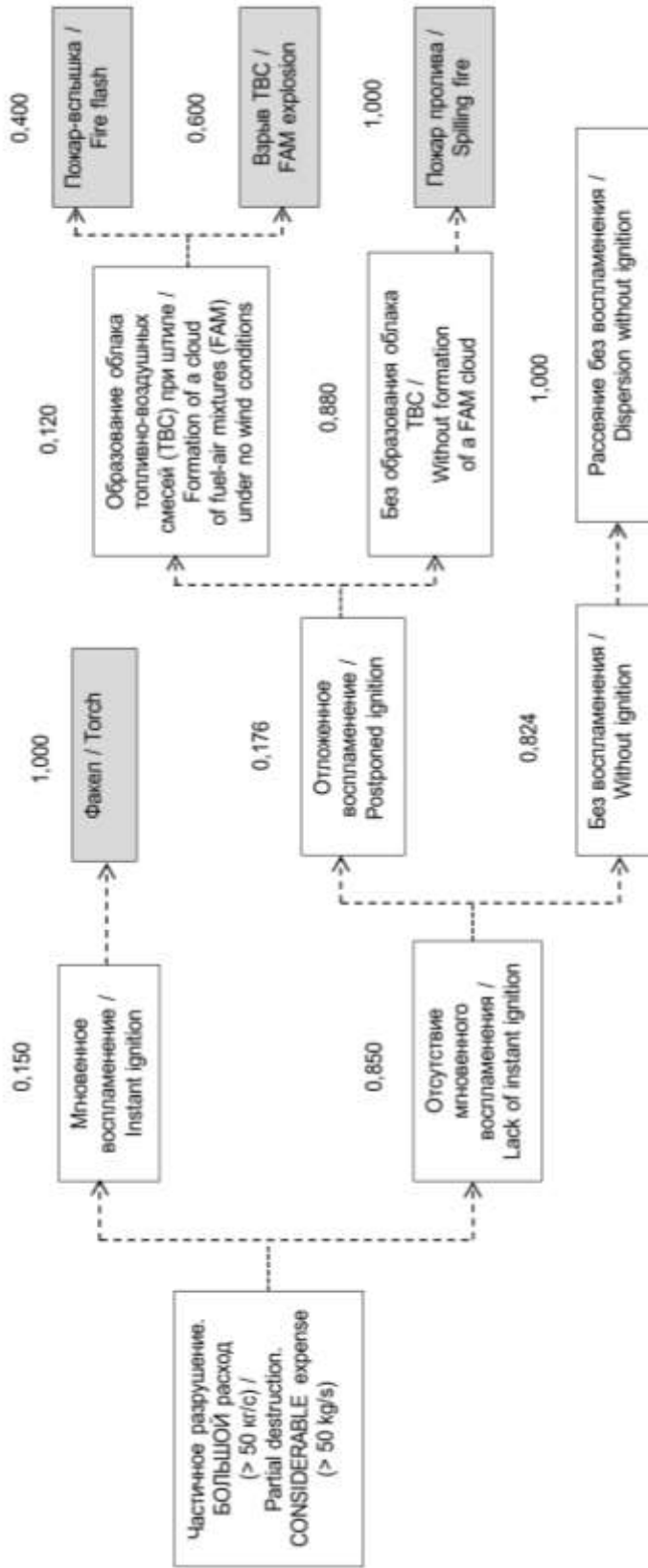
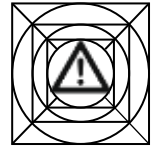
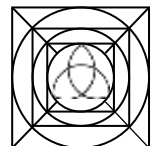


Рис. 2. Дерево событий аварийной ситуации «Частичное разрушение емкости, содержащей горючее вещество под давлением» (начальный расход газа из отверстия > 50 кг/с)
 Fig. 2. Emergency event tree "Partial destruction of a tank with combustible substance under pressure" (initial consumption of gas from a hole > 50 kg/s)



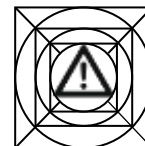


Таблица 4

Характеристика зон поражения для пожара пролива СУГ

Table 4

The characteristic of injury zones for fires caused by LHG spilling

Площадь отверстия разгерметизации, м ² / Depressurization hole area, sq. m	Площадь пролива, м ² / Spilling area, sq. m	Длина зоны при заданной вероятности смертельного поражения, м / Zone length at designed probability of lethal injuries, m	Вероятность сценария, 1/год / Probability scenario, 1/year
$2 \cdot 10^{-5}$	150	11,12	$1,6 \cdot 10^{-7}$
$1,2 \cdot 10^{-4}$	937	22,40	$3,1 \cdot 10^{-7}$
$4,9 \cdot 10^{-4}$	3747	47,82	$1,92 \cdot 10^{-7}$
$2 \cdot 10^{-3}$	7673	75,23	$5,02 \cdot 10^{-7}$
$7,9 \cdot 10^{-3}$	7673	75,23	$2,24 \cdot 10^{-7}$
Полное разрушение / Complete destruction	7673	75,23	$6,84 \cdot 10^{-8}$

представлены в табл. 5, а те же параметры для огненного шара – в табл. 6.

Для оценки рисков сделали следующие предположения: персонал железнодорожной станции в смену достигает 30

человек, а на разном удалении от его постоянной дислокации может находиться до 50 человек «третьих лиц». Рассчитанные количественные показатели риска представлены в табл. 7.

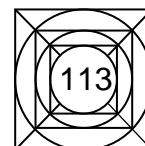
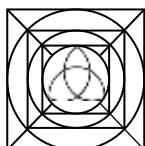
Таблица 5

Характеристика зон поражения при факельном горении газа

Table 5

The characteristic of injury zones for torch gas burning

Площадь отверстия разгерметизации, м ² / Depressurization hole area, sq. m	Диаметр факела, м / Torch diameter, in m	Длина зоны смертельного поражения, образованная горизонтальным факельным горением, м / Length of a lethal injury zone formed by horizontal torch burning, in m	Вероятность сценария, 1/год / Scenario probability, 1/year
$2 \cdot 10^{-5}$	1,15	7,69	$2 \cdot 10^{-7}$
$1,2 \cdot 10^{-4}$	2,4	16	$3,5 \cdot 10^{-7}$
$4,9 \cdot 10^{-4}$	4,18	27,85	$2,17 \cdot 10^{-7}$
$2 \cdot 10^{-3}$	7,27	48,49	$5,7 \cdot 10^{-7}$
$7,9 \cdot 10^{-3}$	12,66	84,43	$2,55 \cdot 10^{-7}$



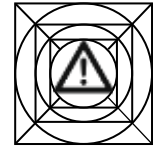


Таблица 6
Характеристика зон поражения от огненного шара при полном разрушении оборудования

The characteristic of fiery sphere injury zones with a complete destruction of equipment

Table 6

Время существования огненного шара, с / Existence time existence for a fiery sphere, seconds	Вероятность смертельного поражения, % / Lethal Injury probability, %	Размер зон поражения, м / Size of injury zones, m	Вероятность сценария, 1/год / Scenario probability, 1/year
21,84	99	101	$4,23 \cdot 10^{-8}$
	1	243,69	

Таблица 7

Количественные показатели риска аварии с СУГ

Table 7

Quantitative indices of a LHG accident risk

Персонал / Personnel		Третьи лица / Third parties	
Индивидуальный риск, 1/год / Individual risk, 1/year	Коллективный риск, 1/год*чел. / Collective risk, 1/year*person	Индивидуальный риск, 1/год / Individual risk, 1/year	Коллективный риск, 1/год*чел. / Collective risk, 1/year*person
$4,96 \cdot 10^{-8}$	$1,49 \cdot 10^{-6}$	$2,91 \cdot 10^{-10}$	$1,45 \cdot 10^{-8}$

Моделирование аварийной ситуации, в результате которой произошла разгерметизация цистерны с нефтью, провели, определив исходные данные по метеоусловиям, аналогичным рассмотренным выше. Обусловили, что нефть перевозится в цистерне для вязких нефтепродуктов модели 15-1210-01, объемом 73 м^3 . Давление в оборудовании равно давлению насыщенных паров.

Данные по величине частоты событий в зависимости от диаметра аварийного отверстия приняли в соответствии с Приказом МЧС РФ от 10.07.2009 № 404 «Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах» (табл. 8).

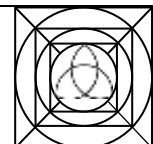
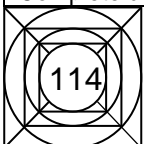
Дерево событий аварии при полном разрушении цистерны с нефтью представлено на рис. 3.

Таблица 8
Частота событий при разгерметизации с последующим истечением нефти

Table 8

Frequency of events when depressurizing succeeded by oil expiration

Событие / Event	Частота события, 1/год / Event frequency, 1/year	Диаметр аварийного отверстия, мм / Diameter of an emergency hole, mm	Начальный расход, кг/с / Initial expense, kg/s
Появление отверстия разгерметизации / Initiation of a depressurization hole	$8,8E-5$	25	4,31
Появление отверстия разгерметизации / Initiation of a depressurization hole	$1,2E-5$	100	69,03
Полное разрушение / Complete destruction	$5E-6$	–	–



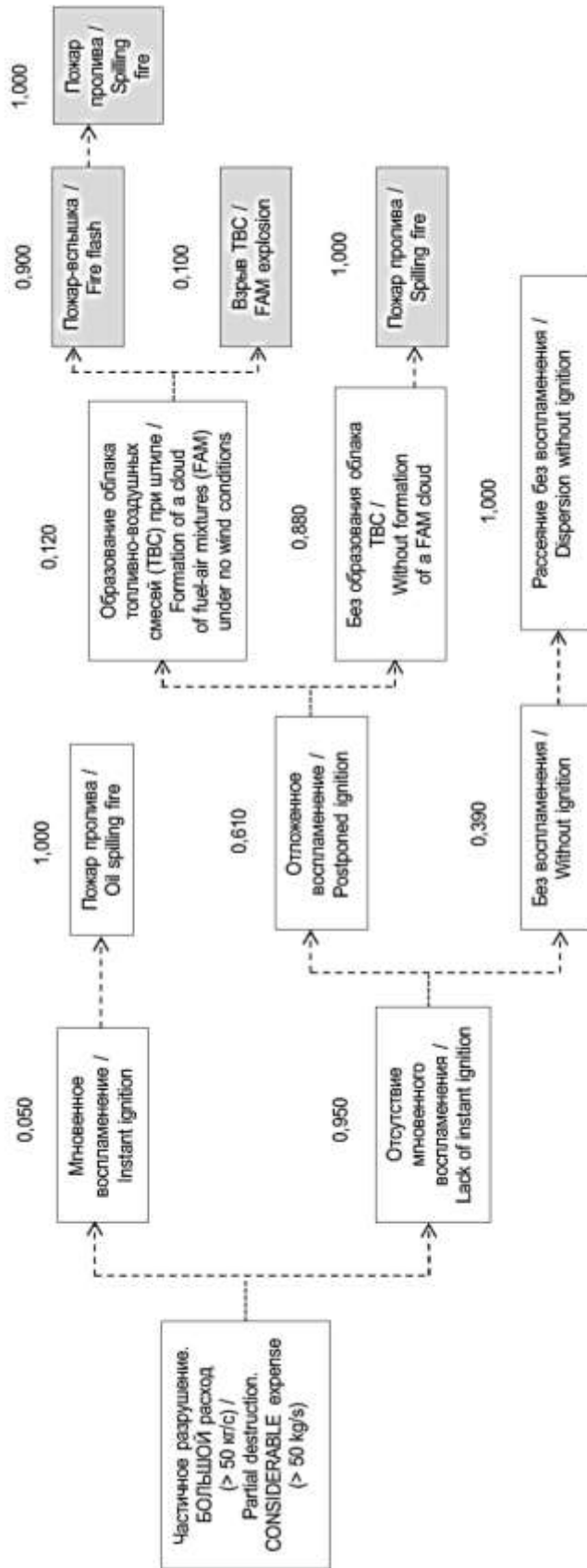
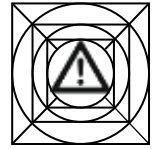
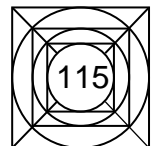
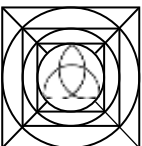
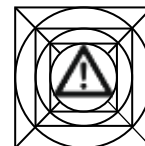


Рис. 3. Дерево событий аварии с полным разрушением емкости с горючей жидкостью, содержащейся при атмосферном давлении
 Fig. 3. A tree of events of accident for the complete destruction of the tank with combustible liquid stored under atmospheric pressure





В результате расчетов определили возможные размеры зоны поражения по концентрационным пределам воспламенения. Так, нижний концентрационный предел воспламенения (НКПВ нефти – 0,03456 кг/м³) простирается на 25 м по ветру, 16 м – против ветра и имеет максимальную полуширину 20 м в эпицентре; верхний же концентрационный предел (ВКПВ нефти –

0,17064 кг/м³) распространяется на расстояние 15 м по ветру, 10 м – против ветра и имеет максимальную полуширину 12 м в эпицентре.

Значения риска гибели людей при пожаре пролива для сценариев, различающихся площадью отверстия разгерметизации цистерны, показаны в табл. 9.

Таблица 9

Результаты расчета риска при пожаре пролива нефти

Table 9

Risk calculation results for oil spilling fire

№	Площадь отверстия разгерметизации, м ² / Depressurization hole area, sq. m	Частота сценария, 1/год / Scenario frequency, 1/year	Коллективный риск для сценария, 1/год*чел. / Collective risk for the scenario, 1/year*person	Индивидуальный риск для сценария, 1/год / Individual risk for the scenario, 1/year
1	Полное разрушение / Complete destruction	3,12E-06	1,14E-04	2,63E-07
2	0,007853982	9,12E-07	3,34E-05	7,70E-08
3	0,000490874	2,64E-06	2,93E-06	6,76E-09
Итого / Total	–	–	1,50E-04	3,47E-07

Рассмотрели аварийную ситуацию (все сценарии от появления отверстия разгерметизации до полного разрушения оборудования), при которой произойдет сход трех цистерн и авария будет развиваться по типу «домино». Результаты расчета рис-

ка при вовлечении в аварию трех цистерн показаны в табл. 10.

Таким образом, очевидно, что при развитии аварии по сценарию «домино» ущерб существенно превышает таковой при аварии с одиночной цистерной.

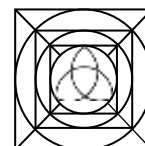
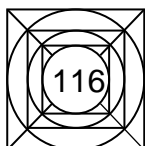
Таблица 10

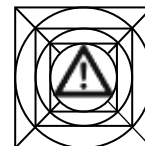
Результаты расчета риска при пожаре пролива нефти при вовлечении в аварию трех цистерн

Table 10

Risk calculation results for oil spilling fire with three tanks

№ сценария аварии / No. of the scenario of accident	Площадь отверстия разгерметизации, м ² / Depressurization hole area, sq. m	Частота сценария, 1/год / Scenario frequency, 1/year	Коллективный риск для сценария, 1/год*чел. / Collective risk for the scenario, 1/year*person	Индивидуальный риск для сценария, 1/год / Individual risk for the scenario, 1/year
1	Полное разрушение / Complete destruction	3,12E-06	2,09E-04	8,40E-07
2	7,85E-03	3,60E-07	3,46E-05	9,71E-08
3	4,91E-04	8,80E-07	3,35E-06	1,81E-08
Итого / Total			2,47E-04	9,56E-07





Заключение

Авария с опасными химическими веществами на железнодорожной магистрали – чрезвычайно опасное событие вследствие традиционной близости к дороге объектов инфраструктуры, большой плотности людей на предприятиях путей сообщения и станциях, и по последствиям воздействия на население поражающих факторов она может существенно превосходить последствия химической аварии на стационарном объекте. Результаты исследования показали, что размеры зон поражения при такой аварии могут быть более установленных сегодня нормативами 100 м и, таким образом, способны оказывать воздействие на незащищенные объекты на значительном удалении от железнодорожного полотна. При этом рассчитанные индивидуальные риски не превысили допу-

стимых значений, а значит, соблюдение требований промышленной безопасности и личная ответственность людей, имеющих отношение к перевозке опасных грузов, позволяют избежать наступления аварийной ситуации.

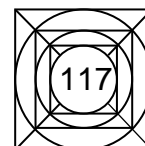
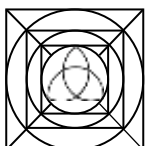
Железная дорога не является опасным производственным объектом даже по признаку транспортирования опасных химических веществ. Это освобождает работников отрасли от целого ряда серьезных организационных требований. Но ведь и безопасность обеспечивается не из-за формальной принадлежности к чему-либо, а неформальным отношением к делу, ответственностью каждого на своем месте. Мы все отвечаем друг за друга в той или иной степени.

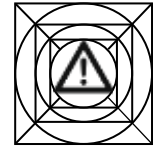
Библиографический список

1. Савчук О.Н., Григорьев П.И., Сильников М.В., Шепелюк С.И. Проблемы организации обеспечения безопасности при перевозке аварийно химически опасных веществ железнодорожным транспортом // Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России. 2016. № 3. С. 28–32.
2. Официальный сайт ОАО РЖД [Электронный ресурс]. URL: <http://rzd.ru/> (11.02.2017).
3. Савчук О.Н., Аксенов А.А. Пути совершенствования прогнозирования последствий аварий (разрушений) железнодорожных цистерн с аварийно химически опасными веществами в условиях информационной войны // Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России. 2015. № 1. С. 18–28.
4. Официальный сайт МЧС России [Электронный ресурс]. URL: <http://mchs.gov.ru> (11.02.2017).
5. Официальный сайт РИА Новости [Электронный ресурс]. URL: <https://ria.ru/incidents/20150320/1053614069.html> (11.02.2017).
6. Официальный сайт НПО ДИАР [Электронный ресурс]. URL: <http://i-risk.ru/statistics/177/25199/> (11.02.2017).
7. Соколов Ю.И. Вопросы безопасности транспортировки опасных грузов // Проблемы анализа риска. 2009. № 1. С. 38–74.
8. Дубровин А.А. Типизация деревьев событий при транспортировке железнодорожным транспортом опасных грузов // Проблемы анализа риска. 2008. № 3. С. 86–95.
9. Агапов А.А., Лазукина И.О., Марухленко А.Л., Марухленко С.Л., Софьин А.С. Использование программного комплекса TOXI+Risk для оценки пожарного риска // Безопасность труда в промышленности. 2010. № 1. С. 46–52.

References

1. Savchuk O.N., Grigor'ev P.I., Sil'nikov M.V., Shepeljuk S.I. Problemy organizacii obespechenija bezopasnosti pri perevoze avarijno himicheski opasnyh veshhestv zheleznodorozhnym transportom [Problems of the organization of safety when transporting abnormally chemically dangerous substances by rail]. Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta Gosudarstvennoj protivopozharnoj sluzhby MChS Rossii [Bulletin of St. Petersburg University of the Public fire service of Emercom of Russia]. 2016, no. 3, pp. 28–32. (In Russian).
2. Oficial'nyj sajt OAO RZhD [Official site of JSC Russian Railway]. Available at: <http://rzd.ru/> (Accessed 11, February 2017).
3. Savchuk O.N., Aksenov A.A. Puti sovershenstvovaniya prognozirovaniya posledstvij avarij (razrushenij) zheleznodorozhnyh cistern s avarijno himicheski opasnymi veshhestvami v uslovijah informacionnoj





vojny [Ways of improvement of consequences predictions for accidents (destructions) of railway tanks with abnormally chemically dangerous substances in the conditions of information war]. Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta Gosudarstvennoj protivopozharnoj sluzhby MChS Rossii [Bulletin of the St. Petersburg university of the Public fire service of Emercom of Russia]. 2015, no. 1, pp. 18–28. (In Russian).

4. Oficial'nyj sajt MChS Rossii [Official site of Emercom of Russia]. Available at: <http://mchs.gov.ru> (Accessed 11, February 2017).

5. Oficial'nyj sajt RIA Novosti [Official site of RIA Novosti]. Available at: <https://ria.ru/incidents/20150320/1053614069.html> (Accessed 11, February 2017).

6. Oficial'nyj sajt NPO DIAR [Official site of NPO DIAR]. Available at: <http://i-risk.ru/statistics/177/25199/> (Ac-

cessed 11, February 2017).

7. Sokolov Ju.I. Voprosy bezopasnosti transportirovki opasnyh gruzov [Safety issues of transportation of dangerous freights]. Problemy analiza riska [Problems of the analysis of risk]. 2009, no. 1, pp. 38–74. (In Russian).

8. Dubrovin A.A. Tipizacija derev'ev sobytij pri transportirovke zheleznodorozhnym transportom opasnyh gruzov [Typification of trees of events when transporting dangerous freights by railway]. Problemy analiza riska [Problems of risk analysis]. 2008, no. 3, pp. 86–95. (In Russian).

9. Agapov A.A., Lazukina I.O., Maruhlenko A.L., Maruhlenko S.L., Sof'in A.S. Ispol'zovanie programmnoho kompleksa TOXI+Risk dlja ocenki pozharnogo riska [Use of TOXI+Risk complex for fire risk assessment]. Bezopasnost' truda v promyshlennosti [Safety of work in the industry]. 2010, no. 1, pp. 46–52. (In Russian).

Критерий авторства

Хамидуллина Е.А., Тарасова М.Н. обладают равными авторскими правами и несут равную ответственность за плагиат.

Authorship criteria

Khamidullina E.A., Tarasova M.N. have equal authors' rights and responsibility for plagiarism.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests.

Поступила 16.02.2017

Received on 16.02.2017

