

Научная статья

УДК 004.942

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ПРОДУКТА ДЛЯ УЧЕТА НЕОДНОРОДНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ИСТОЧНИКОВ ВОСПЛАМЕНЕНИЯ ОБЛАКА ТОПЛИВНО-ВОЗДУШНОЙ СМЕСИ

✉ Усатенко Ирина Георгиевна;

Бызов Антон Прокопьевич.

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,

Санкт-Петербург, Россия

✉ irina_usatenko@mail.ru

Аннотация. Рассмотрен методический аппарат для расчета зон поражений при взрыве топливно-воздушной смеси, а также предложена методика расчета условной вероятности воспламенения облака топливно-воздушной смеси с учетом размещения источников зажигания. На основе методики был разработан программный продукт, который позволяет анализировать объекты с различным расположением источников воспламенения и, исходя из методики, учитывать режим работы этих источников.

Ключевые слова: взрыв, топливно-воздушная смесь, опасные грузы, автомобильный транспорт, источники зажигания

Для цитирования: Усатенко И.Г., Бызов А.П. Разработка программного продукта для учета неоднородности распределения источников воспламенения облака топливно-воздушной смеси // Надзорная деятельность и судебная экспертиза в системе безопасности. 2023. № 2. С. 40–49.

Введение

В настоящее время ведущей отраслью России является нефтяная промышленность. Она включает в себя добычу, переработку, транспортировку нефти и нефтепродуктов. В результате роста экономики увеличивается объем добычи нефти, следовательно, растет количество транспортируемого опасного вещества.

Сейчас в России, в Федеральной службе по экологическому, технологическому и атомному надзору, зарегистрировано более 2 000 участков транспортирования опасных веществ. Поэтому с ростом их количества встает вопрос об обеспечении промышленной безопасности данных объектов. Согласно данным Федеральной государственной информационной системы «ИАС-ДТП», в период с 2014 по 2017 г. МЧС России были вызваны на 86 ДТП с участием автомобильного транспорта, перевозившего опасные грузы.

Изучая данные ГУ МВД России на территории Ростовской обл. с 2015 по 2017 г., зафиксировано 10 ДТП с участием автомобильного транспорта, перевозившего опасные грузы, из них в шести ДТП пострадали 12 чел., один из них погиб. По данным Всероссийского центра мониторинга и прогнозирования чрезвычайных ситуаций МЧС России на период с 1991 по 2017 г. произошло более 7 000 крупных аварий на автомобильных дорогах, с участием автомобильного транспорта, перевозившего опасные грузы (рис. 1). В результате этих аварий погибло 17 940 чел. и пострадало 50 440 чел. [1–2].

Согласно ежегодному отчету о деятельности Ростехнадзора за 2020 г. в России зарегистрировано более 2 000 участков транспортирования опасных веществ, входящих в состав опасных производственных объектов. Количество участков транспортирования опасных веществ, входящих в состав других опасных производственных объектов, составило 1907.

Протяженность путей не общего пользования составляет около 19 000 км, в том числе железнодорожных – 11 395 км.

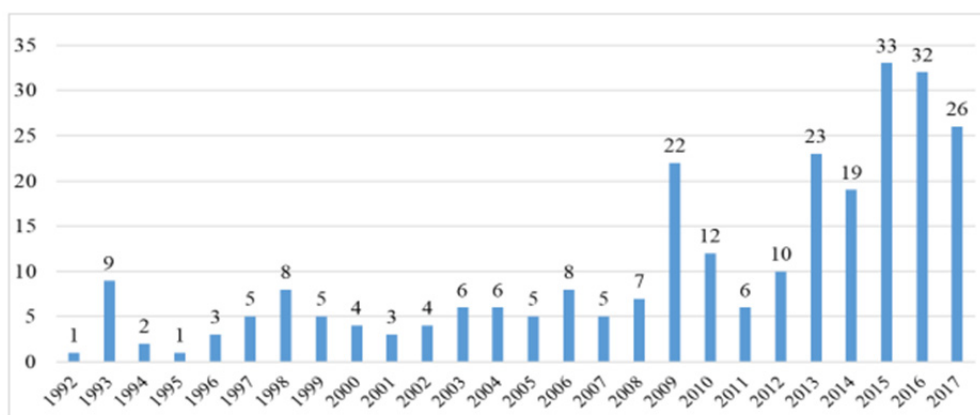


Рис. 1. Данные Всероссийского центра мониторинга

Количество специальных транспортных средств для перевозки опасных грузов составляет 29 199, из них 5 835 – автомобильные, 23 364 – железнодорожные, повышается потребность перевозки опасных веществ автомобильным транспортом [3].

Происшедший в 2020 г. несчастный случай со смертельным исходом зарегистрирован в организации, эксплуатирующей объекты III класса опасности. 29 августа 2020 г. в организации ООО «Химпром» в промывочно-пропарочном отделении железнодорожного цеха при выполнении газоопасной работы по очистке контейнеров-цистерн внутри погиб промывальщик-пропарщик цистерн.

Остро стоит вопрос улучшения ситуации безопасности перевозок опасных веществ автомобильным транспортом, при этом учитывают параметры кривизны и наклона дороги, наличие населенных пунктов и мостов, метеорологические условия – все это повышает эффективность и безопасность перевозки опасных веществ и материалов [4].

В статье [5] представлена методика выбора модели автомобильной перевозки опасных грузов. Модель генерирует маршруты, оптимальные с точки зрения минимизации рисков и потерь.

Авторами работы [6] разработан алгоритм проверки дорог при транспортировке опасных материалов на основе генетического алгоритма и нейронной сети Левенберга – Мар-Квардта (GA-LM-NN) путем анализа данных 15 атрибутов каждого участка дорожной сети.

В настоящее время в России принят подход к оценке индивидуального риска, основанный на построении полей потенциального риска и определении параметров распределения людей на территории. Итоговое поле потенциального территориального риска складывается из суперпозиции полей потенциального риска от разных источников опасности по различным сценариям [7].

Как правило, при построении полей потенциального риска для аварий с образованием топливно-воздушных смесей (ТВС) полагается их статичность и в качестве центра облака принимается место выброса [8–11], либо проводится детерминированная оценка полей поражающих параметров исходя из предположения о переносе центра облака на 300 м при мгновенной разгерметизации резервуара и 150 м при длительном истечении, что соответствует 70 % всех случаев аварий.

Теоретические основы и методы расчета

Предмет исследования: методика оценки поля вероятности поражения при взрыве ТВС с учётом неоднородности распределения источников воспламенения облака ТВС для участков транспортировки опасных веществ.

Цель работы: на основе изучения методического аппарата оценки поля вероятности поражения при взрыве ТВС, нормативно-правовых документов и литературных источников в данной области усовершенствовать методику оценки поля вероятности поражения при

взрыве ТВС с учётом неоднородности распределения источников воспламенения облака ТВС для участков транспортировки опасных веществ.

На сегодняшний день для оценки последствий взрывов облаков ТВС используются различные методики. Основами существующих подходов являются:

- 1) уравнение Б.Е. Гельфанда – для взрывов горючих веществ;
- 2) уравнение А.Н. Бирбраера – для аварий, где возможна и дефлаграция, и детонация вещества;
- 3) методика, учитывающая энергетические характеристики газопаровоздушных смесей;
- 4) методика оценки последствий аварийных взрывов ТВС.

Основой уравнения Б.Е. Гельфанда также является учет тротилового эквивалента взрыва ТВС горючих веществ. Данные зависимости используются в ГОСТ Р 12.3.047–2012 «Пожарная безопасность технологических процессов» (Приложение Е):

$$\begin{cases} \Delta P\Phi = P_0 \cdot \left(0,8 \cdot \frac{M_{\text{пр}}^{0,33}}{\Gamma} + 3 \cdot \frac{M_{\text{пр}}^{0,66}}{\Gamma^2} + 5 \cdot \frac{M_{\text{пр}}}{\Gamma^3} \right) \\ M_{\text{пр}} = \frac{Q_{\text{сг}}}{Q_0} \cdot Z \cdot M_{\text{ГПВС}} \end{cases}$$

Метод позволяет провести количественную оценку параметров взрывной ударной волны, возникающей при сгорании облака ТВС в открытом пространстве.

Методика, предложенная в приказе Ростехнадзора от 15 декабря 2020 г. № 533 «Об утверждении ФНиП в области ПБ «Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств», утверждена постановлением Правительства Российской Федерации от 30 июля 2004 г. № 401 «О Федеральной службе по экологическому, технологическому и атомному надзору».

Метод, предложенный в этом документе, позволяет оценить уровни последствий взрыва в тротиловом эквиваленте, исходя из массы парогазовоздушной смеси, выброшенной в окружающую среду в результате аварии, и свойств веществ: удельной теплоты сгорания парогазовой смеси, его удельная энергия взрыва, выраженная в тротиловом эквиваленте. Определены критерии типов (видов) поражения (разрушения).

Масса парогазовых веществ, участвующих во взрыве, определяется по формуле:

$$m^{\cdot} = z \cdot m,$$

где z – доля приведенной массы парогазовых веществ, участвующих во взрыве.

Тротильный эквивалент взрыва парогазовой среды W_T (кг), определяемый по условиям адекватности характера и степени разрушения при взрывах парогазовых облаков, а также твердых и жидких химически нестабильных соединений рассчитывается по формулам:

Для парогазовых сред верна формула:

$$W_T = \frac{0,4 \cdot q^{\cdot}}{0,9 \cdot q_T} \cdot z \cdot m,$$

где 0,4 – доля энергии взрыва парогазовой среды, затрачиваемой непосредственно на формирование ударной волны; 0,9 – доля энергии взрыва тринитротолуола, затрачиваемой непосредственно на формирование ударной волны; q^{\cdot} – удельная теплота сгорания парогазовой среды, кДж/кг; q_T – удельная энергия взрыва ТНТ, кДж/кг.

В этом случае можно считать, что границы зоны разрушения определяются радиусами R , центром которых является соответствующий технологический блок или наиболее вероятное место разгерметизации технологической системы. Границы каждой зоны характеризуются значениями избыточных давлений вдоль фронта ударной волны ΔP и безразмерным коэффициентом K .

Радиус зоны разрушения (м) определяется формулой:

$$R = K \cdot \frac{\sqrt[3]{W_T}}{\left(1 + \left(\frac{3180}{W_T}\right)^2\right)^{\frac{1}{6}}}$$

где K – безразмерный коэффициент, характеризующий воздействие взрыва на объект.

При вовлечении в аварию массу паров более 5 000 кг радиус зоны разрушения может быть определен по формуле:

$$R = K \cdot \sqrt[3]{W_T}.$$

Зависимость, используемая в этой методике, была получена на основе закона Хопкинса, созданного в результате масштабных исследований фактического разрушения зданий и сооружений при взрывах авиабомб во время Второй мировой войны.

Избыточное давление на фронте воздушной ударной волны ΔP_Φ , (кПа), вычисляется по формуле:

$$\Delta P_\Phi = \begin{cases} \Delta P = 1700 \text{ при } \varphi \leq 0,24 \\ \frac{23,1075}{\varphi^3} \text{ при } 0,24 < \varphi < 0,455 \\ \frac{700}{3 \cdot (\sqrt{1+29,8 \cdot \varphi^3} - 1)} \text{ при } 0,455 < \varphi \leq 2 \\ \frac{22}{\varphi \cdot \sqrt{\log(\varphi, 10) + 0,158}} \text{ при } \varphi \geq 2 \end{cases}$$

Несмотря на грубую оценку, не учитывающую свойства вещества, было отмечено, что при использовании методики, основанной на законе Хопкинса, то результаты расчетов будут давать результаты с высокой степенью точности, но при участии вещества массой не более 100 т.

Принято считать, что при реализации аварии возможны детонация и дефлаграция облака ГВС, необходимо принимать наиболее негативный вариант развития аварии.

Объем облака определяется уравнением:

$$V = \frac{2240 \cdot k \cdot G}{\mu \cdot C_{\text{НКПД}}},$$

где G – масса выделившегося вещества, кг; k – коэффициент, зависящий от его вида и способа хранения (для газов, хранящихся при нормальном атмосферном давлении, $k = 1$; для сжиженных под давлением газов $k = 0,5$; при растекании легковоспламеняющиеся жидкости (ЛВЖ) $k = 0,2-0,07$); μ – молекулярная масса вещества; $C_{\text{НКПД}}$ – нижний объемный концентрационный предел детонации, %; при отсутствии данных можно принять $C_{\text{НКПД}}$, равным нижнему концентрационному пределу воспламенения $C_{\text{НПВ}}$.

Радиус полусферического облака определяется уравнением:

$$r_0 = 0,78 \cdot \sqrt[3]{V}.$$

Вследствие сверхзвукового распространения детонационной волны облако ГПВС к концу детонации не успевает расширяться и практически сохраняет первоначальный объем.

Удельная объемная теплотворная способность ГПВС q_V , кДж/м³ определяется по формуле:

$$q_V = q_{V,\text{стх}} \cdot \frac{C_{\text{НКПД}}}{C_{\text{стх}}},$$

где $q_{V,\text{стх}}$, $C_{\text{стх}}$, $\rho_{\text{стх}}$ – соответственно удельная объемная энергия, концентрация и плотность стехиометрической смеси.

Показатель адиабаты стехиометрической смеси определяется по формуле:

$$\gamma = \frac{1,3}{1,85 \cdot 10^{-5} \cdot (q_m - 1200) + 1}.$$

Избыточное давление во фронте детонационной волны в пределах облака можно определить по формуле:

$$\Delta P_{\text{дет}} = 2,586 \cdot (\gamma - 1) \cdot q_m - P_a,$$

где P_a – атмосферное давление.

Вследствие достижения детонационной волны края границы облака, в окружающем облако воздухе распространяется воздушная ударная волна. Её параметры зависят от приведённого расстояния \bar{R} , м/кДж^{1/3}, определяются по формуле:

$$\bar{R} = \frac{R}{\sqrt[3]{2 \cdot E_{\text{ув}}}},$$

где R – значение расстояния от центра облака ($R > r_0$); $E_{\text{ув}}$ – значение энергии взрыва, перешедшее в воздушную ударную волну, кДж, определяемую по формуле:

$$E_{\text{ув}} = 2 \cdot q_V \cdot \delta \cdot V,$$

где δ – это доля полной энергии взрыва, перешедшая в воздушную ударную волну по формуле:

$$\delta = 1 - \left(\frac{2 \cdot P_a}{\Delta P_{\text{дет}}} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}.$$

Избыточное давление на фронте воздушной ударной волны $\Delta P_{\text{ф}}$, (Па), вычисляется по формуле:

$$\Delta P_{\text{ф}} = \begin{cases} \Delta P_{\text{дет}} \text{ при } \bar{R} \leq 0,05 \\ \frac{1,227 \cdot 10^{-3}}{\bar{R}^{4,68}} + 490 \text{ при } 0,05 < \bar{R} < 0,068 \\ \frac{4,156 \cdot 10^3}{\bar{R}^{1,7}} \text{ при } 0,068 < \bar{R} \leq 0,31 \\ \frac{4960}{\bar{R}} + \frac{974}{\bar{R}^2} + \frac{146}{\bar{R}^3} \text{ при } 0,31 \leq \bar{R} \end{cases}.$$

Методика оценки последствий аварийных взрывов ТВС. Руководство по безопасности «Методика оценки последствий аварийных взрывов топливно-воздушной смеси», утверждена приказом Ростехнадзором от 31 марта 2016 г. № 137.

Методика позволяет учитывать при расчете энергетические характеристики газопаровоздушных смесей, связывая последствия взрыва газопарового облака с конкретным потенциально опасным веществом, провести приближенную оценку различных параметров воздушной ударной волны и определить вероятные степени поражения людей и повреждений зданий при авариях с взрывами ТВС.

Методика рекомендуется для использования:

- при определении масштабов последствий аварийных взрывов ТВС;
- при разработке и экспертизе деклараций безопасности опасных производственных объектов.

Основными структурными элементами алгоритма расчетов являются:

- определение массы горючего вещества, содержащегося в облаке;
- определение эффективного энергозапаса ТВС;
- определение ожидаемого режима взрывного превращения ТВС;
- расчет максимального избыточного давления и импульса фазы сжатия воздушных ударных волн для различных режимов;
- определение дополнительных характеристик взрывной нагрузки;
- оценка поражающего воздействия взрыва ТВС.

Для вычисления параметров воздушной ударной волны на заданном расстоянии R от центра облака при детонации облака ТВС предварительно рассчитывается соответствующее безразмерное расстояние по формуле:

$$R_x = \frac{R}{\left(\frac{E}{P_0}\right)^{\frac{1}{3}}},$$

где P_0 – атмосферное давление, Па.

Избыточное давление на фронте воздушной ударной волны ΔP_Φ , (Па) вычисляется по формуле:

$$\Delta P_\Phi = \begin{cases} 1800 & \text{при } R < 0,2 \\ 100 \cdot P_x \cdot P_{01} & \text{при } R \geq 0,2 \end{cases},$$

где P_{01} – атмосферное давление, атм.

В случае дефлаграционного взрывного превращения облака ТВС к параметрам, влияющим на величины избыточного давления и импульса положительной фазы, добавляется скорость видимого фронта пламени V_r , которая определяется по формуле:

$$V_r = k \cdot M_r^{\frac{1}{6}},$$

где k – константа, равная 43, и степень расширения продуктов сгорания σ .

Для газовых смесей принимается $\sigma = 7$.

Безразмерное давление P_{x1} определяется по формуле:

$$P_{x1} = \left(\frac{V_r}{C_0}\right)^2 \cdot \left(\frac{\sigma - 1}{\sigma}\right) \cdot \left(\frac{0,83}{R_x} - \frac{0,14}{R_x^2}\right),$$

где C_0 – скорость звука в воздухе, равная 340 м/с.

Избыточное давление на фронте воздушной ударной волны ΔP_Φ , (Па), вычисляется по формуле:

$$\Delta P_\Phi = \begin{cases} P_a \cdot \left(\frac{V_r}{C_0}\right)^2 \cdot \left(\frac{\sigma - 1}{\sigma}\right) \cdot \left(\frac{0,83}{R_{кр}} - \frac{0,14}{R_{кр}^2}\right) & \text{при } R < R_{кр} = 0,34 \\ P_a \cdot P_{x1} \cdot P_0 & \text{при } R \geq R_{кр} \end{cases},$$

где P_a – атмосферное давление, кПа.

На основе анализа методов для оценки зон поражения при возникновении взрывов ТВС можно сделать вывод о том, что методика оценки последствий аварийных взрывов ТВС, утвержденная приказом Ростехнадзором от 31 марта 2016 г. № 137 для расчетов оценки воздействия поражающих факторов учитывает большее количество факторов, чем другие рассмотренные методики.

Для того чтобы произошел взрыв облака необходимо не только облако ТВС, но еще источник зажигания. В Российском законодательстве существует единственная методика, позволяющая определить вероятность воспламенения облака с учетом распределения источников зажигания, утвержденная Ростехнадзором от 17 сентября 2015 г. № 366.

Условная вероятность воспламенения аварийных выбросов взрывопожароопасных веществ, при наличии периодически действующих источников зажигания рассчитывается по формуле:

$$P_{И} = 1 - Q(\tau),$$

где $Q(\tau)$ – вероятность незажигания облака от источников Ик, натуральный логарифм который рассчитывается как:

$$\ln Q(\tau) = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J F_{ih} \cdot \mu_j \cdot \left[(1 - a_j \cdot p_j) \cdot e^{-\lambda_j p_j d_{ih}} - 1 \right],$$

где: i – номер элементарной площадки в расчетной области; $j = 1, J$ – номер источника воспламенения на элементарной площадке; F_{ih} – площадь i -й элементарной площадки, га; μ_j – плотность распределения источников зажигания, шт./га; a_j – доля времени активности j -го источника зажигания.

Результаты исследования и их обсуждение

На основе представленных методик был разработан программный продукт, который позволяет анализировать объекты с различным расположением источников воспламенения и учитывать режим работы этих источников исходя из методики. Результатом работы является файл, в котором заданная карта разделена на элементарные площадки, в которых посчитана условная вероятность воспламенения облака ТВС с учетом неоднородности распределения источников зажигания. Для наглядности изобразим две разные карты в разных режимах работы оборудования.

Указанные источники воспламенения и их координаты (Карта 1) представлены на рис. 2.

map_1

1	Объект автостоянки	1	1	5	5
3	Бойлерная 1	4	4	10	3
4	Огонь	15	15	3	6

Рис. 2. Координаты объектов на карте 1

Случай 1 представлен на рис. 3. Автостоянка – курение. Открытое пламя – непрерывного действия внутри и вне здания. Бойлерная.

Случай 1 представлен на рис. 6. Дорога – часы пик. Пламя 1 – непрерывного действия внутри и вне здания. Производственные зоны – среднее оборудование. Бойлерная. Пламя 2 – непрерывного действия внутри и вне здания. Автостоянка – курение.

probabilities_2_1

1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
0	0	0	0	0	0	0,6655	0,6655	0,6655	0,6655	0,6655
0	0	0	0	0	0	0,6655	0,6655	0,6655	0,6655	0,6655
0	0	0	0	0	0	0,6655	0,6655	0,6655	0,6655	0,6655
1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Рис. 6. Распределение условных вероятностей воспламенения облака ТВС с учетом режима работы источников для 1 случая

Случай 2 представлен на рис. 7. Дорога – другие часы. Пламя 1 – непрерывного действия внутри и вне здания. Производственные зоны – Среднее оборудование. Бойлерная. Пламя 2 – редкого действия внутри и вне здания. Автостоянка – другие часы.

probabilities_2_2

1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
0	0	0	0	0	0	0,4478	0,4478	0,4478	0,4478	0,4478
0	0	0	0	0	0	0,4478	0,4478	0,4478	0,4478	0,4478
0	0	0	0	0	0	0,4478	0,4478	0,4478	0,4478	0,4478
1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Рис. 7. Распределение условных вероятностей воспламенения облака ТВС с учетом режима работы источников для 2 случая

Заключение

В Российском законодательстве существует методика оценки риска аварий на технологических трубопроводах, связанных с перемещением взрывопожароопасных жидкостей, утвержденная Ростехнадзором, но которая не пользуется должным вниманием, поскольку сложна для понимания, однако существует возможность ее упростить и адаптировать путем использования программных модулей для выполнения автоматизированных расчётов.

Так, на сегодняшний день уже написаны два программных модуля, позволяющих строить карты полей распределения потенциального риска для аварий, связанных с образованием ТВС, и наносить на них метки с вероятностью наступления негативного события, которая позволяет проводить оценку поля вероятности поражения при взрыве ТВС с учётом неоднородности распределения источников воспламенения облака ТВС для участков транспортировки опасных веществ. После реализации программного модуля, позволяющего компилировать получаемые результаты из других модулей и наносить данные поля на карты реальных объектов использование данной методики, станет доступнее для

большого числа лиц, занимающихся обеспечением промышленной безопасности, в связи с ее автоматизацией. Специалисту будет достаточно загрузить файл с планом местности, указать необходимые параметры и получить числовые и графические результаты. При данном усовершенствовании методика станет доступной большему кругу лиц, что приведет к положительному влиянию на промышленную безопасность при транспортировке ЛВЖ.

Список источников

1. Кирсанов А.А. Информационно-аналитическое и аппаратное обеспечение управления безопасностью автомобильных перевозок опасных грузов: дис. ... канд. техн. наук: М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2020.
2. Статистика автомобильных перевозок опасных грузов и происшествий / В.В. Сеницын [и др.] // Научный интернет-журнал «Технологии техносферной безопасности». 2018. Вып. 4 (80). С. 24–35.
3. Годовой отчет о деятельности федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору в 2020 г. URL: https://www.gosnadzor.ru/public/annual_reports/ (дата обращения: 04.01.2023).
4. Petruk R.V., Lunova O.V., Garkushevskiy V.S. Improvement of methodology of justification of safe routes for transportation of dangerous substances and cargo // Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu. 2021. № 5. P. 112–117. DOI: 10.33271/nvngu/2021-5/112.
5. Węczkowska S. The method of optimal route selection in road transport of dangerous goods. Paper presented at the Transportation Research Procedia. 2019. № 40. P. 1252–1259. DOI: 10.1016/j.trpro.2019.07.174.
6. Ma C., Hao W., Pan F. Road screening and distribution route multi-objective robust optimization for hazardous materials based on neural network and genetic algorithm // PLoS ONE. 2018. № 13 (6). DOI: 10.1371/journal.pone.0198931.
7. Бызов А.П. Промышленная и пожарная безопасность. Ч. 1: Промышленная безопасность: учеб. пособие. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2016.
8. Методика оценки последствий аварий на пожаро-, взрывоопасных объектах / О.В. Бодриков [и др.]. М.: МЧС России, 1994.
9. Ларионов В.И., Акатьев В.А., Александров А.А. Риск аварий на автозаправочных станциях // Безопасность труда в промышленности. 2004. № 2. С. 44–48.
10. Мартынюк В.Ф. Риск аварий на автозаправочных станциях // Безопасность труда в промышленности. 2004. № 11. С. 42–49.
11. Методика определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах: приказ МЧС России от 10 июля 2009 г. № 404. Доступ из информ.-правового портала «Гарант».

Информация о статье: статья поступила в редакцию: 02.04.2023; принята к публикации: 10.04.2023

Информация об авторах:

Усатенко Ирина Георгиевна, магистр Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого (195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29), e-mail: irina_usatenko@mail.ru

Бызов Антон Прокопьевич, доцент кафедры безопасности жизнедеятельности Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого (195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29), кандидат технических наук, e-mail: byzov_ar@spbstu.ru