

Научная статья

УДК 614.8; DOI: 10.61260/2218-13X-2024-4-30-41

МЕТОДЫ ОЦЕНКИ И СПОСОБЫ СНИЖЕНИЯ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ПОЖАРНОГО РИСКА ПРИ ТРАНСПОРТИРОВАНИИ ПОЖАРОВЗРЫВООПАСНЫХ ВЕЩЕСТВ АВТОМОБИЛЬНЫМ ТРАНСПОРТОМ

✉ **Бызов Антон Прокопьевич;**

Попова Яна Андреевна.

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,

Санкт-Петербург, Россия

✉ byzov_ap@spbstu.ru

Аннотация. Рассматриваются подходы к оценке индивидуального пожарного риска для водителя автоцистерны и для людей, находящихся в жилой зоне вблизи автодороги, при транспортировании пожаровзрывоопасных веществ автомобильным транспортом. Особое внимание уделяется практическим аспектам снижения риска возникновения пожара или взрыва при транспортировке опасных грузов. При выборе мероприятий по снижению опасности перевозки авторы предлагают учитывать влияние факторов по всем четырем направлениям «водитель-автомобиль-дорога-среда» одновременно, так как применение балльно-факторного подхода дает возможность определять способы снижения пожарного риска при транспортировании пожаровзрывоопасных веществ автомобильным транспортом путем оценки его изменения с учетом различного влияния системы факторов. Результаты исследования могут быть полезны для специалистов в области пожарной безопасности, а также для организаций, занимающихся транспортировкой пожаровзрывоопасных веществ.

Ключевые слова: показатели риска, автоцистерна, водитель, индивидуальный пожарный риск, авария, пожаровзрывоопасное вещество, безопасность

Для цитирования: Бызов А.П., Попова Я.А. Методы оценки и способы снижения индивидуального пожарного риска при транспортировании пожаровзрывоопасных веществ автомобильным транспортом // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2024. № 4. С. 30–41. DOI: 10.61260/2218-13X-2024-4-30-41.

Scientific article

ASSESSMENT METHODS AND WAYS TO REDUCE INDIVIDUAL FIRE RISK DURING TRANSPORTATION OF FIRE AND EXPLOSIVE SUBSTANCES BY ROAD

✉ **Byzov Anton P.;**

Popova Yana A.

Peter the Great Saint-Petersburg polytechnic university, Saint-Petersburg, Russia

✉ byzov_ap@spbstu.ru

Abstract. The article discusses approaches to assessing individual fire risk for a tanker truck driver and for people in a residential area near a highway when transporting fire and explosive substances by road. Special attention is paid to the practical aspects of reducing the risk of fire or explosion during the transportation of dangerous goods. When choosing measures to reduce the risk of transportation, the authors propose to take into account the influence of factors in all four directions of «driver-car-road-environment» simultaneously, since the use of a point-factor approach makes it possible to determine ways to reduce fire risk when transporting fire and explosive substances by road by assessing its changes taking into account the various effects of a system of factors. The results of the study can be useful for specialists in the field of fire safety, as well as for organizations involved in the transportation of fire and explosive substances.

Keywords: risk indicators, tanker truck, driver, individual fire risk, accident, fire and explosive substance, safety

For citation: Byzov A.P., Popova Ya.A. Assessment methods and ways to reduce individual fire risk during transportation of fire and explosive substances by road // Scientific and analytical journal «Vestnik Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia». 2024. № 4. P. 30–41. DOI: 10.61260/2218-13X-2024-4-30-41.

Введение

В случае дорожно-транспортного происшествия или производственной аварии при участии пожаровзрывоопасного вещества, как правило, наносится значительный ущерб. Если говорить о материальном ущербе, его размер может быть выражен в денежном эквиваленте и возмещён соответствующими финансовыми средствами. Однако потеря жизни является невосполнимой утратой.

Перевозка опасных грузов представляет собой особый вид транспортировки, поскольку несогласованность действий или небрежность при её осуществлении могут привести к опасным последствиям не только для непосредственных участников транспортировки, но и для широкого круга лиц, находящихся в жилой зоне.

Для выявления зон, которые представляют повышенную опасность для людей, проводится анализ показателей пожарного риска при транспортировке опасных веществ автомобильным транспортом. На основе данных о распределении потенциального пожарного риска можно определить наиболее опасные объекты в жилой зоне рядом с автомобильной дорогой [1, 2].

Вероятность гибели людей от опасных факторов пожара на дороге выражается числовыми значениями индивидуального и социального пожарных рисков. В качестве промежуточного показателя используется потенциальный риск. Потенциальный риск рассчитывается как сумма вкладов от всех последовательных элементарных участков дороги, по которым следует автоцистерна [3].

В соответствии с действующим законодательством и нормативными актами, величина индивидуального пожарного риска для населения, проживающего в жилой зоне, не должна превышать 10^{-8} . Это достигается путём соблюдения правил пожарной безопасности, проведения регулярных проверок и технического обслуживания транспортных средств, внедрения новых способов снижения пожарного риска, а также обучения персонала правилам безопасного обращения с опасными грузами.

Методы исследования

Цель исследования – на основе требований пожарной безопасности и существующих подходов к оценке пожарного риска разработать метод оценки индивидуального пожарного риска для водителя и населения при транспортировке пожаровзрывоопасных веществ автотранспортом, а также предложить способы его снижения.

Оценка индивидуального пожарного риска базируется на анализе потенциальных опасностей и вероятности воздействия на человека опасных факторов пожара: пламени, теплового излучения, токсичных продуктов горения и дыма. Этот процесс включает детальное изучение объекта, оценку возможных сценариев развития пожара, расчёт частоты возникновения пожара и последствий для здоровья людей, находящихся рядом с объектом [4, 5].

В данном исследовании применен метод математического моделирования для оценки суммарного формируемого поля потенциального риска при движении автоцистерны в результате возможного возникновения различных сценариев. Балльно-факторный подход дает возможность определять способы снижения пожарного риска при транспортировании пожаровзрывоопасных веществ автомобильным транспортом путем оценки его изменения

с учетом различного влияния системы факторов. Постановка задачи оптимизации позволяет осуществлять снижение пожарного риска без дополнительных финансовых вложений путем оптимизации маршрутов транспортирования опасных веществ по показателям риска.

Результаты исследования и их обсуждение

Одним из ключевых понятий в сфере пожарной безопасности является индивидуальный пожарный риск, определяемый как вероятность гибели человека от опасных факторов пожара в течение определённого времени. Оценка индивидуального пожарного риска позволяет установить, какова вероятность возникновения пожароопасной ситуации и каковы последствия для людей, что способствует принятию мер по предотвращению пожаров и обеспечению безопасности.

Индивидуальный пожарный риск водителя автоцистерны определяется множеством факторов, среди которых техническое состояние транспортного средства, условия перевозки опасных грузов, соблюдение правил безопасности и др.

Для определения величины индивидуального пожарного риска необходимо провести детальный анализ всех потенциальных опасностей, связанных с транспортировкой пожаровзрывоопасных веществ, а также оценить вероятность возникновения пожара или взрыва в процессе перевозки.

Величина индивидуального риска $R_{ив}$ (год⁻¹) для водителя автоцистерны по поездкам определяется по формуле:

$$R_{ив} = Q_{a_ПФ} ,$$

где $Q_{a_ПФ}$ – вероятность аварии с возникновением поражающих факторов:

$$Q_{a_ПФ} = Q_{a.v.v} \cdot P_y ,$$

где $P_y = 0,392$ – суммарная условная вероятность возникновения поражающих факторов, определяемая с использованием дерева событий при разгерметизации автоцистерны, перевозящей пожаровзрывоопасное вещество, представленного на рис. 1 [3]. Вероятность поражения водителя при возникновении поражающих факторов принимается равной единице в силу близкого нахождения водителя к источнику опасности – автоцистерне.

		Мгновенное воспламенение	Воспламенение с задержкой	Конечное событие	Вероятность
Разгерметизация оборудования Р	Да 0,2			Пожар пролива	0,2 · Р
				«Пожар- вспышка» ГПВС	0,0768 · Р
	Нет 0,8		Да 0,24	Взрыв ГПВС	0,1152 · Р
			Нет 0,76	Пролив ОВ, загазованность	0,608 · Р

Рис. 1. Дерево событий при разгерметизации автоцистерны, перевозящей пожаровзрывоопасное вещество (нефть):
ГПВС – взрывы газопаровоздушных смесей; ОВ – опасное вещество

Частота реализации аварии с разгерметизацией автоцистерны с конкретным водителем v определяется по формуле:

$$Q_{a.v.v} = \sum_{jp} Q_{a.v.jp_v},$$

где частота реализации аварии с разгерметизацией автоцистерны с конкретным водителем v при совершении поездки jp :

$$Q_{a.v.jp_v} = \begin{cases} Q_{a.d.jp}, & \text{если поездку } jp \text{ совершает водитель } v \\ 0, & \text{если поездку } jp \text{ совершает не водитель } v \end{cases}.$$

Частота аварий на автомобильной дороге во время поездки jp определяется суммой вероятностей по отдельным элементарным участкам поездки [6]:

$$Q_{a.d.jp} = \sum_{ip=1}^{m_{jp}-1} Q_{a.d.ip_{jp}},$$

где $Q_{a.d.ip_{jp}}$ – частота аварии на автомобильной дороге на элементарном участке поездки jp , который находится между точками ip и $ip+1$ (рис. 2); m_{jp} – количество узловых точек на маршруте поездки jp .

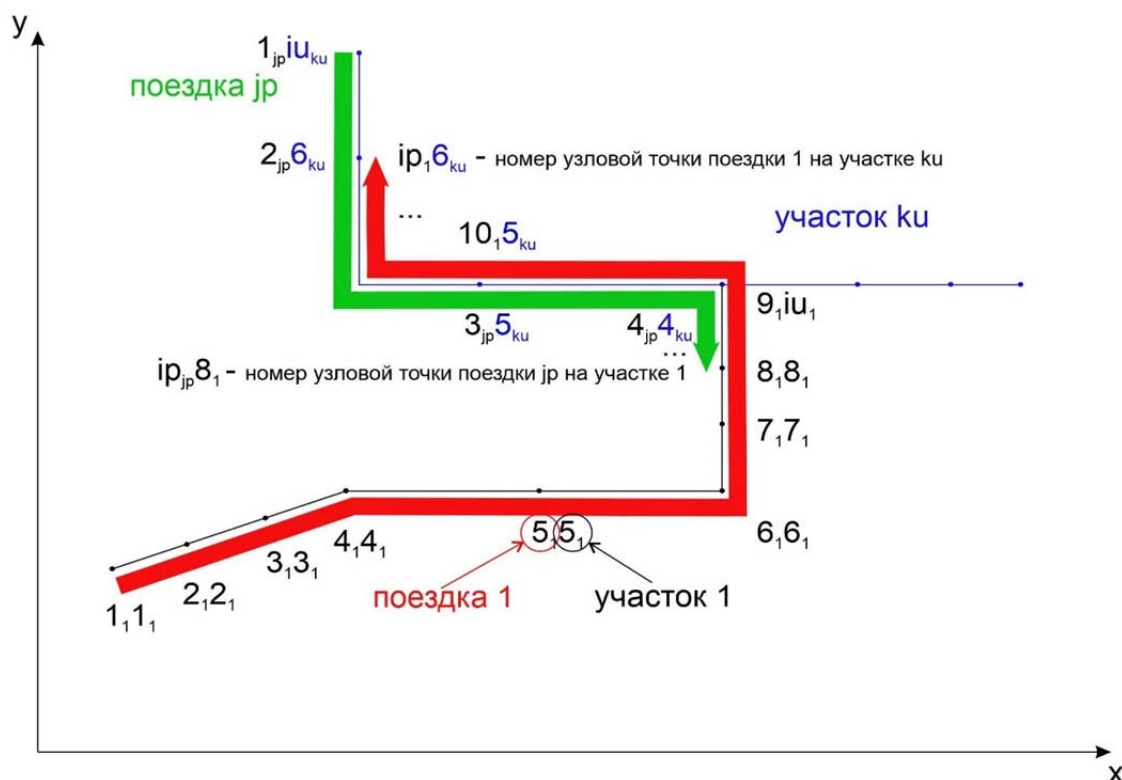


Рис. 2. Принцип обозначения узловых точек на маршруте поездки 1 и поездки jp

Для оценки частоты аварии на автомобильной дороге на элементарном участке поездки jp применен метод балльной оценки факторов влияния на уровень пожарного риска [7]:

$$Q_{a.д.іpjp} = Q_{cp} * \frac{B_{іpjp}}{B_{cp}} * L_{іpjp},$$

где Q_{cp} – среднестатистическая частота аварий, 1/(год·м); B_{cp} – балльная оценка среднестатистической поездки; $L_{іpjp}$ – длина участка поездки автоцистерны, м; $B_{іpjp}$ – балльная оценка участка поездки автоцистерны:

$$B_{іpjp} = \sum_{jb=1}^{JB} \sum_{ibjb=1}^{IBJB} \rho_{jb} * q_{ibjb} * B_{ibjb}.$$

Частота аварий на автоцистернах, перевозящих взрывопожароопасные жидкости:

$$Q_{cp} = Q_a = \frac{N_a}{T_a \cdot L_a},$$

где N_a – общее число аварий на автоцистернах, перевозящих взрывопожароопасные жидкости, связанных с разгерметизацией цистерны, за период времени T_a ; L_a – средняя суммарная длина автодорог, которую преодолевают автоцистерны, перевозящие взрывопожароопасные жидкости в год:

$$L_a = L_{cp} \cdot TC_a,$$

где L_{cp} – средний пробег в год одной автоцистерны; TC_a – среднее количество автоцистерн, перевозящих взрывопожароопасные жидкости за период анализа статистики T_a .

С учетом консервативного подхода для людей, находящихся в селитебной зоне вблизи автодороги, индивидуальный пожарный риск принимается равным величине потенциального риска в этой зоне с учетом доли времени присутствия людей в зданиях, сооружениях и строениях вблизи автодороги, составляющего 1 [8].

$$R_{ин} = R_{п.т}(x_n, y_n) \cdot 1,$$

где $R_{п.т}(x_n, y_n)$ – потенциальный риск в точке (x_n, y_n) .

Пусть население проживает вблизи участка $іu_{ku}$ с начальной узловой точкой $іu_{ku}$ и конечной узловой точкой $(іu + 1)_{ku}$ (рис. 3).

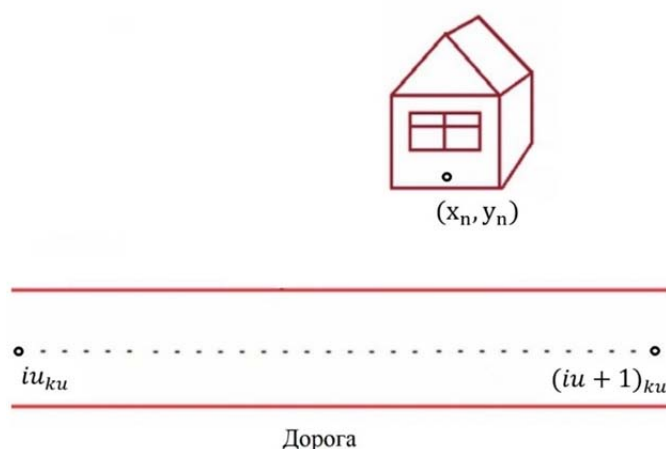


Рис. 3. Расположение населения относительно участка дороги

$$R_{п.т}(x_n, y_n) = \sum_{jp=1}^{JP} \sum_{ipjp=1}^{IPJP} \begin{cases} R_{п.т}(x_n, y_n)_{ipjp}, & \text{если поездка } ip \text{ реализуется на участке } iu_{ku} \\ 0, & \text{если поездка } ip \text{ не реализуется на участке } iu_{ku} \end{cases}.$$

Выражение для оценки потенциального риска в произвольной точке a будет иметь вид [3]:

$$R_{п.т}(L_x, h) = \sum_{i=1}^n \int_0^L \frac{1}{V} \cdot \frac{\gamma}{T_{год}} \cdot Q_{a.д.} \cdot Q_{ipjp} \cdot Q_{di} \left[\sqrt{(L_x - L_x')^2 + h^2} \right] dL_x'.$$

Для построения полей потенциального риска для участков транспортирования пожаровзрывоопасных веществ автоцистерной необходимо перейти от фиксированной системы отсчета (L_x, h) к произвольной системе отсчета (x, y) (рис. 4). Элементарный участок поездки длиной L будет иметь координаты начала – (x_1, y_1) и конца – (x_2, y_2) [9].

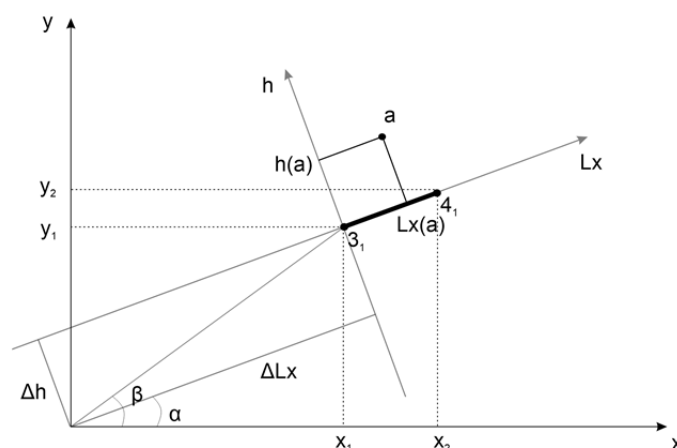


Рис. 4. Расположение элементарного участка поездки в произвольной системе координат

$$\alpha = \arctg \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1};$$

$$\beta = \arctg \frac{y_1}{x_1};$$

$$\Delta L_x = \sqrt{x_1^2 + y_1^2} \cdot \cos(\beta - \alpha);$$

$$\Delta h = \sqrt{x_1^2 + y_1^2} \cdot \sin(\beta - \alpha);$$

$$L_x(x, y) = \sqrt{x^2 + y^2} \cdot \cos\left(\arctg \frac{y}{x} - \alpha\right) - \Delta L_x;$$

$$h(x, y) = \sqrt{x^2 + y^2} \cdot \sin\left(\arctg \frac{y}{x} - \alpha\right) - \Delta h,$$

при $x_1, x_2, y_1, y_2 > 0, x_1 < x_2$.

Выражения действительны при расположении всего участка внутри первого квадранта координатной сетки, а также выбора начальной и конечной точки транспортирования исходя из условия $x_1 < x_2$.

Потенциальный риск в точке нахождения населения (x_n, y_n) для поездки ip_{jp} определяется в соответствии с выражением для произвольно ориентированного участка:

$$R_{п.т}(x, y)_{ip_{jp}} = \sum_{i=1}^n \int_0^L \frac{1}{V} \cdot \frac{\gamma}{T_{год}} \cdot Q_{а.д. ip_{jp}} \cdot Q_{i ip_{jp}} \left[\sqrt{h^2(x, y) + (L_x(x, y) - L_x')^2} \right] dL_x'.$$

При определении совпадения элементарного участка поездки и элементарного участка автодороги необходимо учитывать случай разнонаправленности нумерации участков автодороги и участков поездок.

Кроме того, бывают случаи расположения мест проживания населения вблизи нескольких участков автодорог, например перекрёстков, поворотов или в случае густой сети автодорог, например в населённых пунктах. В этом случае необходимо осуществлять оценку потенциального риска с учетом возможности возникновения пожароопасных ситуаций на любом из элементарных участков, попадающих в «зону влияния». Под «зоной влияния» будем понимать область пространства вокруг реципиентов расчета индивидуального пожарного риска (люди, находящиеся в селитебной зоне вблизи автодорог), в которую попадают участки автодороги, аварии на которых способны причинить вред для указанных реципиентов. Область пространства может быть определена как круг радиусом, соответствующим размеру наибольшей зоны действия поражающих факторов возможных сценариев.

Тогда выражение для потенциального риска в точке нахождения населения будет определяться путем суммирования вкладов в потенциальный риск от всех элементарных участков поездок ip_{jp} , которые попадают в пределы указанной «зоны влияния»:

$$R_{п.т}(x_n, y_n) = \sum_{jp=1}^{JP} \sum_{ip_{jp}=1}^{IP_{JP}} \begin{cases} R_{п.т}(x_n, y_n)_{ip_{jp}}, & \text{если } ip_{jp} \text{ входит в «зону влияния»} \\ 0, & \text{если } ip_{jp} \text{ не входит в «зону влияния»} \end{cases}.$$

Применение балльно-факторного подхода дает возможность определять способы снижения пожарного риска при транспортировании пожаровзрывоопасных веществ автомобильным транспортом путем оценки его изменения с учетом различного влияния системы факторов. Под способами снижения пожарного риска подразумевается комплекс мер, которые используются при разработке мероприятий по уменьшению риска возникновения пожара.

Первая группа предлагаемых способов позволяет определить наиболее эффективные направления управленческого воздействия для снижения риска возгорания в рамках принятой системы факторов влияния на вероятность реализации иницирующего пожароопасные ситуации события (аварийной разгерметизации автоцистерны).

При выборе мероприятий по снижению опасности перевозки необходимо учитывать влияние факторов по всем четырем направлениям «водитель-автомобиль-дорога-среда движения» одновременно. Так как при рассмотрении влияния отдельно взятой группы факторов перевес всегда будет в сторону «водителя». Анализ чувствительности позволяет выявить степень изменения частоты реализации иницирующего пожароопасные ситуации события (аварийной разгерметизации автоцистерны) в зависимости от рассмотрения минимальной или максимальной балльной оценки факторов. Для этого необходимо произвести последовательное изменение влияния факторов и расчет балльных оценок при новых условиях.

Для определения чувствительности частоты аварии на участке поездки к изменениям различных факторов поочередно меняем каждую балльную оценку до 0 и пересчитываем заново, таким образом получая матрицу значений. Это балльные оценки участка поездки при изменении каждой входящей до 0.

$$B_{ibjb}^{|ib'jb'|} \rightarrow 0.$$

В выражении (1) представлен пример формирования матрицы значений балльных оценок с учетом «обнуления» балльной оценки фактора (2,2).

$$B_{ibjb}^{[22]} \leftrightarrow \begin{matrix} B_{11} & B_{21} & B_{31} & B_{41} \\ B_{12} & \mathbf{0} & B_{32} & B_{42} \\ B_{13} & B_{23} & B_{33} & B_{43} \\ B_{14} & B_{24} & B_{34} & B_{44} \\ B_{15} & & B_{35} & B_{45} \\ & & B_{36} & \\ & & B_{37} & \\ & & B_{38} & \end{matrix}. \quad (1)$$

Таким образом, можно определить минимальное значение $\min_{|ib'jb'|} Q \text{ а. д. } ip_{jp}$, которое соответствует фактору (ib, jb) :

$$\min_{|ib'jb'|} Q \text{ а. д. } ip_{jp} (B_{ibjb}^{|ib'jb'|}).$$

Данный подход позволяет выявить фактор, при минимизации которого (то есть доведении условий перевозок до наилучших с точки зрения обеспечения безопасности по фактору (ib, jb)) возможно добиться минимизации частоты реализации инициирующего пожароопасные ситуации события (аварийной разгерметизации автоцистерны).

Второй подход – изменяем балльную оценку до 10, моделируя условия максимально неблагоприятного влияния фактора. В таком случае можно определить максимальное значение $\max_{|ib'jb'|} Q \text{ а. д. } ip_{jp}$ и соответствующий фактор (ib, jb) , который оказывает максимально негативное влияние на состояние безопасности перевозок и приводит к максимальному повышению частоты реализации инициирующего пожароопасные ситуации события (аварийной разгерметизации автоцистерны).

$$B_{ibjb}^{|ib'jb'|} \rightarrow 10;$$

$$B_{ibjb}^{[22]} \leftrightarrow \begin{matrix} B_{11} & B_{21} & B_{31} & B_{41} \\ B_{12} & \mathbf{10} & B_{32} & B_{42} \\ B_{13} & B_{23} & B_{33} & B_{43} \\ B_{14} & B_{24} & B_{34} & B_{44} \\ B_{15} & & B_{35} & B_{45} \\ & & B_{36} & \\ & & B_{37} & \\ & & B_{38} & \end{matrix};$$

$$\max_{|ib'jb'|} Q \text{ а. д. } ip_{jp} (B_{ibjb}^{|ib'jb'|}).$$

Таким образом, определяются минимумы и максимумы по всем четырем группам факторов: «водитель», «автомобиль», «дорога» и «среда движения». Выявляются факторы, на которые необходимо направить управленческое воздействие (финансовое или не финансовое) для снижения пожарного риска при транспортировании пожаровзрывоопасных веществ автомобильным транспортом [10, 11].

Вторая предлагаемая группа способов позволяет осуществлять снижение пожарного риска без дополнительных финансовых вложений путем оптимизации маршрутов транспортирования опасных веществ по показателям риска:

1. Частота реализации инициирующего пожароопасные ситуации события (аварийной разгерметизации автоцистерны) для конкретной поездки.
2. Индивидуальный пожарный риск для водителя v .
3. Индивидуальный пожарный риск для людей, находящихся в селитебной зоне вблизи автодороги.

Ниже представлено описание порядка формирования целевой функции оптимизационной задачи при выборе наименее опасного маршрута по частоте реализации инициирующего пожароопасные ситуации события (аварийной разгерметизации автоцистерны).

Формализация задачи оптимизации заключается в определении переменных, допустимого множества и целевой функции. Переменными являются параметры, значения которых может выбирать лицо, принимающее решение, по своему усмотрению. Как правило, таких переменных несколько (n штук) и, таким образом, набор переменных представляет собой n -мерный вектор $x = x = (x_1, \dots, x_n)$ [12]. В рассматриваемом случае это возможности конкретной организации по назначению водителей (v) на рейс и варианты альтернативных маршрутов поездки (np_{jp}).

Допустимые значения вектора x ограничены условиями реальной задачи, которые представлены в форме перебора фиксированных вариантов:

$$xv = 1 \dots nxv, v = 1 \dots nv, np_{jp} = 1 \dots mnp_{jp},$$

xv – номер варианта распределения водителей v ; v – номер водителя на предприятии; np_{jp} – номер альтернативного варианта маршрута поездки jp , $np_{jp} = 1 \dots np_{jp_m}$.

Целевой функцией является суммарная частота пожароопасных ситуаций, связанных с разгерметизацией автоцистерны, при реализации плана поездок с распределением водителей xv по вариантам альтернативных маршрутов поездок $np_1, \dots, np_{jp}$:

$$F(xv, np_1, \dots, np_{jp}) = \sum_{jp} \sum_{ip=1}^{mjp-1} Q_{a.д. ip_{jp} v_{xv jp} np_{jp}} \rightarrow \min,$$

где $Q_{a.д. ip_{jp} v_{xv jp} np_{jp}}$ – частота пожароопасной ситуации, связанной с разгерметизацией автоцистерны, при совершении поездки jp водителем $v_{xv jp}$ в условиях распределения водителей xv по альтернативному маршруту поездки np_{jp} на элементарном участке поездки ip_{jp} .

Целевая функция формируется таким образом, чтобы лучшим решением (с позиции оперирующей стороны) соответствовали меньшие значения функции. Остальные желания оперирующей стороны в однокритериальных задачах записываются в виде упомянутых выше целевых ограничений.

В результате решения оптимизационной задачи из всех возможных значений переменных выбираются те, при которых целевая функция принимает наименьшие значения (в пределах альтернативных вариантов).

$$\left\{ \begin{array}{l} F(xv, np_1, \dots, np_{jp}) = \sum_{jp} \sum_{ip=1}^{mjp-1} Q_{a.д. ip jp} v_{xv jp} np_{jp} \rightarrow \min. \\ Q_{a.д. ip jp} v_{xv jp} np_{jp} = Q_{cp} * \frac{1}{B_{cp}} * L_{ip jp} np_{jp} * \\ * \sum_{jb=1}^{JB} \sum_{ib_{jb}=1}^{IB_{JB}} \rho_{jb} * q_{ib_{jb}} * B_{ib_{jb} ip jp} v_{xv jp} np_{jp} \\ xv = 1 \dots nxv, np_{jp} = 1 \dots mnp_{jp} \end{array} \right. ,$$

где $B_{ib_{jb} ip jp} v_{xv jp} np_{jp}$ – балльная оценка фактора (ib, jb) для элементарного участка поездки ip_{jp} при совершении поездки jp водителем $v_{xv jp}$ в условиях распределения водителей xv по альтернативному маршруту поездки np_{jp} .

В результате решения задачи оптимизации необходимо проанализировать полученные результаты и определить такой вариант выбора водителя и оптимального маршрута, который имеет наименьшую частоту реализации иницирующих пожароопасные ситуации событий.

Заключение

В статье проведен анализ методов оценки пожарного риска и способов управления им при транспортировке пожаровзрывоопасных веществ автомобильным транспортом. Основное внимание уделяется методам оценки индивидуального риска для водителя автоцистерны и людей, находящихся в селитебной зоне вблизи автодороги, а также способы их снижения.

Предложенный метод расчёта пожарного риска учитывает различные технические, технологические, организационные факторы и факторы окружающей среды, которые влияют на показатели индивидуального пожарного риска во время каждой конкретной поездки автоцистерны. Кроме того, путём сложения вкладов в потенциальный риск от различных поездок можно определить зоны повышенной опасности вблизи дороги в условиях изменяющихся факторов транспортировки опасных грузов автотранспортом.

Предложен подход, учитывающий влияние факторов по четырём направлениям: «водитель-автомобиль-дорога-среда движения». Это позволяет определить наиболее эффективные способы снижения пожарного риска и обеспечить безопасность транспортировки опасных грузов. Формализована задача оптимизации, решение которой позволяет учесть различные факторы, влияющие на безопасность перевозки пожаровзрывоопасных веществ, и найти оптимальное решение.

Список источников

1. Гармышев В.В., Воронин С.В., Коваль В.В. Мониторинг и оценка индивидуального риска гибели людей в результате техносферных пожаров на территории Приморского края // Безопасность жизнедеятельности. 2022. №7. С. 51–55.
2. Mattos Maria Beatriz. Application of Oil Spill Environmental Sensitivity Analyses to Brazilian Road Networks. Paper presented at the SPE International Conference on Health, Safety and Environment in Oil and Gas Exploration and Production, Rio de Janeiro, Brazil, April 2010.
3. Бызов А.П., Ефремов С.В., Попова Я.А. Подход к оценке потенциального пожарного риска для участков транспортирования пожаровзрывоопасных веществ автомобильным транспортом // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. 2024. Т. 13. № 2 (66). С. 189–195. EDN TIXOQM.
4. Об утверждении Руководства по безопасности «Методические основы анализа опасностей и оценки риска аварий на опасных производственных объектах»: приказ Ростехнадзора от 3 нояб. 2022 г. № 387. Доступ из справ.-правового портала «Гарант».

5. Zhang B., Liu Y., Qiao S. A quantitative individual risk assessment method in process facilities with toxic gas release hazards: a combined scenario set and CFD approach // *Process safety progress*. 2019. T. 38. № 1. С. 52–60.

6. Бызов А.П., Попова Я.А. Предложения по совершенствованию порядка вычисления расчетных величин пожарного риска при транспортировании пожаровзрывоопасных веществ автомобильным транспортом // *Актуальные проблемы пожарной безопасности: материалы XXXVI Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 375-й годовщине образования пожарной охраны России*. М.: Всероссийский научно-исследовательский институт противопожарной обороны МЧС России, 2024. С. 640–646. EDN CWMTVS.

7. Попова Я.А., Кабалик М.В. Формирование балльной оценки факторов влияния дорожных условий на степень риска аварий при транспортировании пожаровзрывоопасных веществ автомобильным транспортом // *Актуальные вопросы обеспечения пожарной безопасности объектов различного назначения: сб. статей V Всерос. науч.-практ. конф.* Пенза: Пензенский гос. аграрный ун-т, 2024. С. 108–113. EDN GUKPSO.

8. Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах: приказ МЧС России от 10 июля 2009 г. № 404 (зарег. в Минюсте России 17 авг. 2009 г. № 14541). Доступ из справ.-правового портала «Гарант».

9. Бызов А.П., Ефремов С.В. Моделирование полей потенциального риска для линейных объектов // *Безопасность в техносфере*. 2011. № 6. С. 7–10. EDN OOMFMH.

10. Marques R.O., de Vasconcelos V. Risk Management // *VII Annual Scientific Initiation Seminar of the Nuclear Technology Development Center Abstract book*. 2004. С. 29.

11. Hemmatian B., Casal J., Planas E. Essential points in the emergency management in transport accidents which can lead to a bleve-fireball // *Chemical Engineering Transactions*. 2017. № 57. S. 439–444.

12. Рубчинский А.А. Методы и модели принятия управленческих решений: учебник и практикум для академического бакалавриата. М.: Изд-во Юрайт, 2019.

References

1. Garmyshev V.V., Voronin S.V., Koval' V.V. Monitoring i ocenka individual'nogo riska gibeli lyudej v rezul'tate tekhnosfernykh pozharov na territorii Primorskogo kraja // *Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti*. 2022. №7. S. 51–55.

2. Mattos Maria Beatriz. Application of Oil Spill Environmental Sensitivity Analyses to Brazilian Road Networks. Paper presented at the SPE International Conference on Health, Safety and Environment in Oil and Gas Exploration and Production, Rio de Janeiro, Brazil, April 2010.

3. Byzov A.P., Efremov S.V., Popova YA.A. Podkhod k ocenke potencial'nogo pozhnogo riska dlya uchastkov transportirovaniya pozharovzryvoopasnykh veshchestv avtomobil'nyim transportom // *XXI vek: itogi proshlogo i problemy nastoyashchego plyus*. 2024. T. 13. № 2 (66). S. 189–195. EDN TIXOQM.

4. Ob utverzhdenii Rukovodstva po bezopasnosti «Metodicheskie osnovy analiza opasnostej i ocenki riska avarij na opasnykh proizvodstvennykh ob"ektaKH»: приказ Ростехнадзора от 3 нояб. 2022 г. № 387. Доступ из справ.-правового портала «ГаранТ».

5. Zhang B., Liu Y., Qiao S. A quantitative individual risk assessment method in process facilities with toxic gas release hazards: a combined scenario set and CFD approach // *Process safety progress*. 2019. T. 38. № 1. S. 52–60.

6. Byzov A.P., Popova YA.A. Predlozheniya po sovershenstvovaniyu poryadka vychisleniya raschetnykh velichin pozhnogo riska pri transportirovanii pozharovzryvoopasnykh veshchestv avtomobil'nyim transportom // *Aktual'nye problemy pozharnoj bezopasnosti: materialy XXXVI Mezhdunar. науч.-практ. конф., posvyashch. 375-j godovshchine obrazovaniya pozharnoj okhrany Rossii*. М.: Vserossijskij nauchno-issledovatel'skij institut protivopozharnoj oborony MCHS Rossii, 2024. S. 640–646. EDN CWMTVS.

7. Popova Ya.A., Kabalik M.V. Formirovanie ball'noj ocenki faktorov vliyaniya dorozhnykh uslovij na stepen' riska avarij pri transportirovanii pozharovzryvoopasnykh veshchestv avtomobil'nym transportom // Aktual'nye voprosy obespecheniya pozharnoj bezopasnosti ob'ektov razlichnogo naznacheniya: sb. statej V Vseros. nauch.-prakt. konf. Penza: Penzenskij gos. agrarnyj un-t, 2024. S. 108–113. EDN GUKPSO.

8. Ob utverzhdenii metodiki opredeleniya raschetnykh velichin pozharnogo riska na proizvodstvennykh ob'ektakh: prikaz MCHS Rossii ot 10 iyulya 2009 g. № 404 (zareg. v Minyuste Rossii 17 avg. 2009 g. № 14541). Dostup iz sprav.-pravovogo portala «GaranT».

9. Byzov A.P., Efremov S.V. Modelirovanie polej potencial'nogo riska dlya linejnykh ob'ektov // Bezopasnost' v tekhnosfere. 2011. № 6. S. 7–10. EDN OOMFMH.

10. Marques R.O., de Vasconcelos V. Risk Management // VII Annual Scientific Initiation Seminar of the Nuclear Technology Development Center Abstract book. 2004. S. 29.

11. Hemmatian B., Casal J., Planas E. Essential points in the emergency management in transport accidents which can lead to a bleve-fireball // Chemical Engineering Transactions. 2017. № 57. S. 439–444.

12. Rubchinskij A.A. Metody i modeli prinyatiya upravlencheskikh reshenij: uchebnik i praktikum dlya akademicheskogo bakalavriata. M.: Izd-vo Yurajt, 2019.

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 07.11.2024; одобрена после рецензирования: 23.11.2024; принята к публикации: 25.11.2024

Information about the article:

The article was submitted to the editorial office: 07.11.2024; approved after review: 23.11.2024; accepted for publication: 25.11.2024

Сведения об авторах:

Бызов Антон Прокопьевич, доцент Высшей школы техносферной безопасности Инженерно-строительного института Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого (195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29), кандидат технических наук, доцент, e-mail: byzov_ap@spbstu.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8572-4697>

Попова Яна Андреевна, ассистент Высшей школы техносферной безопасности Инженерно-строительного института Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого (195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29), e-mail: penner_yaa@spbstu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7684-4192>

Information about authors:

Byzov Anton P., associate professor of the Higher school of technosphere safety of the civil Engineering institute Peter the Great Saint-Petersburg polytechnic university (195251, Saint-Petersburg, street Polytechnicheskaya, 29), candidate of technical sciences, associate professor, e-mail: byzov_ap@spbstu.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8572-4697>

Popova Yana A., assistant of the Higher school of technosphere safety of the civil Engineering institute Peter the Great Saint-Petersburg polytechnic university (195251, Saint-Petersburg, street Polytechnicheskaya, 29), e-mail: penner_yaa@spbstu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7684-4192>