

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ПОЖАРНЫХ РИСКОВ НА ТРАНСПОРТЕ

М.И. Архипов;

Д.В. Косенко;

М.А. Галишев, доктор технических наук, профессор;

Ю.Д. Моторыгин, доктор технических наук, профессор.

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России

Предложена методика расчета пожарного риска посредством логистической регрессии. В качестве управляющих параметров регрессии предлагается использовать фактор пожарного риска, представляющий собой отношение количества погибших (пострадавших) при пожарах различных категорий автотранспорта к количеству пожаров соответствующих категорий автотранспорта. Установлено, что наименьший пожарный риск наблюдается у городского электротранспорта (включая метрополитен). Средства железнодорожного транспорта по результатам анализа следует отнести к наиболее пожароопасным.

Ключевые слова: пожарный риск, транспорт, логистическая регрессия, стохастическое моделирование

METHOD OF CALCULATION OF FIRE RISKS ON TRANSPORT

M.I. Arhypov; D.V. Kosenko; M.A. Galishev; Yu.D. Motorygin.

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

In work the method of calculation of fire risk by means of logistic regression is offered. As operating parameters of regression it is offered to use the factor of the fire risk representing failure the relation of number of lost (victims) at fires of various categories of motor transport to the number of fires of the corresponding categories of motor transport. It is established that the smallest fire risk is observed at city electric transport (including the subway). Means of railway transport by results of the analysis should be carried to the most fire-dangerous.

Keywords: fire risk, transport, logistic regression, stochastic modeling

Существует много определений риска. Риск (R) – количественная характеристика опасности, определяемая частотой реализации опасностей в конкретный период времени. Количественно он выражается формулой:

$$R = \frac{n}{N},$$

где n – число случаев проявления опасностей; N – возможное число случаев проявления опасностей.

Таким образом, риск – сочетание вероятности и последствий наступления событий. Знание вероятности неблагоприятного события позволяет определить вероятность благоприятных событий по формуле:

$$P_+ = 1 - P_-.$$

Различают риск индивидуальный и коллективный. Индивидуальный риск характеризует опасность для отдельного человека. При расчете пожарных рисков в Российской Федерации относят число погибших при пожарах к общему населению страны. При расчете коллективного (группового, социального) риска в качестве возможного числа случаев проявления опасностей следует принимать тот или иной коллектив, определенную социальную или профессиональную группу людей.

Методические подходы к определению рисков установлены соответствующим ГОСТом [1]:

- прямая оценка на основе обработки данных;
- анализ модели, устанавливающей взаимосвязь вероятности с другими вероятностями;
- технический анализ.

По статистическим данным, опубликованным ВНИИПО [2–4], среднее количество пожаров по всем категориям транспорта за период с 2007–2011 гг. оставалось примерно на одном уровне. Наибольшая доля пожаров приходилась на легковые автомобили (более 75 % от общего количества пожаров транспорта) (рис. 1).

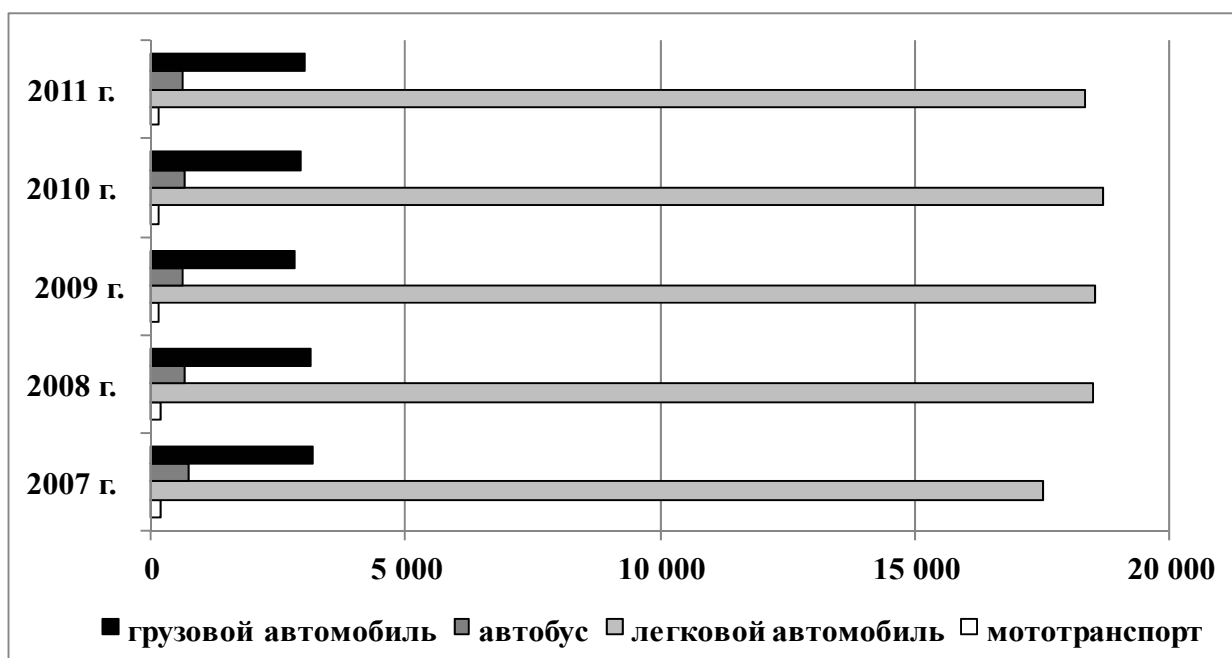


Рис. 1. Диаграмма количества пожаров автотранспорта в 2007–2011 гг. в Российской Федерации

Общее количество пожаров автотранспорта за рассматриваемые годы оставалось примерно на одном уровне. В то же время общее количество погибших по всем категориям автотранспорта резко снижается в 2009 г. (рис. 2).

Данное обстоятельство можно объяснить только изменением порядка представления статистических данных. Согласно Приказу МЧС России от 24 февраля 2009 г. № 92 [5], начиная с 2009 г., установлены новые критерии информации о чрезвычайных ситуациях, представляемой в МЧС России. По этому Приказу к чрезвычайным ситуациям следует относить только те транспортные аварии, в которых число погибших составляет два, и более человек, число пострадавших – четыре, и более человек, а прямой материальный ущерб составляет не менее 1500 МРОТ.

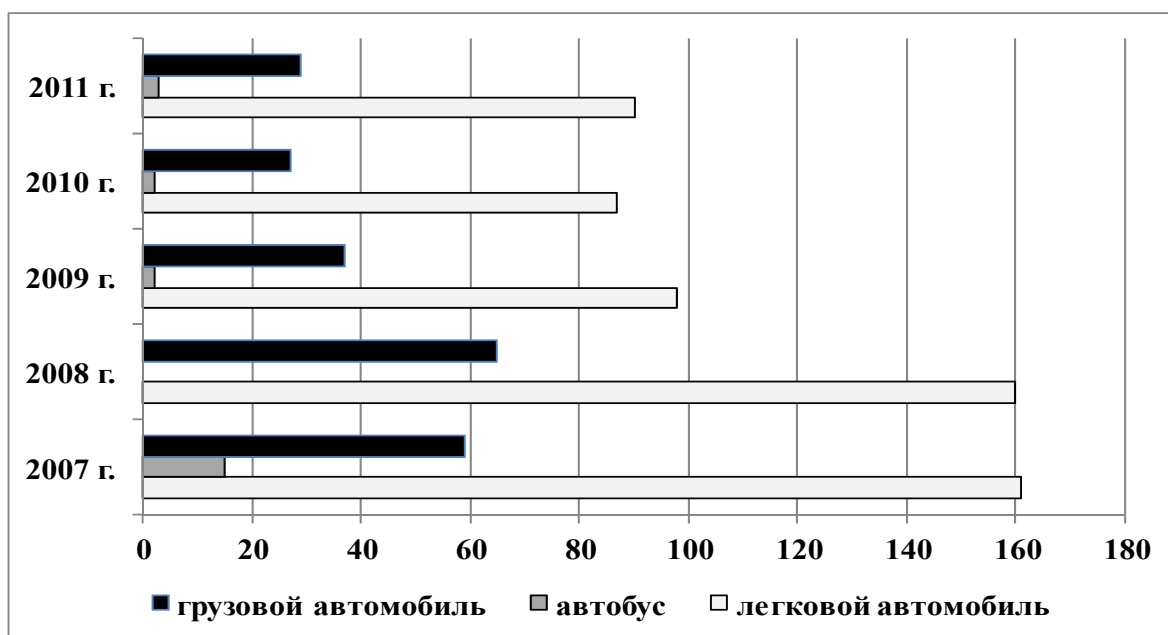


Рис. 2. Диаграмма количества погибших при пожарах различных категорий автотранспорта в Российской Федерации за 2007–2011 гг.

Исходя из представленных данных, можно рассчитать среднюю величину индивидуального пожарного риска по всем категориям транспортных средств в Российской Федерации за 2007–2011 гг. (рис. 3). Таким образом, количество погибших только при пожарах транспорта практически «обеспечивает» допустимую величину пожарного риска в целом по России, а в 2007 и 2008 гг. превышала таковую более чем в полтора раза.

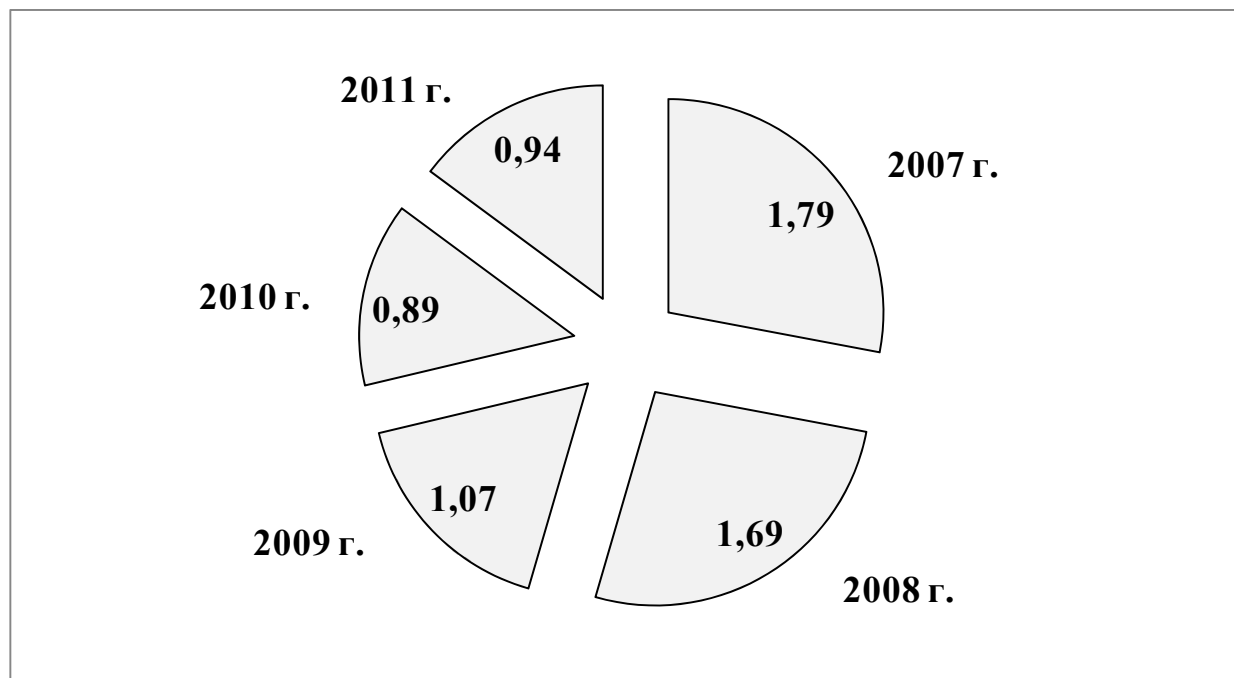


Рис. 3. Величина пожарного риска по всем категориям транспортных средств в Российской Федерации за 2007–2011 гг. (R·10⁶)

Кривую роста вероятности какого-либо события в данной работе предложено моделировать логистической функцией или сигмоидой – гладкой монотонной нелинейной S-образной функцией. Она описывает кривую роста вероятности некоего события, по мере

изменения управляющих параметров. При моделировании роста опасности (риска) управляющими параметрами являются факторы риска, которые могут принимать положительные и отрицательные значения.

Простейшая логистическая функция может быть описана формулой:

$$P(r) = \frac{1}{1 + e^{-r}},$$

где функцию $P(r)$ можно рассматривать как вероятность риска возникновения ЧС, а переменную r – как значения факторов риска, причем:

$$r = k_0 + k_1 r_1 + k_2 r_2 + \dots + k_n r_n,$$

где k_0 – фоновая величина фактора риска, то есть величина r , при нулевых значениях всех специфических факторов риска; k_1, k_2, \dots, k_n – некоторые коэффициенты, требующие подбора, обычно, методом наибольшего правдоподобия.

Начальная стадия роста логистической кривой соответствует экспоненциальной функции. Затем, по мере роста управляющих параметров функция проходит критическую точку, в которой происходит перегиб. Ясно, что перегиб функции наблюдается при $r=0$, при этом риск становится равным 0,5. С позиций теории перколяции эту точку можно считать порогом перколяции. Дальнейший рост осуществляется по обратной экспоненте, темп роста реализации опасностей замедляется, и в зрелом периоде практически останавливается.

В качестве достаточно стабильного фактора пожарного риска при эксплуатации автотранспортных средств может быть использовано отношение количества погибших (пострадавших) при пожарах различных категорий автотранспорта к количеству пожаров соответствующих категорий автотранспорта:

$$r_1 = \frac{n_1}{N_{\text{пож.}}} [\text{чел./1 пожар}],$$

где r_1 – фактор риска гибели при пожарах различных категорий транспортных средств; n_1 – количество погибших при пожарах соответствующих категорий транспортных средств; $N_{\text{пож.}}$ – количество пожаров соответствующих категорий транспортных средств.

Точно так же:

$$r_2 = \frac{n_2}{N_{\text{пож.}}} [\text{чел./1 пожар}],$$

где r_2 – фактор риска получения повреждений при пожарах различных категорий транспортных средств; n_2 – количество пострадавших при пожарах соответствующих категорий транспортных средств.

При необходимости можно увеличивать количество факторов риска по другим проявлениям опасности, например, по прямому материальному ущербу (r_3) и т.д. По существу предложенный фактор риска – это показатель того, какова вероятность гибели, травматизма или иных негативных последствий пожара, в случае, если пожар произошел на том или ином транспортном средстве.

Рассмотренные статистические факторы риска гибели (r_1) и риска получения повреждений (r_2) использованы в качестве управляющих параметров для оценки величины коллективного пожарного риска при построении логистической регрессии для пожаров различных категорий транспортных средств (рис. 4).

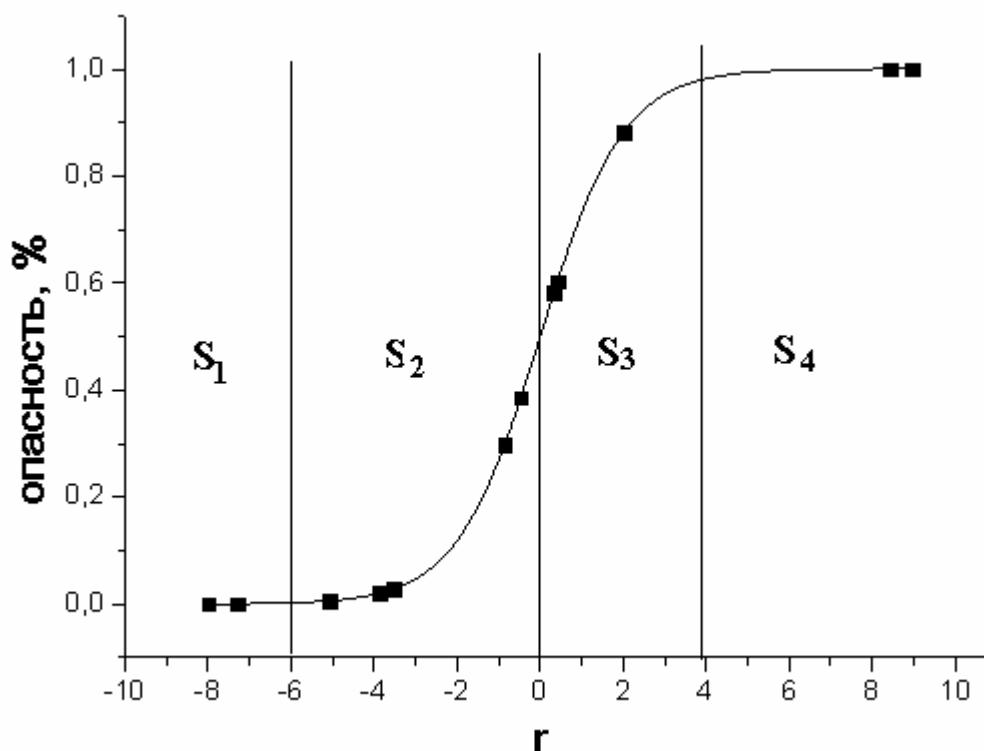


Рис. 4. Логистическая функция изменения частоты реализации пожарной опасности среди различных категорий транспортных средств, в среднем за 2007–2011 гг. в Российской Федерации

По величине значения логистической функции, то есть по частоте реализации пожарной опасности, все рассмотренные виды транспортных средств могут находиться в одном из четырех состояний. Первое состояние (S_1) характеризуется отсутствием какой-либо угрозы возникновения пожароопасной ситуации. Дополнительных мер противопожарного режима применять не требуется. Частота реализации опасности менее 0,001. В эту группу транспортных средств попадают городской электротранспорт, вагоны метро и дизель-электропоезд.

Второе состояние (S_2) характеризуется относительно невысоким пожарным риском ниже критического значения. Нарушения противопожарного режима не носят системного характера и могут быть устранены превентивными мерами. В данной группе в 2007–2011 гг. находились легковые автомобили, автобусы, мототранспортные средства, локомотивы.

В третьем состоянии (S_3) пожарный риск превышает критические значения. Мероприятия по устранению отдельных нарушений противопожарного режима не могут снизить риск возникновения пожароопасной ситуации. Необходимо менять общую систему противопожарного режима на объектах данной категории. К этой неблагоприятной категории транспортных средств относятся грузовые автомобили, грузовые вагоны и передвижные машинные станции.

Четвертое состояние (S_4) означает катастрофу. В этом состоянии решить проблему только противопожарными мероприятиями невозможно. Необходимо коренным образом пересматривать в целом организацию функционирования объектов данной категории.

Для оценки динамики нарастания или снижения частот реализации пожарной опасности отдельных категорий транспортных средств, построены логистические регрессии величин пожарного риска по каждому году рассматриваемого периода. На основе полученных зависимостей найдены вероятности нахождения категорий транспортных средств, в различных состояниях по частоте реализаций пожарной опасности.

Определенную категорию транспортных средств обозначим как элемент системы [6].

Теоретически каждый элемент может находиться в одном из четырех состояний (S_1, S_2, S_3, S_4). Состояние системы – комбинация состояний элементов. В табл. 1 представлены значения частот реализации пожарной опасности по элементам системы за 2007–2011 гг.

Таблица 1. Частота реализации пожарной опасности в элементах системы в 2007–2011 гг.

| Элементы системы (категории транспортных средств) | 2007 г. | | 2008 г. | | 2009 г. | | 2010 г. | | 2011 г. | |
|---|---------|----------------|---------|----------------|---------|----------------|---------|----------------|---------|----------------|
| | P | S* | P | S* | P | S* | P | S* | P | S* |
| Вагон метро | 0,0003 | S ₁ | 0,0003 | S ₁ | 0,0003 | S ₁ | 0,0003 | S ₁ | 0,0003 | S ₁ |
| Дизель-электропоезд | 0,0003 | S ₁ | 0,0003 | S ₁ | 0,0003 | S ₁ | 0,0003 | S ₁ | 0,0003 | S ₁ |
| Городской электротранспорт | 0,002 | S ₂ | 0,002 | S ₂ | 0,0003 | S ₁ | 0,0003 | S ₁ | 0,0003 | S ₁ |
| Легковой автомобиль | 0,028 | S ₂ | 0,011 | S ₂ | 0,004 | S ₂ | 0,003 | S ₂ | 0,003 | S ₂ |
| Грузовой вагон | 0,002 | S ₂ | 0,42 | S ₂ | 0,012 | S ₂ | 1,0 | S ₄ | 0,0003 | S ₁ |
| Автобус | 0,87 | S ₃ | 0,003 | S ₁ | 0,005 | S ₂ | 0,007 | S ₂ | 0,006 | S ₂ |
| Мототранспорт | 0,29 | S ₂ | 0,17 | S ₂ | 0,007 | S ₂ | 0,005 | S ₂ | 0,007 | S ₂ |
| Другие транспортные средства | 0,14 | S ₂ | 0,16 | S ₂ | 0,36 | S ₂ | 0,54 | S ₃ | 0,41 | S ₂ |
| Грузовой автомобиль | 0,93 | S ₃ | 0,89 | S ₃ | 0,46 | S ₂ | 0,215 | S ₂ | 0,26 | S ₂ |
| Пассажирский вагон | 1,0 | S ₄ | 1,000 | S ₄ | 1,0 | S ₄ | 0,0003 | S ₁ | 0,0003 | S ₁ |
| Локомотив | 0,0003 | S ₁ | 0,004 | S ₂ | 0,013 | S ₂ | 0,97 | S ₃ | 1,0 | S ₄ |
| Передвижная машстанция | 0,0003 | S ₁ | 0,0003 | S ₁ | 0,0003 | S ₁ | 1,0 | S ₄ | 0,0003 | S ₁ |
| Железнодорожная спецмашина | 0,0003 | S ₁ | 1,0 | S ₄ | 1,0 | S ₄ | 0,0003 | S ₁ | 1,0 | S ₄ |

S* – состояние элемента системы по частоте реализации пожарной опасности

Переходные вероятности между состояниями описывают Марковскую цепь. Под Марковскими цепями понимается последовательность случайных событий с конечным или бесконечным числом исходов, характеризующуюся тем свойством, что при фиксированном настоящем, будущее независимо от прошлого, которое сформировало данное настоящее. Число состояний конечно, а значение переходной вероятности полностью определяется тем, в каком состоянии находятся элементы системы, то есть она является условной.

Вероятности перехода образуют стохастическую переходную матрицу P, номер строки которой указывает из какого состояния происходит переход, а номер столбца в какое состояние попадает процесс в результате перехода. Каждый элемент системы может перейти в новые состояния или остаться в том же состоянии. Сумма вероятностей переходов равна единице. Параметры Марковской модели можно определить статистическими методами оценки переходных вероятностей.

Элементы, относящиеся к категориям автотранспортных средств, в период наблюдений находились только в четырех состояниях. Каждому из событий соответствует своя вероятность перехода: $p_{11}, p_{12}, p_{13}, p_{14}, p_{21}, p_{22}, p_{23}, p_{24}, p_{31}, p_{32}, p_{33}, p_{34}, p_{41}, p_{42}, p_{43}, p_{44}$. Поскольку других исходов процесса нет, то:

$$\begin{aligned} p_{11} + p_{12} + p_{13} + p_{14} &= 1, \\ p_{21} + p_{22} + p_{23} + p_{24} &= 1, \\ p_{31} + p_{32} + p_{33} + p_{34} &= 1, \\ p_{41} + p_{42} + p_{43} + p_{44} &= 1. \end{aligned}$$

Соответствующая матрица переходных вероятностей процесса имеет вид:

$$P = \begin{pmatrix} p_{11} & p_{12} & p_{13} & p_{14} \\ p_{21} & p_{22} & p_{23} & p_{24} \\ p_{31} & p_{32} & p_{33} & p_{34} \\ p_{41} & p_{42} & p_{43} & p_{44} \end{pmatrix}.$$

Известно, что стохастические матрицы обладают единственным собственным вектором, таким, что $\alpha P = \alpha$, где $\alpha = (\alpha_1 \ \alpha_2 \ \alpha_3 \ \alpha_4)$.

Компоненты собственного вектора α_1 , α_2 , α_3 , и α_4 – финальные (итоговые) вероятности марковской цепи. Их значения позволяют оценить итоговый пожарный риск, то есть показывают с какой частотой процесс находится в состоянии S_1 , S_2 , S_3 или S_4 . Понятно, что $\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_4 = 1$.

По результатам анализа установлена фактическая вероятность нахождения каждого элемента в том или ином состоянии (табл. 2).

Таблица 2. Вероятности нахождения категорий транспортных средств в различных состояниях по частоте реализации пожарной опасности

| Элементы системы (категории транспортных средств) | Состояния элементов | | | |
|--|---------------------|----------------|----------------|----------------|
| | S ₁ | S ₂ | S ₃ | S ₄ |
| Дизель-электropоезд | 1,0 | 0 | 0 | 0 |
| Вагон метро | 1,0 | 0 | 0 | 0 |
| Городской электротранспорт | 0,6 | 0,4 | 0 | 0 |
| В среднем по электротранспорту | 0,8 | 0,2 | 0,0 | 0,0 |
| Мототранспорт | 0 | 1,0 | 0 | 0 |
| Легковой автомобиль | 0,0 | 1,0 | 0 | 0 |
| Автобус | 0,2 | 0,6 | 0,2 | 0 |
| Грузовой автомобиль | 0 | 0,6 | 0,4 | 0 |
| В среднем по автотранспорту | 0,05 | 0,80 | 0,15 | 0,00 |
| Грузовой вагон | 0,2 | 0,6 | 0 | 0,2 |
| Пассажирский вагон | 0,4 | 0 | 0 | 0,6 |
| Локомотив | 0,2 | 0,4 | 0,2 | 0,2 |
| Передвижная машстанция | 0,8 | 0 | 0 | 0,2 |
| Железнодорожная спецмашина | 0,4 | 0 | 0 | 0,6 |
| В среднем по ж/д транспорту | 0,40 | 0,20 | 0,04 | 0,36 |
| Другие транспортные средства | 0 | 0,8 | 0,2 | 0 |

Анализ проведенных исследований показал, что наименьший пожарный риск наблюдается у городского электротранспорта (включая метрополитен). Вероятность нахождения в состоянии S_2 составляет 0,2, с вероятностью 0,8 эти виды транспорта находятся в состоянии S_1 .

Автотранспортные средства с наибольшей вероятностью находятся в состоянии S_2 , характеризующимся относительно невысоким пожарным риском ниже критического значения. В неблагоприятном состоянии S_3 с вероятностью 0,4 находятся грузовые автомобили, что требует принятия системных мер для улучшения противопожарного режима. Несколько ниже данный показатель у автобусов – 0,2.

Средства железнодорожного транспорта по результатам анализа следует отнести к наиболее пожароопасным. Суммарная вероятность нахождения в состояниях S_3 и S_4 равна 0,4, из этой суммы вероятность нахождения в состоянии S_4 составляет 0,36. Низкие вероятности нахождения в состояниях S_2 и S_3 (0,2 и 0,04 соответственно) говорят о том,

что у этих видов транспорта пожарная опасность реализуется в основном в виде катастроф. Такая ситуация требует принятия комплексных мер по организации безопасного функционирования объектов данной категории.

Литература

1. ГОСТ Р 51901.10–2009. Менеджмент риска. Процедуры управления пожарным риском на предприятии. М.: Стандартинформ, 2010.
2. Пожары и пожарная безопасность в 2009 году: стат. сб. / под общ. ред. Н.П. Копылова. М.: ВНИИПО, 2010. 135 с.
3. Пожары и пожарная безопасность в 2010 году: стат. сб. / под общ. ред. В.И. Климкина. М.: ВНИИПО, 2011. 140 с.
4. Пожары и пожарная безопасность в 2011 году: стат. сб. / под общ. ред. В.И. Климкина. М.: ВНИИПО, 2012. 137 с.
5. Об утверждении критериев информации о чрезвычайных ситуациях: Приказ МЧС России от 24 февр. 2009 г. № 92. URL: <http://www.mchs.gov.ru> (дата обращения: 10.09.2014).
6. ГОСТ Р 51901.15–2005. Менеджмент риска. Применение марковских методов. М.: Стандартинформ, 2005.