

Экономическая оценка аварийного риска воздействия природных чрезвычайных ситуаций при движении поездов

Владимир Г. Попов, Российский университет транспорта (МИИТ), Российская Федерация, Москва

Филипп И. Сухов, Российский университет транспорта (МИИТ), Российская Федерация, Москва

Юлия К. Боландова, Российский университет транспорта (МИИТ), Российская Федерация, Москва



Владимир Г. Попов



Филипп И. Сухов



Юлия К. Боландова

Резюме. Цель. Статья посвящена вопросу оценки риска транспортного происшествия, обусловленного воздействием природных чрезвычайных ситуаций, при движении поездов по определенному маршруту. Постоянно увеличивающаяся антропогенная нагрузка на окружающую среду неизбежно приводит к изменениям климата, которые в свою очередь провоцируют увеличение числа экстремальных погодных явлений. Последние, как правило, инициируют техногенные аварии и катастрофы. Оценка факторов климатического риска, количественно характеризующих последствия влияния на инфраструктуру железнодорожного транспорта, служит отправным моментом для управления рисками бедствий и адаптации человеческой деятельности к постоянно изменяющемуся климату. **Методы.** Авторы данной статьи предлагают метод оценки риска, учитывающий влияние различных видов природных чрезвычайных ситуаций, воздействующих на подвижной состав в процессе его следования. В основе этого метода лежат элементы теории вероятностей и математической статистики. Благодаря разработанной методике можно произвести оценку риска транспортного происшествия, вызванного природными чрезвычайными ситуациями, при движении поездов не только для конкретного участка железной дороги, но и для определенного маршрута или направления на сети железных дорог. **Результаты.** Для маршрута «Невинномысская – Туапсе», состоящего из 6 участков Северо-Кавказской железной дороги, один из которых был поврежден в результате выпадения обильных осадков 24-25 октября 2018 года, был рассчитан риск транспортного происшествия в результате воздействия на социотехническую систему этого направления трех видов ЧС природного характера, а именно:

- наводнения;
- урагана с силой ветра более 22 м/с;
- сильного дождя.

Параметры этих чрезвычайных ситуаций охарактеризованы следующими составляющими:

- частота возникновения среди других видов ЧС;
- среднее годовое число природных ЧС;
- характерный пространственный масштаб природной ЧС;
- характерное время действия природной ЧС.

Условные вероятности воздействия на социо-техническую систему железнодорожного транспорта события, имеющего характерный пространственный и временной масштаб, и приведшего к транспортному происшествию с поездом, были оценены из предположения, что поток поездов в пространстве подчиняется нормированному закону Эрланга k -го порядка. Риск транспортного происшествия при движении поезда в четном и нечетном направлениях по i -му участку j -ой железной дороги, вызванного опасным воздействием природного ЧС m -го вида определен с учетом совместности событий. С помощью метода дисконтирования получено уравнение для оценки математического ожидания экономического ущерба от нарушений безопасности движения, что позволило оценить экономическую составляющую риска. **Выводы.** В результате предложен метод оценки риска транспортного происшествия вследствие воздействия природной ЧС, приведен пример оценки данного риска, включая эту экономическую составляющую, для направления движения «Невинномысская – Туапсе».

Ключевые слова: аварийный риск, аварийные ситуации, чрезвычайные ситуации, железнодорожный транспорт, чрезвычайные ситуации природного характера, грузовые железнодорожные перевозки, нарушения безопасности движения.

Формат цитирования: Попов В.Г., Сухов Ф.И., Боландова Ю.К. Экономическая оценка аварийного риска воздействия природных чрезвычайных ситуаций при движении поездов // Надежность. 2019. №2. С. 48-53. DOI: 10.21683/1729-2646-2019-19-2-48-53

Современная мировая статистика свидетельствует о растущем во всем мире ущербе от опасных погодных и климатических явлений. Из диаграммы (рис. 1) видно, что 90% самых тяжелых экономических потерь приходится не на геофизические явления, такие, как извержения вулканов, цунами и землетрясения, а на метеорологические, климатические и гидрологические явления окружающей среды: паводки, наводнения, сильный ветер, ливневые дожди, град, засухи [1].

Следует отметить, что опасные явления климата могут инициировать техногенные чрезвычайные ситуации (ЧС). К большим социальным и экономическим потерям привели сели, сопровождавшие мощный циклон с проливными дождями 6–9 августа 2002 г. на Черноморском побережье России, в районе г. Новороссийска. По данным оперативных сводок МЧС России, 6 августа мощные грязекаменные потоки, общий объем которых превышал 15 тыс. м³, разрушили 300 метров железной дороги на участке между Сочи и Туапсе, а также проходящую рядом автотрассу. Было заблокировано движение 47 пассажирских поездов. Прямой экономический ущерб от рассматриваемого бедствия составил, по предварительным оценкам, более 71 млн долл. [2].

В результате выпадения обильных осадков 24–25 октября 2018 г. (275–330 мм) в трех муниципальных образованиях Краснодарского края повреждены два автомобильных и один железнодорожный мост, участки автомобильных дорог «Туапсе – Майкоп» и «Джубга – Сочи», железнодорожное полотно на перегонах «Туапсе – Кривенковская» и «Туапсе – Адлер». Были отменены 36 и задержаны 39 пассажирских поездов.

Бесперебойная и безопасная работа железнодорожного транспорта во многом зависит от условий климата. Оценка факторов климатического риска, количественно характеризующих последствия влияния на инфраструктуру железнодорожного транспорта, служит отправным моментом для управления рисками бедствий и адаптации человеческой деятельности к постоянно изменяющемуся климату.

Оценка риска состоит в его количественном измерении [3], чтобы количественно оценить риск, требуются проведение анализа вероятностей возникновения опасностей и последствий реализации этих опасностей.

Основной задачей управления рисками на железнодорожном транспорте является достижение и поддержание допустимого уровня риска при обеспечении функциональной безопасности объектов инфраструктуры и подвижного состава [4]. Последнее время особое внимание уделяется вопросам надежности подвижного состава и разработкам систем и методов оценки и управления рисками для решения задач по обеспечению безопасности транспортных процессов [5–8]. Однако в последних исследованиях, посвященных этой проблеме, система функционирования инфраструктуры железнодорожного транспорта рассматривается в отрыве от окружающей среды. В данной статье предлагается метод оценки риска транспортного происшествия, учитывающий влияние различных видов ЧС природного характера.

Под транспортным происшествием в данной статье понимаются крушения, аварии, а также сходы и столкновения железнодорожного подвижного состава, не имеющие последствий крушения и аварии, в соответствии с



Рисунок 1 – Количество природных катастроф за период 1980–2016 гг.

классификацией Приказа Минтранса от 18 декабря 2014 года № 344 [10].

Для характеристики ЧС природного характера введем следующие обозначения:

$D_{j,i,m}$ – событие, представляющее собой ЧС m -го вида, природного характера, произошедшее в географическом районе России, на территории которого находится i -й участок j -ой железной дороги;

$L_{j,i,m}$ – событие, характеризующее воздействие ЧС природного характера m -го вида (события $C_{j,i,m}$) на социотехническую систему железнодорожного транспорта на i -ом участке j -ой железной дороги и приводящее к транспортному происшествию;

$B_{j,i,m} = D_{j,i,m} \times C_{j,i,m}$ – транспортное происшествие [10], вызванное воздействием ЧС природного характера m -го вида на социотехническую систему железнодорожного транспорта на i -ом участке j -ой железной дороги;

$N_{j,i,m}$ – среднее годовое число природных ЧС m -го вида, происходящих в географическом районе России, на территории которого находится i -й участок j -ой железной дороги ($m = 1, 2, \dots, M$), 1/год;

$L_{j,i,m}$ – характерный пространственный масштаб природного ЧС m -го вида, происходящего в географическом районе России, на территории которого находится i -й участок j -ой железной дороги ($m = 1, 2, \dots, M$), км;

$T_{j,i,m}$ – характерное время действия природного ЧС m -го вида, происходящего в географическом районе России, на территории которого находится i -й участок j -ой железной дороги ($m = 1, 2, \dots, M$), ч;

Оценка вероятности транспортного происшествия при движении поезда в четном направлении по i -му участку j -ой железной дороги, вызванного природной ЧС m -го вида, производится по формуле:

$$R''(B_{j,i,m}) = R''(D_{j,i,m} \times C_{j,i,m}) = P''(C_{j,i,m}) \cdot P''(D_{j,i,m} | C_{j,i,m}), \quad (1)$$

где $P''(D_{j,i,m} | C_{j,i,m}) = P''(L_{j,i,m} | C_{j,i,m}) \cdot P''(T_{j,i,m} | C_{j,i,m})$.

$P''(C_{j,i,m})$ – вероятность возникновения в данном географическом районе природного ЧС m -го вида, характерного пространственного масштаба – $L_{j,i,m}$ за среднее время нахождения поезда, движущего в четном направлении по i -му участку, протяженностью $L_{j,i}$ [9];

$$P''(C_{j,i,m}) = 1 - \exp\left(-\frac{N_{j,i,m} \cdot t''_{j,i}}{365 \cdot 24}\right), \quad (2)$$

где $t''_{j,i} = L_{j,i} / V_{j,i}$, $V_{j,i}$ – участковая скорость движения поездов на i -ом участке j -ой железной дороги в четном направлении, км/час;

$P''(L_{j,i,m} | C_{j,i,m})$ – условная вероятность воздействия на социотехническую систему железнодорожного транспорта события $C_{j,i,m}$ характерного пространственного масштаба $L_{j,i,m}$, приведшего к транспортному происшествию с поездом, движущимся в четном направлении на i -ом участке j -ой железной дороги [9]

$$P''(L_{j,i,m} | C_{j,i,m}) = 1 - \exp(-k_x \lambda_x'' L_{j,i,m}) \sum_{k=0}^{k_x-1} \frac{(k_x \lambda_x'' L_{j,i,m})^k}{k!};$$

$$\lambda_x'' = 1 / \Delta \bar{X}_{j,i}'', \quad (3)$$

где k_x – порядок нормированного распределения Эрланга;

$\Delta \bar{X}_{j,i}'' = V_{j,i}'' \times \Delta \bar{T}_{j,i}''$ – средний пространственный интервал между поездами, движущимися в четном направлении на i -ом участке j -ой железной дороги, км;

$\Delta \bar{T}_{j,i}''$ – средний временной интервал между поездами, движущимися в четном направлении на i -ом участке j -ой железной дороги, ч;

$P''(T_{j,i,m} | C_{j,i,m})$ – условная вероятность воздействия на социотехническую систему железнодорожного транспорта события $C_{j,i,m}$ характерного временного масштаба $T_{j,i,m}$, приведшего к транспортному происшествию с поездом, движущимся в четном направлении на i -ом участке j -ой железной дороги [9]

$$P''(T_{j,i,m} | C_{j,i,m}) = 1 - \exp(-k_t \lambda_t'' T_{j,i,m}) \sum_{k=0}^{k_t-1} \frac{(k_t \lambda_t'' T_{j,i,m})^k}{k!};$$

$$\lambda_t'' = 1 / \Delta \bar{T}_{j,i}'', \quad (4)$$

где k_t – порядок нормированного распределения Эрланга

В выражении (1), записанном для оценки вероятности транспортного происшествия при движении поезда в нечетном направлении по i -му участку j -ой железной дороги $R'(B_{j,i,m})$, соответствующие значения $P'(C_{j,i,m})$, $P'(L_{j,i,m} | C_{j,i,m})$, $P'(T_{j,i,m} | C_{j,i,m})$ определяются по формулам, аналогичным для четного направления движения поездов при соответствующей замене данных.

Тогда вероятность транспортного происшествия $R(B_{j,i,m})$ при движении поездов в четном и нечетном направлениях по i -му участку j -ой железной дороги, вызванного опасным воздействием природного ЧС m -го вида, можно определить по формуле (с учетом совместности событий):

$$R(B_{j,i,m}) = R''(B_{j,i,m}) + R'(B_{j,i,m}) - R''(B_{j,i,m}) \times R'(B_{j,i,m}). \quad (5)$$

Из формул (1), (5) можно получить следующие оценки вероятности транспортного происшествия при движении поезда.

I. Оценку вероятности транспортного происшествия при движении поезда по i -му участку j -ой железной дороги, вызванного всеми возможными природными ЧС M видов ($m = 1, 2, 3, \dots, M$), произведем по следующим формулам:

при движении поезда в четном направлении

$$R''(B_{j,i}^M) = \sum_{m=1}^M \phi_m \cdot R''(B_{j,i,m}), \quad (6)$$

при движении поезда в нечетном направлении

$$R'(B_{j,i}^M) = \sum_{m=1}^M \phi_m \cdot R'(B_{j,i,m}), \quad (7)$$

при движении поездов в четном и нечетном направлениях

$$R(B_{j,i}^M) = R''(B_{j,i}^M) + R'(B_{j,i}^M) - R''(B_{j,i}^M) \cdot R'(B_{j,i}^M), \quad (8)$$

где ϕ_m – частота возникновения ЧС m -го вида среди других видов ЧС, $\sum_{m=1}^M \phi_m = 1$;

$B_{j,i}^M$ – транспортное происшествие – событие, последовавшее после воздействия всех возможных M видов ЧС природного характера на социотехническую систему железнодорожного транспорта на i -м участке j -ой железной дороги.

II. Оценку вероятности транспортного происшествия при движении поезда по I ($i = 1, 2, 3, \dots, I$) участкам j -ой железной дороги, вызванного природной ЧС m -го вида, произведем по следующим формулам:

при движении поезда в четном направлении

$$R''(B_{j,m}^I) = 1 - \prod_{i=1}^I [1 - R''(B_{j,i,m})], \quad (9)$$

при движении поезда в нечетном направлении

$$R'(B_{j,m}^I) = 1 - \prod_{i=1}^I [1 - R'(B_{j,i,m})], \quad (10)$$

при движении поездов в четном и нечетном направлениях

$$R(B_{j,m}^I) = 1 - \prod_{i=1}^I [1 - R(B_{j,i,m})], \quad (11)$$

где $B_{j,i}^I$ – транспортное происшествие – событие, последовавшее после воздействия ЧС m -го вида природного характера на социотехническую систему железнодорожного транспорта на I ($i = 1, 2, 3, \dots, I$) участках j -ой железной дороги.

III. Оценку вероятности транспортного происшествия при движении поезда по I ($i = 1, 2, 3, \dots, I$) участкам j -ой железной дороги, вызванного всеми возможными ЧС природного характера, произведем по следующим формулам:

при движении поезда в четном направлении:

$$R''(B_{j,i}^{I,M}) = 1 - \prod_{i=1}^I [1 - R''(B_{j,i}^M)], \quad (12)$$

при движении поезда в нечетном направлении:

$$R'(B_{j,i}^{I,M}) = 1 - \prod_{i=1}^I [1 - R'(B_{j,i}^M)], \quad (13)$$

при движении поездов в четном и нечетном направлениях:

$$R(B_{j,i}^{I,M}) = 1 - \prod_{i=1}^I [1 - R(B_{j,i}^M)], \quad (14)$$

где $B_{j,i}^{I,M}$ – событие, последовавшее после воздействия всех возможных M видов ЧС природного характера

на социотехническую систему железнодорожного транспорта на I ($i = 1, 2, 3, \dots, I$) участках j -ой железной дороги.

IV. Оценку вероятности транспортного происшествия при движении поезда по I участкам ($i = 1, 2, 3, \dots, I$) железных дорог ($j = 1, 2, 3, \dots, J$), вызванного всеми возможными ЧС природного характера, произведем по следующим формулам:

при движении поезда в четном направлении

$$R''(B^{J,I,M}) = 1 - \prod_{j=1}^J [1 - R''(B_j^{I,M})], \quad (15)$$

при движении поезда в нечетном направлении

$$R'(B^{J,I,M}) = 1 - \prod_{j=1}^J [1 - R'(B_j^{I,M})], \quad (16)$$

при движении поездов в четном и нечетном направлениях

$$R(B^{J,I,M}) = 1 - \prod_{j=1}^J [1 - R(B_j^{I,M})], \quad (17)$$

где $B^{J,I,M}$ – транспортное происшествие – событие, последовавшее после воздействия всех возможных M видов ЧС природного характера на социотехническую систему железнодорожного транспорта на I ($i = 1, 2, 3, \dots, I$) участках J ($j = 1, 2, 3, \dots, J$) железных дорог.

Если в формулах (9)–(14) в качестве I взять все участки j -ой железной дороги, то можно получить соответствующие оценки аварийных рисков для j -ой железной дороги в целом ($j = 1, 2, 3, \dots, J$). Если в формулах (15)–(17) взять I участков ($i = 1, 2, 3, \dots, I$) J железных дорог ($j = 1, 2, 3, \dots, J$), то можно получить соответствующие оценки аварийных рисков для различных маршрутов и направлений движения поездов.

Для экономической оценки последствий транспортного происшествия воспользуемся данными работ [11–16]. Согласно [10] транспортные происшествия – нарушения безопасности движения (НБД) поездов – подразделяются на крушение – B_1 , аварию – B_2 ; транспортное происшествие (сход или столкновение поезда без последствий крушения или аварии) – B_3 .

Используя метод дисконтирования [11] и статистические данные работ [12, 13], можно записать уравнение для оценки математического ожидания экономического ущерба от НБД B_n ($B_n = B_1, B_2, B_3$):

$$Y(B_n) = Y_0(B_n)(1+r)^p, \quad (18)$$

где $Y_0(B_1) = 2 \cdot 10^6$ руб., $Y_0(B_2) = 0,5 \cdot 10^6$ руб., $Y_0(B_3) = 7 \cdot 10^3$ руб. – средние значения экономического ущерба от одного события видов B_1, B_2, B_3 в ценах 2000 г.;

$p = \Gamma - 2000$ – условный номер года;

Γ – календарный год анализа риска;

r – норма дисконтирования ($r = 0, 1-0,12$).

Практическая невозможность прогнозных оценок экономического ущерба от возникновения НБД определенного вида B_n при воздействии природных ЧС на со-

циотехническую систему железнодорожного транспорта и приводящих к транспортным происшествиям при движении поездов, заставляет обращаться к использованию консервативных допущений и апостериорных статистических данных по НБД поездов. С учетом этого можно записать уравнение

$$Y(B) = \sum_{n=1}^3 \alpha_n \cdot Y(B_n), \quad (19)$$

где α_n – относительные частоты появления определенного вида НБД B_n ($n = 1, 2, 3$), которые по данным работ [14, 16] можно оценить как $\alpha_1 = 0,01$, $\alpha_2 = 0,1$, $\alpha_3 = 0,89$.

Тогда экономическую оценку риска транспортного происшествия с поездом при движении по i -у участку j -ой железной дороги, вызванного природной ЧС m -го вида, можно получить по формулам:

- в четном направлении $R''_3(B_{j,i,m}) = R''(B_{j,i,m}) \cdot Y(B)$;
- в нечетном направлении $R'_3(B_{j,i,m}) = R'(B_{j,i,m}) \cdot Y(B)$;
- в четном и нечетном направлениях

$$R_3(B_{j,i,m}) = R(B_{j,i,m}) \cdot Y(B). \quad (20)$$

Экономическую оценку рисков для случаев $B_{j,m}^I \cdot B_j^{I,M}$, $B_{j,i}^{I,M}$ (для I участков на одной железной дороге или на J железных дорогах) можно получить аналогично, умножив соответствующие вероятности возникновения транспортных происшествий (формулы (6) – (17)) на величину ущерба $Y(B)$.

Оценим вероятности транспортного происшествия $R(B_{j,i}^M)$ при движении поездов по маршруту «Невинномысская – Туапсе», состоящего из 6 участков ($i = 1, 2, 3, \dots, 6$) Северо-Кавказской железной дороги в результате воздействия на социотехническую систему этого направления трех видов ЧС природного характера, а именно:

- наводнения ($m = 1$); частота возникновения среди других видов ЧС $\phi_1 = 0,06$; среднее годовое число $N_1 = 1$; характерный пространственный масштаб $L_1 = 15$ км; характерное время действия $T_1 = 1$ ч;

- урагана с силой ветра более 22 м/с ($m = 2$); частота возникновения среди других видов ЧС $\phi_2 = 0,11$; среднее годовое число природных ЧС $N_2 = 2$; характерный пространственный масштаб природного ЧС $L_2 = 300$ км; характерное время действия $T_2 = 120$ ч;

- сильного дождя ($m = 3$); частота возникновения среди других видов ЧС $\phi_3 = 0,83$; среднее годовое число природных ЧС $N_3 = 15$; характерный пространственный масштаб природного ЧС $L_3 = 1$ км; характерное время действия $T_3 = 3$ ч.

Результаты расчета приведены в таблице 1.

Пользуясь формулой (14), произведем оценку вероятности транспортного происшествия при движении поездов по 6 ($i = 1, 2, 3, \dots, 6$) участкам Северо-Кавказской железной дороги ($j = 1$), вызванного тремя опасными состояниями ($M = 3$) объектов окружающей среды: $R(B_{j,i}^{6,3}) = 4,295 \cdot 10^{-4}$. При этом математическое ожидание экономического ущерба от НБД в пересчете на 2019 год составит $Y(B) = 429474,42$ руб. (формула (19)).

Тогда экономическая оценка риска транспортного происшествия с поездом при движении по 6 участкам ($i = 1, 2, 3, \dots, 6$) Северо-Кавказской железной дороги ($j = 1$) составит (по аналогии с формулой (20)):

$$R_3(B_j^{I,M}) = R(B_j^{I,M}) \cdot Y(B) = R(B_1^{6,3}) \cdot Y(B) = 24,295 \cdot 10^{-4} \cdot 429474,42 \cong 184,45 \text{ руб.}$$

Если, например, рассматривать стоимость транспортировки 1 т опасного груза по этому маршруту, составляющую по приблизительным расчетам 6000 руб., то полученная экономическая оценка может рассма-

Таблица 1 – Результаты расчета вероятностей транспортного происшествия

i	Наименование участка	Длина участка, км	Размер движения, поездов/сут	Наводнение ($m = 1$; $\phi_1 = 0,06$; $N_1 = 1$; $L_1 = 15$; $T_1 = 1$)	Ураган с силой ветра более 22 м/с ($m = 2$; $\phi_2 = 0,11$; $N_2 = 2$; $L_2 = 300$; $T_2 = 120$)	Сильный дождь ($m = 3$; $\phi_3 = 0,83$; $N_3 = 15$; $L_3 = 1$; $T_3 = 3$)	Вероятность $R(B_{j,i}^M)$
				Вероятность $R(B_{j,i,m})$	Вероятность $R(B_{j,i,m})$	Вероятность $R(B_{j,i,m})$	
1	Невинномысская – Армавир Ростовский	77	46	$1,506 \cdot 10^{-4}$	$9,058 \cdot 10^{-4}$	$1,028 \cdot 10^{-9}$	$1,087 \cdot 10^{-4}$
2	Армавир Ростовский – Курганная	40,5	40	$5,165 \cdot 10^{-5}$	$4,765 \cdot 10^{-4}$	$2,122 \cdot 10^{-10}$	$5,552 \cdot 10^{-5}$
3	Курганная – Белореченская	63,8	41	$8,830 \cdot 10^{-5}$	$7,506 \cdot 10^{-4}$	$3,944 \cdot 10^{-10}$	$8,786 \cdot 10^{-5}$
4	Белореченская – Комсомольская	19,8	42	$2,961 \cdot 10^{-5}$	$2,33 \cdot 10^{-4}$	$1,44 \cdot 10^{-10}$	$2,741 \cdot 10^{-5}$
5	Комсомольская – Кривенковская	87,6	42	$1,31 \cdot 10^{-4}$	$1,03 \cdot 10^{-3}$	$6,361 \cdot 10^{-10}$	$1,212 \cdot 10^{-4}$
6	Кривенковская – Туапсе	18,2	77	$8,89 \cdot 10^{-5}$	$2,142 \cdot 10^{-4}$	$7,187 \cdot 10^{-9}$	$2,89 \cdot 10^{-5}$

триваться как страховая сумма при управлении риском (обработке риска) путем его передачи.

Библиографический список

1. Доклад о климатических рисках на территории Российской Федерации [Текст] / Под ред. д.ф.-м.н. В.М. Катцова. – Санкт-Петербург, 2017. – 106 с.
2. Оценка и управление природными рисками: тематический том [Текст] / Под ред. А.Л. Рагозина. – М.: Издательская фирма «КРУК», 2003. – 320 с.
3. **Акимов В.А.** Основы анализа и управления риском в природной и техногенной сферах [Текст] / В. А. Акимов, В. В. Лесных, Н. Н. Радаев. – М.: Деловой экспресс, 2004. – 352 с.
4. **ГОСТ 33433-2015.** Безопасность функциональная Управление рисками на железнодорожном транспорте [Текст]. – Введ. 2016-09-01. – М.: Стандартинформ, 2016. – IV, 34 с.
5. **Володарский В.А.** О надежности подвижного состава, прошедшего ремонт [Текст] / В.А. Володарский, А.И. Орленко // Надежность. – 2015. – №1(52). – С. 25-28.
6. **Замышляев А.М.** Функциональная зависимость между количеством вагонов в сходе из-за неисправностей вагонов или пути и факторами движения [Текст] / А.М. Замышляев, А.Н. Игнатов, А.И. Кибзун, Е.О. Новожилов // Надежность. – 2018. – №18(1). – С. 53-60.
7. **Даев Ж.А.** Применение статистических критериев для улучшения эффективности методов оценки рисков [Текст] / Ж.А. Даев, Е.Т. Нурушев // Надежность. – 2018. – №18(2). – С. 42-45.
8. **Аксенов В.А.** Совершенствование системы управления рисками для решения задач по обеспечению безопасности производственных процессов [Текст] / В.А. Аксенов, Д.Л. Раенок, А.М. Завьялов // Надежность. – 2013. – №3. – С. 103-120.
9. **Попов В.Г.** Оценка аварийного риска при движении поездов в результате воздействия чрезвычайных ситуаций природного характера, возникающих в окружающей среде [Текст] / Попов В.Г., Сухов Ф.И., Боландова Ю.К. // Наука и техника транспорта. – 2018. – №4. – С. 115-120.
10. Приказ Минтранса РФ от 18 декабря 2014 г. №344 Об утверждении положения о классификации,

порядке расследования и учета транспортных происшествий и иных событий, связанных с нарушением правил безопасности движения и эксплуатации железнодорожного транспорта (Зарегистрировано в Минюсте РФ 26.02.2015 № 36209).

11. **Легасов В.А.** Дисконтирование и компромисс между поколениями [Текст] / В.А. Легасов, В.Ф. Демин, Я.В. Шевелев // Проблемы анализа риска. – 2005. – Т. 2. – №2. – С. 141-146.
12. **Красковский А.Е.** Экономические механизмы управления безопасностью движения [Текст] / А.Е. Красковский // Железнодорожный транспорт. – 2002. – №5. – С. 29-33.
13. **Попов В.Г.** Индекс прогноз и индекс отклик [Текст] / В.Г. Попов, Ф.И. Сухов // Мир транспорта. – 2007. – Т. 5. – №3. – С. 130-133.
14. **Попов В.Г.** Метод оценки уровня безопасности движения и аварийного риска при перевозке грузов по железным дорогам [Текст] / В.Г. Попов // Транспорт: наука, техника, управление. – 2008. – №7. – С. 1-5.
15. **Попов В.Г.** Метод оценки аварийного риска при перевозке нефти и нефтепродуктов по железным дорогам [Текст] / В.Г. Попов, С.В. Петров // Безопасность жизнедеятельности. – 2010. – №11. – С. 39-43.
16. **Попов В.Г.** Оценка риска от аварийных происшествий. [Текст] / Попов В.Г., Сухов Ф.И., Петров С.В. // Мир транспорта. – 2012. – Т. 10. – №6. – С. 150-155.

Сведения об авторах

Владимир Г. Попов – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Химия и инженерная экология», Российский университет транспорта (МИИТ), Российская Федерация, Москва, e-mail: vpopov_miiit@mail.ru

Филипп И. Сухов – кандидат технических наук, доцент кафедры «Химия и инженерная экология», Российский университет транспорта (МИИТ), Российская Федерация, Москва, e-mail: philipp.sukhov@mail.ru

Юлия К. Боландова – аспирант, ассистент кафедры «Химия и инженерная экология», Российский университет транспорта (МИИТ), Российская Федерация, Москва, e-mail: jbolandova@gmail.com

Поступила: 17.12.2018