

Оценка влияния готовности объектов транспортной инфраструктуры ОАО «РЖД» на риски потерь для перевозочного процесса

Александр В. Горелик¹, Александр Н. Малых¹, Александр В. Орлов^{1*}

¹Российский университет транспорта (РУТ(МИИТ)), Москва, Российская Федерация,

*suti.orlov@gmail.com



Александр В.
Горелик



Александр Н.
Малых



Александр В.
Орлов

Резюме. Цель. Готовность объектов транспортной инфраструктуры влияет на качество предоставляемых ОАО «РЖД» услуг железнодорожных перевозок. В то же время, это влияние может быть довольно различным в разных условиях эксплуатации транспортной инфраструктуры, на разных участках железных дорог и может приводить к разным по величине рискам ущерба для перевозочного процесса. Эти риски идентифицируют как риски потерь поездо-часов из-за отказов объектов транспортной инфраструктуры. При планировании мероприятий по управлению надежностью в условиях ограниченных ресурсов возникает необходимость адресного выявления объектов транспортной инфраструктуры, готовность которых наиболее сильно влияет на величину рисков ущерба для перевозочного процесса. Цель работы состоит в разработке метода оценки готовности на суточных интервалах времени и выявления их взаимосвязи с рисками потерь поездо-часов. **Методы.** В работе применены методы риск-менеджмента, теории вероятностей и математической статистики, корреляционного и регрессионного анализа. **Результаты.** В статье предложен способ представления показателя готовности объектов транспортной инфраструктуры ОАО «РЖД» на суточных интервалах времени в виде двухпараметрического гамма-распределения и описания его влияния на риски для перевозочного процесса регрессионной моделью. **Выводы.** Полученные в статье результаты могут быть использованы при планировании мероприятий по управлению надежностью объектов транспортной инфраструктуры и адресного распределения ресурсов, а также для обоснования коэффициента надежности при оценке наличной пропускной способности участков железных дорог и коэффициента заполнения и в ряде других эксплуатационных задач.

Ключевые слова: риски потерь поездо-часов, пропускная способность, надежность объектов транспортной инфраструктуры, готовность устройств на суточных интервалах, интервальная оценка

Для цитирования: Горелик А.В., Малых А.Н., Орлов А.В. Оценка влияния готовности объектов транспортной инфраструктуры ОАО «РЖД» на риски потерь для перевозочного процесса // Надежность. 2021. №4. С. 53-56. <https://doi.org/10.21683/1729-2646-2021-21-4-53-56>

Поступила 20.09.2021 г. / После доработки 17.10.2021 г. / К печати 14.12.2021 г.

Введение

Реализация перевозочного процесса на железных дорогах России связана с технической эксплуатацией территориально распределенной транспортной инфраструктуры, представленной совокупностью объектов, закрепленных за различными хозяйствами [1].

Надежность функционирования объектов транспортной инфраструктуры (ОТИ) оказывает существенное влияние на качество реализуемых перевозок. При нахождении ОТИ в неработоспособном состоянии может возникнуть риск ущерба в виде задержек поездов по отправлению, проследованию или прибытию.

Понятие риска позволяет учесть как вероятностный характер отказов в ОТИ, так и величину возникающего ущерба для перевозок. В связи с этим в ОАО «РЖД» применительно к технической эксплуатации инфраструктуры получила развитие концепция риск-менеджмента [1, 2]. Риск рассматривают как сочетание вероятности (частоты) рискованных событий – отказов и величины возникающего на одно событие ущерба – потерь поездо-часов. Под потерями поездо-часов понимают задержки поездов, вызванные отдельным отказом ОТИ. При этом сами отказы в зависимости от величины связанного с ними ущерба для перевозочного процесса в компании принято относить к одной из трех категорий. К отказам 1 и 2 категории относят те, которые вызвали существенные потери поездо-часов, а к третьей – те, потери от которых незначительны или отсутствуют вовсе.

На основе данных об отказах 1 и 2 категории выполняется расчет показателей функциональной надежности ОТИ, характеризующих процесс реализации посредством ОТИ различных функций, связанных с обеспечением перевозочного процесса (предоставлением услуг).

Функциональная надежность используется при оценке некоторых показателей перевозочного процесса, в частности, наличной пропускной способности участков железных дорог, а также для оценки рисков потерь поездо-часов из-за отказов ОТИ. При этом в расчетах значения показателей функциональной надежности часто берутся усредненные для продолжительных интервалов времени, например, годовых. Стоит отметить, что наличная пропускная способность при этом рассчитывается для суточных интервалов времени. Учитывая, что отказы 1 и 2 категории являются событиями достаточно редкими, то связанные с ними потери бюджета времени при расчете наличной пропускной способности, а также поездо-часы потерь приходятся на конкретные сутки, тогда как в остальное время этих потерь нет. В связи с этим целесообразно показатели функциональной надежности рассматривать как случайные величины на тех же интервалах времени, то есть суточных.

В качестве исходных данных для оценки могут быть использованы статистические данные о моментах выявления отказов 1 и 2 категории, их продолжительности и связанных с ними потерях поездо-часов по каждому ОТИ, которые в рамках цифровой трансформации от-

расли к настоящему времени имеются в информационных системах компании, таких как КАСАНТ, АС-АНШ, АСУ-Ш-2, ЕК АСУИ и ряде других.

В качестве показателя функциональной надежности рассмотрим применяющийся на протяжении ряда лет в инфраструктурных подразделениях ОАО «РЖД» коэффициент готовности ОТИ по отказам 1 и 2 категории. Под этим коэффициентом понимают вероятность того, что ОТИ находится в состоянии, не вызывающем существенной задержки (более 6 минут) в движении поездов в произвольный момент времени.

Оценка коэффициента готовности объектов транспортной инфраструктуры по отказам 1 и 2 категории

Отдельные реализации K_{r12} – коэффициента готовности ОТИ по отказам 1 и 2 категории на суточных интервалах времени можно определить по формуле:

$$K_{r12} = \frac{T_{\text{сут}} - T_{\text{в12}}}{T_{\text{сут}}},$$

где $T_{\text{сут}}$ – суточный бюджет времени (с учетом технологических окон);

$T_{\text{в12}}$ – суммарное время нахождения ОТИ в неработоспособном состоянии, вызванном отказом 1 или 2 категории в течение суточного бюджета времени.

Статистическую оценку коэффициента K_{r12} целесообразно выполнять параметрически [3, 4] с использованием метода моментов и последующей аппроксимацией двухпараметрическим гамма-распределением [5].

С этой целью статистической обработке подвергают все реализации K_{r12} ОТИ на суточных интервалах, где регистрировались отказы 1 и 2 категории в течение периода наблюдения.

Первый статистический момент m_i при этом находят по формуле:

$$m_i = \frac{\sum_{j=1}^r (1 - K_{r12j})}{r},$$

где r – количество реализаций K_{r12} в периоде наблюдения.

Второй статистический момент σ_i определяют из выражения:

$$\sigma_i = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^r [(1 - K_{r12j}) - m_i]^2}{r - 1}}.$$

Плотность вероятности для случайной величины описывают формулой:

$$f(\beta) = \begin{cases} \beta^{k-1} \cdot e^{-\frac{\beta}{\theta}}, & \beta \geq 0; \\ 0, & \beta < 0, \end{cases}$$

где

$$\Gamma(k) = \frac{1}{k} \cdot \prod_{n=1}^g \frac{\left(1 + \frac{1}{n}\right)^k}{1 + \frac{k}{n}},$$

а k и θ – параметры формы и масштаба.

В свою очередь параметры формы и масштаба находят по формулам:

– параметр формы k :

$$k = \frac{m_i^2}{D_i};$$

– параметр масштаба θ :

$$\theta = \frac{D_i}{m_i},$$

где D_i – выборочная дисперсия, определяемая, как:
 $D_i = \sigma_i^2$.

Далее может быть выполнена интервальная оценка случайной величины K_{r12} на суточных интервалах.

Доверительный интервал задается в виде односторонней оценки выражением:

$$P(K_{r12\theta} \leq K_{r12} \leq 1) = 1 - \int_0^{1-K_{r12\theta}} f(K_{r12}) dK_{r12}, \quad (1)$$

где $P(K_{r12\theta} \leq K_{r12} \leq 1)$ – доверительная вероятность того, что коэффициент K_{r12} будет не менее наперед заданного значения $K_{r12\theta}$.

С помощью формулы (1) может быть найдена доверительная вероятность $P(K_{r12\theta} \leq K_{r12} \leq 1)$ того, что истинное значение K_{r12} окажется в пределах $[1; K_{r12\theta}]$. Может быть решена и обратная задача, суть которой заключается в определении граничного значения $K_{r12\theta}$, задающего диапазон $[1; K_{r12\theta}]$, в пределах которого находится его истинное значение с заданной доверительной вероятностью.

Оценка и оценивание рисков потерь для перевозочного процесса

За время нахождения ОТИ в неработоспособном состоянии может возникать риск ущерба для перевозочного процесса в виде разных по величине задержек в движении поездов. Причем, величина задержек поездов сложным образом зависит не только от продолжительности нахождения ОТИ в неработоспособном состоянии, но и от множества иных факторов: класса и специализации железнодорожной линии, предоставляемых технологических окон, графика движения поездов, типа объекта и т.д.

Для оценивания риска потерь поездочных часов из-за отказов ОТИ в инфраструктурных подразделениях ОАО «РЖД» нашли применение матрицы рисков [6].

Пример матрицы рисков представлен на рис. 1.

Для оценки влияния готовности ОТИ на риски потерь поездочных часов требуется для вычисленного значения $K_{r12\theta}$ найти точку в клетке матрицы рисков на пересечении соответствующей строки на оси частот и столбца на оси ущерба [7].

С целью оценки влияния коэффициента готовности ОТИ по отказам 1 и 2 категории K_{r12} на величину потерь для перевозочного процесса авторами извлекались из информационных систем и исследовались статистические данные о реализациях K_{r12} и соответствующих потерях поездочных часов T_{12} на отказ.

Корреляционный анализ выявил устойчивую статистическую связь между K_{r12} ОТИ, функционирующих в пределах железнодорожных линий определенного класса и специализации, и величиной потерь поездочных часов T_{12} , приходящихся на отказ. Для оценки использовался коэффициент линейной корреляции, а анализ тесноты взаимосвязи выполнялся по шкале Чеддока. Выявлена отрицательная корреляционная связь с теснотой связи для ОТИ на железнодорожных линиях различных классов и специализаций от слабой до высокой.

		Ущерб в виде удельных потерь поездочных часов на отказ, T_{12}			
		Незначительный	Значительный	Существенный	Критический
Частота отказов 1 и 2 категории, f_{12}	Частое	Допустимый	Нежелательный	Недопустимый	Недопустимый
	Вероятное	Допустимый	Нежелательный	Нежелательный	Недопустимый
	Случайное	Допустимый	Допустимый	Нежелательный	Недопустимый
	Редкое	Не принимаемый в расчет	Допустимый	Нежелательный	Нежелательный
	Крайне редкое	Не принимаемый в расчет	Допустимый	Допустимый	Нежелательный
	Маловероятное	Не принимаемый в расчет	Не принимаемый в расчет	Допустимый	Нежелательный

Рис. 1. Матрица рисков потерь поездочных часов

В связи с этим для оценки влияния K_{r12} на ущерб в виде потерь поезд-часов может быть использована линейная аппроксимация вида:

$$\tilde{T}_{12} = \Theta \cdot K_{r12}$$

где Θ – коэффициент пропорциональности между K_{r12} и T_{12} , единый для всех ОТИ в пределах железнодорожных линий отдельных классов и специализаций, но различный для разных железнодорожных линий. Для каждого сочетания класса и специализации железнодорожной линии он находится из общего соотношения:

$$\Theta = \frac{\sum_{j=1}^u T_{12j}}{\sum_{j=1}^u K_{r12j}},$$

где u – количество реализаций K_{r12} по множеству ОТИ в пределах железнодорожной линии одного класса и специализации в периоде наблюдения.

Оценка частоты отказов 1 и 2 категории ОТИ выполняется по формуле:

$$\tilde{f}_{12} = \frac{\sum_{k=1}^G f_{12k}}{G}, \quad (2)$$

где G – количество лет в периоде наблюдения за ОТИ;
 f_{12k} – количество отказов 1 и 2 категории ОТИ в k -ом году наблюдения.

Таким образом, для вычисленного значения K_{r12} ОТИ по формуле (1) находится расчетное значение ущерба в виде потерь поезд-часов, а по формуле (2) – расчетная частота отказов 1 и 2 категории и по матрице (см. рис. 1) находят клетку с расчетным уровнем риска.

Заключение

Полученные результаты могут быть использованы при планировании мероприятий по управлению надежностью объектов транспортной инфраструктуры и адресного распределения ресурсов, а также для обоснования коэффициента надежности при оценке наличной пропускной способности участков железных дорог, коэффициента заполнения и ряде других эксплуатационных задач.

Библиографический список

1. Аношкин В.В., Горелик А.В., Поменков Д.М. и др. Реализация методологии УРРАН в хозяйстве автоматики и телемеханики // Автоматика, связь, информатика. 2017. № 6. С. 2-6.
2. Ерж А.Е., Горелик А.В., Солдатов Д.В. и др. Методология управления рисками в хозяйстве автоматики и телемеханики // Автоматика, связь, информатика. 2017. № 7. С. 2-6.

3. Шубинский И.Б., Новожилов Е.О. Метод нормирования показателей надежности объектов железнодорожного транспорта // Надежность. 2019. №4. С. 17-23. DOI: 10.21683/1729-2646-2019-19-4-17-23

4. Малых А.Н. Оценка влияния отказов систем железнодорожной автоматики на наличную пропускную способность перегонов // Наука и техника транспорта. 2019. № 3. С. 15-17.

5. Горелик А.В., Дорохов В.С., Малых А.Н. и др. Статистическая оценка влияния отказов систем железнодорожной автоматики на наличную пропускную способность перегонов и станций // М.: РУТ(МИИТ), 2018. Деп. в ВИНТИ РАН 03.05.2018 №54-B2018.

6. Новожилов Е.О. Принцип построения матриц рисков // Надежность. 2015. №3. С. 73-86. DOI: 10.21683/1729-2646-2015-0-3-73-86

7. Дорохов В.С. Прогнозирование технических рисков при планировании производственных процессов эксплуатации объектов железнодорожной автоматики // Наука и бизнес: пути развития. 2019. № 8. С. 35-38.

Сведения об авторах

Александр Владимирович Горелик – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Системы управления транспортной инфраструктурой» Российского университета транспорта РУТ(МИИТ), Москва, Российская Федерация, тел. +7-495-649-19-00 (2-28), e-mail: agorelik@yandex.ru.

Александр Николаевич Малых – старший преподаватель Российского университета транспорта РУТ(МИИТ), Москва, Российская Федерация, тел. +7-495-649-19-00 (2-28), e-mail: aleksandr_malykh@mail.ru.

Александр Валерьевич Орлов – доцент Российского университета транспорта РУТ(МИИТ), Москва, Российская Федерация, тел. +7-495-649-19-00 (2-28), e-mail: suti.orlov@gmail.com.

Вклад авторов в статью

Горелик А.В. – анализ существующего состояния вопроса, определение направления исследования.

Орлов А.В. – сбор эмпирических данных и реализация способа статистической оценки влияния отказов на риски потерь поезд-часов.

Малых А.Н. – обработка эмпирических данных и разработка способа статистической оценки коэффициента готовности объектов транспортной инфраструктуры.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов