



Для цитирования

For citation

Зубков В. В. Анализ воздействия участников транспортно-обеспечивающих функций на качество предоставления комплексной транспортной услуги и методика определения степени их влияния на критерии качества / В. В. Зубков, Н. Ф. Сирина // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2019. – Т. 61, № 1. – С. 47–55. – DOI: 10.26731/1813-9108.2019.1(61).47–55.

Zubkov V. V., Sirina N. F. Analiz vozdeistviya uchastnikov transportno – obespechivayushchikh funktsii na kachestvo pre-dostavleniya kompleksnoi transportnoi uslugi i metodika opre-deleniya stepeni ikh vliyaniya na kriterii kachestva [Analysis of the impact of participants of transport-supporting functions on the quality of delivering integrated transport services and the technique of determining the degree of their influence on the quality criteria]. *Sovremennyye tekhnologii. Sistemnyi analiz. Modelirovaniye* [Modern Technologies. System Analysis. Modeling], 2019, Vol. 61, No. 1, pp. 47–55. DOI: 10.26731/1813-9108.2019.1(61).47–55.

УДК 656.25 + 06

DOI: 10.26731/1813-9108.2019.1(61).55–64

О. И. Веревкина

Ростовский государственный университет путей сообщения, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация
Дата поступления: 12 ноября 2018 г.

ПРИМЕНЕНИЕ ГИБРИДНОГО МЕТОДА ОЦЕНКИ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ РИСКОВ НАРУШЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ДВИЖЕНИЯ В ХОЗЯЙСТВЕ ПУТИ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ

Аннотация. В статье рассматривается развитие гибридного метода оценки рисков в направлении учета динамики факторов в краткосрочной перспективе (от квартала до года). Адаптация гибридного метода к применению на линейных предприятиях ОАО «Российские железные дороги», уточнение спектра входных данных для расчета. Для достижения поставленных сложных задач была проведена работа по развитию алгоритмов системы оценки функциональных рисков на инфраструктуре ОАО «Российские железные дороги» для управления техническим состоянием железнодорожного пути и безопасностью движения в рамках развития автоматизированного комплекса «УРРАН» как элемента цифровизации оценки рисков безопасности движения. Разработка велась на основе классификаторов факторов риска для дирекции инфраструктуры в действующих нормативных документах. Эффективность метода демонстрируют результаты апробации на приоритетных направлениях полигона Северо-Кавказской железной дороги на уровне линейных предприятий. Предлагаемый подход позволяет формировать конкретные меры по снижению риска, что производится не только путем усиления защитного комплекса, парярующих мер, показателей человеческого фактора, обеспеченности средствами ремонта, но и мер воздействия на показатели надежности за счет изменения объемов и видов ремонтов, соотношения объемов капитальных и текущих трат. Выходными параметрами построения такой системы задач являются задания на величины, отражающие уровень рисков. На выходе задачи получаем корректировку объемов по видам ремонтов, относящихся не только к текущим, но и в первую очередь к капитальным затратам в службе Пути и в дирекции Инфраструктуры на сетевом уровне.

Ключевые слова: инфраструктура, гибридный метод, оценка рисков, регрессионный анализ временных рядов, верификация прогнозной модели, оценка параметров допустимых рисков, прогноз, вероятность, корректирующие мероприятия.

О. I. Verevkina

Rostov State Transport University, Rostov-on-Don, Russian Federation
Received: November 12, 2018

THE RESULTS OF APPLYING THE HYBRID METHOD TO ASSESS FUNCTIONAL RISKS OF TRAFFIC SAFETY INFRINGEMENT ON THE REGIONAL AND LINEAR LEVELS IN THE RAILWAY TRANSPORT

Abstract. Development of a hybrid risk assessment method (hereinafter referred to as a hybrid method) in the direction of taking into account the dynamics of factors in the short-term perspective (from a quarter to a year). Adaptation of the hybrid method to be used at linear enterprises of JSC “Russian Railways”, specification of the input data for calculation. To achieve the challenging tasks, work was undertaken to develop functional risk assessment system algorithms in the infrastructure of JSC Russian Railways to manage the technical condition of the railway track and traffic safety as part of the development of the automated system URRAN as an element of the digitalization of traffic safety risks assessment. The development is carried out on the basis of classifiers of risk factors for the direction of the infrastructure in the current regulatory documents. The effectiveness of the method is demonstrated by the results of testing in the priority areas of the North Caucasian Railway polygon at the level of linear enterprises. The proposed approach allows the formation of specific risk reduction measures and is conducted not only by strengthening the protective complex, countering measures, human factor indicators, provision with maintenance, but also measures to affect reliability indicators by changing the volume and types of



repairs, the spending ratio of capital and current assets. The output parameters for constructing this task system are tasks for quantities that reflect the level of risks. At the output of a task, we obtain the adjustment of volumes by types of repairs, which relate not only to the current, but primarily to capital expenditures in the Roadway department and in the Infrastructure Directorate at the network level.

Keywords: infrastructure, hybrid method, risk assessment, regression analysis of time series, verification of forecast model, assessment of parameters, acceptable risk, forecast, probability, corrective actions.

Введение

Результаты факторного анализа, в ряде случаев проводимого по величине отдельного фактора, дают основание руководству дирекции инфраструктуры ОАО «РЖД» для оценки деятельности линейных предприятий в области безопасности движения [1–6].

На текущий момент руководство блока безопасности движения Центральной дирекции инфраструктуры ОАО «РЖД» заинтересовано в более детальном и глубоком разборе и прогнозе существующих «тонких мест», поскольку имеющийся анализ не совсем соответствует новым целям и задачам, фиксирует только текущую картину и не дает возможности прогноза для своевременного устранения рисков нарушений безопасности движения (НБД) поездов.

В связи с этим в 2016 г. под руководством ЦРБ и Центральной дирекции инфраструктуры ОАО «РЖД» была разработана Методика оценки функциональных рисков в путевом комплексе, в которой риски по факторам оцениваются по вероятности возникновения нарушения безопасности движения и ситуациям, связанным с этим (а не по

величине отдельных факторов) [1]. На основе этой разработки предложен гибридный метод оценки рисков, результаты применения которого изложены в данной статье [5, 6].

Факторный анализ выполнялся на основе гибридного метода на базе региональной Дирекции инфраструктуры (Северо-Кавказской). Проведенный факторный анализ отличается от стандартного анализа следующими показателями:

1. Оценка риска производится не по величине отдельного опасного фактора, а по уровню риска, формируемого на основе учета состояния большей части основных факторов и сравнения этого риска с допустимым уровнем, определяемым стратегией гарантированного обеспечения безопасности движения.

2. Анализ позволяет среди всего спектра мер выбрать наиболее эффективно влияющие на снижение рисков возникновения НБД.

3. Оценка состояния безопасности на ПЧ по сравнению с анализом отдельного фактора является более объективной.

4. Есть возможность своевременно формировать меры по устранению возникающих угроз НБД.

Т а б л и ц а 1

Виды нарушений безопасности движения, вошедшие в реестр рисков, в соответствии с «методикой идентификации рисков»

Укрупненные названия групп рисков	№ по реестру рисков	Название рисков согласно реестру
Внутренние / основные виды рисков	1	Затопление, пожар, нарушение целостности конструкций
	2	Столкновения подвижного состава с другим подвижным составом, сход подвижного состава при поездной работе
	3	Столкновения подвижного состава с другим подвижным составом, сход подвижного состава при маневровой работе
	4	Излом рельса под железнодорожным подвижным составом
	5	Наезд железнодорожного подвижного состава на механизмы, оборудование и посторонние объекты
	6	Неограждение сигналами опасного места для движения поездов при производстве работ
	7	Неисправности пути, в результате которых допущена задержка поезда на перегоне или станции на 1 час и более
	8	Неисправность пути, потребовавшая выдачи приказа о закрытии или ограничении скорости движения поездов до 15 км/ч
Особые виды рисков	2.1	Столкновения и сходы железнодорожного подвижного состава, загруженного опасными грузами
	2.2	Столкновения и сходы подвижного состава в пассажирских поездах
	2.3	Сходы железнодорожного подвижного состава, допущенные перед искусственными сооружениями

* В исследовании рассчитывались риски 2–4, 2.1–2.3

**Виды нарушений безопасности движения, для которых рассчитывались риски***

В табл. 1 представлены виды нарушений безопасности движения, вошедшие в реестр рисков, в соответствии с Методическими рекомендациями по оценке рисков на железнодорожной инфраструктуре ОАО «РЖД» [7].

Факторы, которые учитывались в расчете

Виды факторов риска, учитываемые при проведенной оценке рисков [7] представлены в табл. 2.

Для проведения оценки рисков, связанных со сходом подвижного состава в организованных поездах, использованы данные по 25 факторам (из 42, влияющих на риск схода) с проведением анализа данных за 3 года (2014–2016 гг.).

Для оценки рисков применялась технология гибридного метода [5–6] на основе общего логико-вероятностного метода (ОЛВМ) [3–4], последовательность расчета представлена в [1]. В качестве примера на рис. 1 приведен фрагмент «дерева событий» развития фактора риска «отклонение в геометрии рельсовой колеи 3, 4 степени».

Т а б л и ц а 2

***Виды факторов**

Укрупненные названия групп факторов	Название факторов	Номер фактора в таблице классификатора
Дефектность рельсового хозяйства	Количество дефектных рельсов, лежащих в пути на 1 тыс. км главного пути	2.1
	Количество контроленепригодных рельсов на 1 тыс. км главного пути	2.2
	Количество рельсов со сверхнормативным боковым износом	2.3
	Количество дефектных металлических элементов стрелочного перевода	2.4
Отступления в содержании ВСП	Протяженность пути с неудовлетворительной балловой оценкой, км	3.1
	Количество фактов уширения колеи более допустимого	3.2
	Количество фактов сужения рельсовой колеи более допустимого	3.3
	Количество отступлений рельсовой колеи по уровню	3.4
	Количество отступлений рельсовой колеи в плане	3.5
	Количество просадок	3.6
	Количество неисправностей пути III, IV степени на 1 тыс. км	3.7
	Количество повторов неисправностей пути III, IV степени на 1 тыс. км пути	3.8
	Протяженность участков пути со сверхнормативной наработкой на 1 тыс. км главного пути	3.9
Недостатки подготовки и квалификации персонала	Неукомплектованность штата монтеров пути	8.1
	Неукомплектованность штата бригадиров пути	8.2
	Неукомплектованность штата дорожных мастеров	8.3
	Неукомплектованность штата операторов дефектоскопных тележек	8.4
	Неукомплектованность штата расшифровщиков дефектограмм, %	8.5
	Текучесть кадров рабочих профессий	8.6
	Доля работников со стажем работы в должности менее 1 года	8.7
Уровень материально-технического обеспечения	Необеспеченность инструментом и средствами малой механизации	9.1
	Неукомплектованность ПКЗ, %	9.2
	Невыполнение плана поставки материально-технических ресурсов, %	9.3
	Необеспеченность средствами измерения параметров пути и стрелочных переводов	9.4

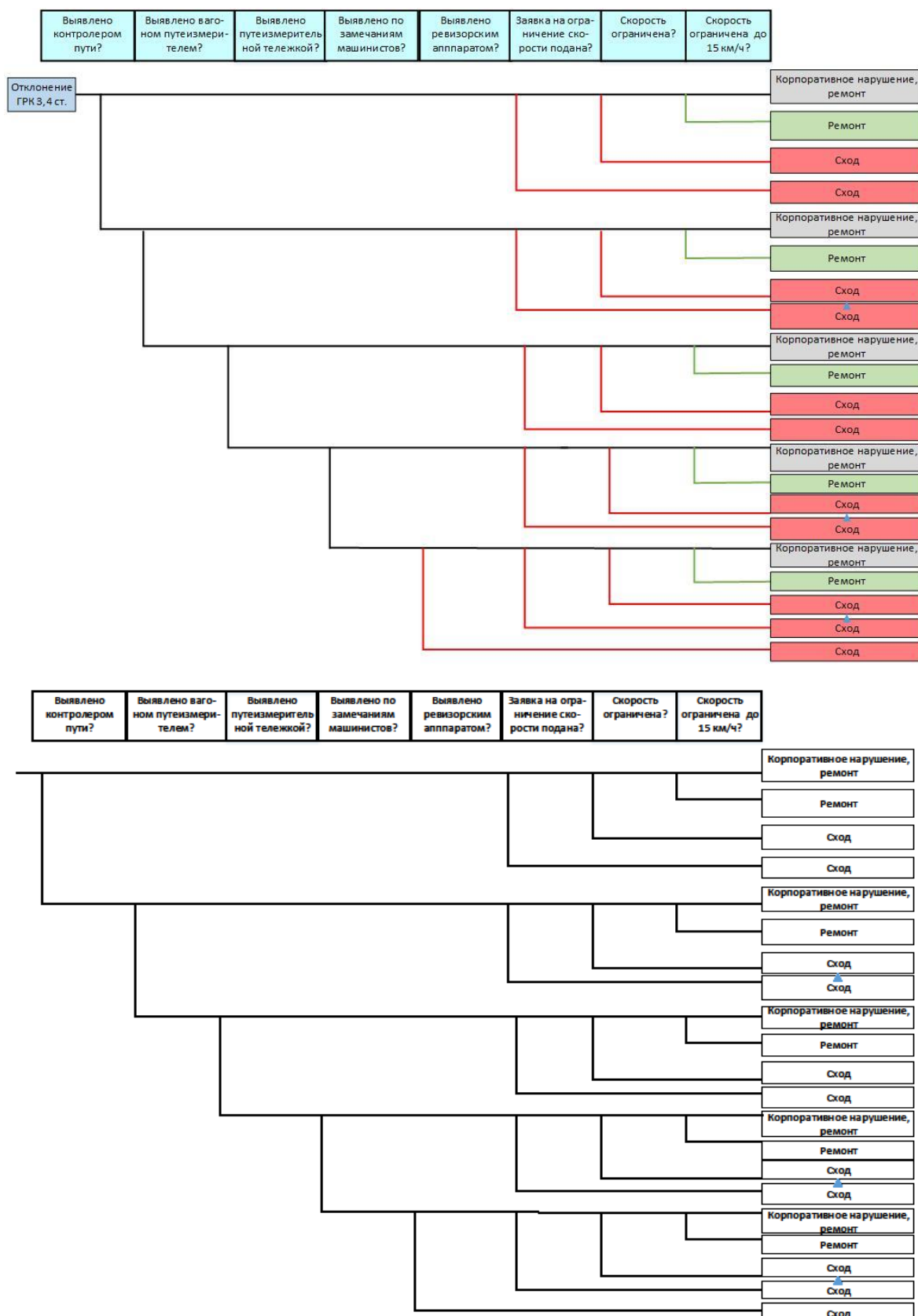


Рис. 1. Дерево событий развития фактора риска «отклонение в геометрии рельсовой колес 3, 4 степени» (горизонтальная линия из точки ветвления соответствует «да», вертикальная вниз – «нет»)



Для каждого риска по основным техническим факторам построены полные деревья событий и функции риска [8–12].

Пример функции риска «Столкновения подвижного состава с другим подвижным составом, сход подвижного состава при поездной работе», представлен ниже, формулами (1)–(7).

$$R_2 = \sum_{j=1}^4 \lambda_{2j} \cdot p_{2j} \cdot W_2, \quad (1)$$

где R_2 – риск схода при поездной работе; λ_{2j} – интенсивность первичных факторов риска вида j ; p_{2j} – вероятность превращения первичного фактора в сход; W_2 – среднее значение ущерба от схода в поезде.

Прогноз интенсивности развития первичных факторов рассчитывается по формуле

$$\lambda_{21}(X) = b_0 + b_1 x. \quad (2)$$

Для оценки параметров взята выборка из табл. 1 (x_i, λ_i) за 2013–2014 гг.

Параметры b_0, b_1 – определяются на основе метода наименьших квадратов

$$b_1 = \frac{\overline{x\lambda} - \overline{x}\overline{\lambda}}{\overline{x^2} - \overline{x}^2}; \quad (3)$$

$$b_0 = \overline{\lambda} - b_1 \overline{x}, \quad (4)$$

где

$$\overline{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i; \quad (5)$$

$$\overline{\lambda} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \lambda_i; \quad (6)$$

$$\overline{x\lambda} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \lambda_i. \quad (7)$$

Предварительно значения x_t рассчитываются по модели, задаваемой формулой

$$x_t = a + bt + c_i \delta_{ij} + u_t + e_t, \quad (8)$$

где x_t – значения ряда в момент t ; a, b – коэффициенты линейного тренда; t – время (номер квартала); c_i – коэффициенты сезонных отклонений; $\delta_{ij} = 1$, если $I = j$;

$$\delta_{ij} = 0, \text{ если } I \neq j; \quad (9)$$

$$u_t = \pm 30 \cdot L_t; \quad (10)$$

L_t – убыль (прирост) количества километров, ремонтируемых в квартале t ($t = 1, 2, 3, 4$) по сравнению с предыдущим годом; e_t – случайная компонента.

Коэффициенты a, b, c_1, c_2, c_3, c_4 вычисляются методом наименьших квадратов по следующим формулам:

$$b = \frac{\overline{tx} - \overline{t}\overline{x}}{\overline{t^2} - \overline{t}^2}; \quad (11)$$

$$a = \overline{y} - b\overline{t}, \quad (12)$$

где

$$\overline{t} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i; \quad (13)$$

$$\overline{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i; \quad (14)$$

$$\overline{ty} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i x_i; \quad (15)$$

i – целочисленный индекс (от 1 до n) [11–18].

$$c_i = \frac{\sum_{k=1}^n (y_{k=i(\bmod 4)} - \hat{y}_{k=i(\bmod 4)})}{m}, \quad (16)$$

где m – количество циклов (в данном случае лет); $k = i(\bmod 4)$ – равенство k и i по модулю 4, (т. е. выбираются значения однотипных сезонов); y_k – значение временного ряда в точке k -й квартал (t_k); \hat{y}_k – значение линейного тренда в точке k -й квартал (t_k).

Модель учитывает изменение объема управляющих воздействий в различные периоды времени по сравнению с предыдущим аналогичным сезоном (компонента u_t).

Формулы расчета p_{21} , а также вкладов факторов риска

$$p_{21}(x_1, x_2, \dots, x_{25}) = k_{n0} \cdot f_1(x_1, x_2, \dots, x_{25}) + \quad (17)$$

$$+ k_{n2} \cdot f_2(x_{12}, x_{13}, \dots, x_{19});$$

$$f_1(x_1, x_2, x_3, \dots, x_{25}) = (1 - x_1 \cdot x_2 \cdot x_3) \times \quad (18)$$

$$\times (1 - x_{20} \cdot x_{21} \cdot x_{22}) \cdot (1 - x_{23} x_{24} x_{25}) \times$$

$$\times (1 - x_{10}) \cdot (1 - x_{11});$$

$$f_2(x_{12}, x_{13}, \dots, x_{19}) = (1 - x_{12} \cdot x_{13} \cdot x_{14}) \times \quad (19)$$

$$\times (1 - x_{15} \cdot x_{16} \cdot x_{17}) \cdot (1 - x_{17} \cdot x_{18} \cdot x_{19}),$$

где $f_1(x_1, x_2, x_3, \dots, x_{25})$ – функция вероятности схода по причине невыявляемости и неведения несрабатывания ограничительных мер); $f_2(x_{12}, x_{13}, \dots, x_{19})$ – функция вероятности схода по причине нарушения технологии ремонта (своевременность и качество ремонта);

$$k_{n0} = 1; \quad (20)$$

$$k_{n2} = \frac{(\delta_3 / \delta_1) \cdot (f_1(x_1, \dots, x_{11}))}{f_2(x_{12}, \dots, x_{18})}, \quad (21)$$

где $\delta_1, \delta_3, \delta_4$ – доли подфакторов в табл. 27, приложение 5 [1].



Расчет вкладов в риск по факторам производится по формуле (15):

$$F_j = (p_{21}(x_{1,0}, \dots, x_{j,0}, \dots, x_{17,0}) - p_{21}(x_{1,0}, \dots, 1, \dots, x_{17,0})) \cdot W_2 \quad (22)$$

Везде выше x_i – переменные ($0 \leq x_i \leq 1$), отражающие степень развития факторов, $x_{i,0}$ – конкретные значения этих переменных.

Значения переменных присваиваются в соответствии с конкретными производственными данными линейного предприятия.

Суммарный учет риска по причине «челове-

ческого фактора» производится суммированием результатов для отдельных технических факторов, поскольку функционирование верхнего строения пути осуществляется на данный момент одной структурой – линейным предприятием, на нем же лежит и ответственность за его безопасное функционирование.

Формирование данных для расчета по ПЧ

Пример того, как группируются для расчета входные данные, представлен в табл. 3.

Результаты расчетов

В результате проведенных расчетов получе-

Таблица 3

Входные данные для расчета рисков и факторного анализа по ПЧ-1

год	Дефектность рельсового хозяйства			Отступления в содержании ВСП				Отклонения от норм содержания бесстыкового пути		Персонал						Факторы внешней среды			
	Количество дефектных рельсов, лежащих в главном пути	Количество острodefekтных рельсов, лежащих в главном пути	Количество дефектных металлических элементов стрелочного перевода	Протяженность пути с неудовлетворительной балсовой оценкой, км	Количество неисправностей пути III, IV ст. на 100 км	Кол-во повторов неисправностей пути III, IV степени на 100 км пути	Протяженность участков пути с сверхнормативной наработкой	Количество мест временного восстановления шпалет бесстыкового пути на 100 км пл. пути	Количество пар шпалет вне оптимальной температуры закрепления	Неукомплектованность штата монтажеров пути	Неукомплектованность штата бригадиров пути	Неукомплектованность штата дорожных мастеров	Неукомплектованность штата операторов дефектоскопных тележек	Текущая численность кадров рабочих профессий, %	Доля работников со стажем работы в должности менее 1 года, %	Необеспеченность инструментом и средствами малой механизации	Неукомплектованность ПКС, %	Невыполнение плана поставки материально-технических ресурсов, %	Необеспеченность средствами измерения параметров пути и стрелочных переводов, %
2014	96	32	2	6	47	16	66,0	40	40	98	97	100	100	1,4	1,4	13	100	70	86
2015	84	67	1	7	99	33	68,0	64,5	64,5	98	100	100	100	3,2	3,2	13	100	70	86
2016	110	31	0	9	120	40	70,0	104	104	100	100	100	100	0,0	0,0	13	100	70	86
2017	98,8	27,3	0	7	127	42	72,4	89,5	116	86	89	81	78	1,0	1,0	13	100	70	86

Таблица 4

Итоговая таблица, рассчитанная по факторам риска «сход в поездной работе» (Ростовский регион управления)

Объекты	Верхнее строение пути													Бесстыковой путь		Персонал		Факторы внешней среды			Общий уровень риска R_2																																			
	2						3							4		5		8				9																																		
Основные факторы	Дефектность рельсового хозяйства						Отступления в содержании ВСП							Отклонения в содержании		Отклонения в содержании		Недостатки подготовки и квалификации персонала			Уровень материально-технического обеспечения																																			
Показатели, определяющие степень развития факторов	Количество дефектных рельсов, лежащих в пути на 100 км главного пути						Количество дефектных металлических элементов стрелочного перевода						Протяженность пути с неудовлетворительной балсовой оценкой, км		Количество фактов заурядных колес более допустимого		Количество фактов сужения рельсовой колес более допустимого		Количество отступлений рельсовой колес по уровню		Количество отступлений рельсовой колес в шпале		Количество просярков		Количество неисправностей пути III, IV ст. на 100 км		Кол-во повторов неисправностей пути III, IV степени на 100 км пути		Протяженность участков пути с сверхнормативной наработкой на 100км главного пути		Количество мест временного восстановления шпалет бесстыкового пути на 100 км пл. пути		Количество пар шпалет вне оптимальной температуры закрепления		Количество повторно выявленных замечаний		Неукомплектованность штата монтажеров пути		Неукомплектованность штата бригадиров пути		Неукомплектованность штата дорожных мастеров		Неукомплектованность штата операторов дефектоскопных тележек		Текущая численность кадров рабочих профессий		Доля работников со стажем работы в должности менее 1 года		Необеспеченность инструментом и средствами малой механизации		Неукомплектованность ПКС, %		Невыполнение плана поставки материально-технических ресурсов, %		Необеспеченность средствами измерения параметров пути и стрелочных переводов	
№ ПЧ	2.1	2.2	2.3	2.4	3	3.2	3.3	3.4	3.5	3.6	3.7	3.8	3.9	4.1	4.2	5.1	8.1	8.2	8.3	8.4	8.6	8.7	9.1	9.2	9.3	9.4																														
ПЧ-1	15,71	15,71	1,40	28,24	2,67	0,75	0,19	0,56	16,06	4,98	20,73	5,18	7,88	0,33	3,27	6,91	21,52	20,79	2,83	4,71	0,00	0,00	21,93	0,00	19,37	9,63	88,80																													
ПЧ-3	1,69	1,69	0,60	0,38	0,47	0,31	0,08	0,24	6,76	0,55	8,73	2,18	0,47	0,64	1,93	0,15	6,41	0,00	0,00	0,00	6,38	2,13	2,95	0,00	2,72	4,14	16,6																													
ПЧ-4	11,83	11,83	0,80	0,60	12,40	2,85	0,71	2,13	68,29	4,98	81,80	1,90	14,10	3,10	14,80	21,4	32,00	28,67	0,00	0,00	55,82	24,22	28,77	0,00	25,18	42,80	146																													
ПЧ-26	8,83	8,83	0,70	10,96	0,83	0,31	0,08	0,24	6,76	0,55	11,52	2,88	0,23	0,19	1,93	2,88	27,93	20,79	2,83	0,00	20,51	6,84	4,48	3,59	6,24	6,89	44,95																													
ПЧ-27	188,3	188,3	18,83	0,73	1,69	3,37	0,84	2,33	72,53	4,98	93,61	23,40	1,16	2,40	11,99	23,4	18,19	22,98	0,00	150,2	247,8	82,60	69,60	73,41	69,67	18,20	482,1																													
ПЧ-33	18,63	18,63	1,86	3,72	0,02	0,01	0,00	0,00	0,11	0,01	0,14	0,05	0,00	0,11	1,14	1,24	11,31	0,00	0,00	29,82	11,31	3,77	3,84	0,89	4,67	0,00	42,26																													
ПЧ-35	37,73	37,73	3,77	17,32	0,951	6,35	1,59	4,76	136,5	11,11	176,1	44,03	70,45	0,74	7,42	4,33	26,57	4,19	5,95	45,96	100,02	33,34	43,39	0,00	42,51	15,28	276,3																													
	неудовлетворительный						нежелательный							допустимый		не принимаемый в расчет																																								



на оценка уровня влияния каждого из 25 факторов риска, выраженная в величине потенциальных финансовых потерь (тыс. руб. в год) от влияния факторов на 6 рисков из реестра (см. табл. 1):

1. Столкновения подвижного состава с другим подвижным составом, сход подвижного состава при поездной работе (№ 2).
2. Столкновения подвижного состава с другим подвижным составом, сход подвижного состава при маневровой работе (№ 3).
3. Излом рельса под железнодорожным подвижным составом (№ 4).
4. Столкновения и сходы железнодорожного подвижного состава, загруженного опасными грузами (№ 2.1).
5. Столкновения и сходы подвижного состава в пассажирских поездах (№ 2.2).
6. Сходы железнодорожного подвижного состава, допущенные перед искусственными сооруже-

жениями (№ 2.3).

Результаты расчетов вкладов факторов в риск содержатся в табл. 4.

Оценка рейтинга дистанций пути произведена в данном случае по «уровню риска» R2 – «Столкновения подвижного состава с другим подвижным составом, сход подвижного состава при поездной работе» (см. табл. 1).

Результаты расчетов сведены в табл. 5.

Оценка значимости рисков и влияние факторов

Значимость рисков и влияния факторов оценивалась с помощью матрицы риска [13–18], представленной на рис. 2. Она содержит следующие обозначения: $R_{1,2,3}$ – номер фактора в таблице классификатора рисков [3], где 1 – (первое значение индекса) – код риска в реестре; 2, 3 – (последующие значения) номер фактора в табл. 2.

Таблица 5

Корректирующие мероприятия по снижению риска на ПЧ-1 – «Шахтинская»

№ п/п	Название фактора	Мера по снижению риска до допустимого значения
1	Количество дефектных металлических элементов стрелочного перевода	Отремонтировать (заменить) дефектные детали на 40 стрелочных переводах
2	Необеспеченность инструментом и средствами малой механизации	Добиться увеличения укомплектованности инструментом и средствами малой механизации до уровня 98 %
3	Неукомплектованность штата монтеров пути	Укомплектовать штат до 100 %
4	Неукомплектованность штата бригадиров пути	Укомплектовать штат до 100 %
5	Количество неисправностей пути III, IV степени на 100 км. Количество отступлений рельсовой колеи в плане	Сохранить объемы применения планово-предупредительной выправки пути на уровне 2017 г.
6	Невыполнение плана поставки материально-технических ресурсов, %	Увеличить % выполнения плана поставки материально-технических ресурсов до 85

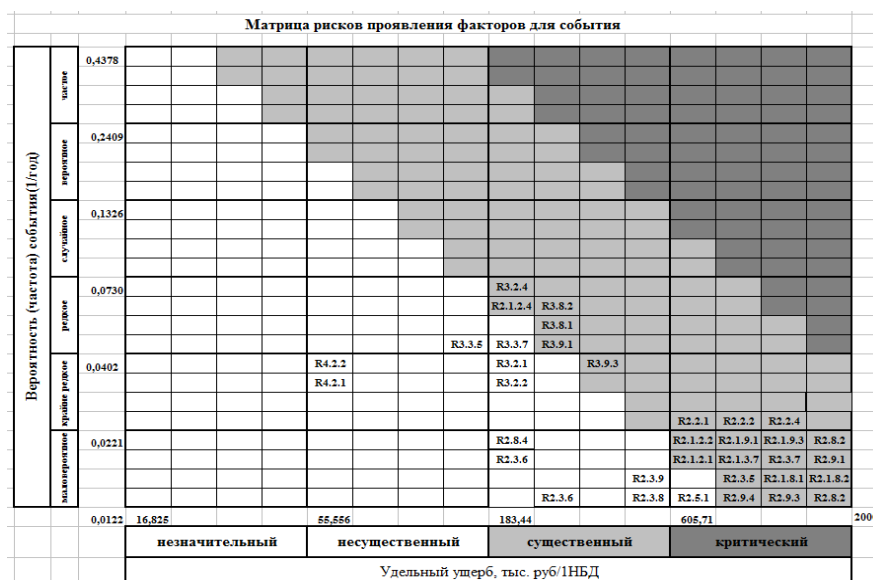


Рис. 2. Матрица рисков ПЧ-1 проявления факторов для события «столкновение, сход в поездной работе»



Рис. 3. Диаграмма рейтингов линейных предприятий по уровню риска

В зоне уровня «недопустимый» в порядке убывания риска находятся: ПЧ-32; ПЧ-27; ПЧ-19; ПЧ-35; ПЧ-22; ПЧ-24; ПЧ-4 (рис. 3).

Формирование мероприятий по корректировке риска

По результатам расчетов сформированы мероприятия по уменьшению риска на этих дистанциях до уровня «нежелательный».

Пример таких мероприятий по снижению риска на ПЧ-1 – «Шахтинская» в табл. 5.

Данные по факторам, вклад которых в риск находится в зоне «нежелательный», приведены в табл. 4.

Выводы

Разработанная методика оценки функциональных рисков для хозяйства пути позволяет проводить факторный анализ, отличающейся от стандартного, целым рядом преимуществ:

1. Оценка риска производится не по величине отдельного опасного фактора, а по уровню риска, формируемого на основе учета состояния большей части основных факторов и сравнения этого риска с допустимым уровнем, определяемым стратегией гарантированного обеспечения безопасности движения.

2. Анализ позволяет среди всего спектра мер выбрать наиболее эффективно влияющие на снижение рисков возникновения НБД.

3. Более объективно оценивается состояние безопасности на ПЧ по сравнению с анализом отдельного фактора.

4. Появляется возможность своевременно формировать меры по устранению возникающих угроз НБД.

Одновременно выявился ряд недостатков в системе сбора информации, применяемой для оценки рисков:

1. Для объективного прогноза интенсивностей факторов технического плана необходим не только временной анализ рядов, но и мер, направленных на улучшение состояния инфраструктуры. Нужен учет управляющих воздействий в рамках работ по текущему содержанию пути и планово-предупредительному ремонту верхнего строения пути.

2. По данным учета «человеческого фактора» для более точной оценки рисков, связанных с этим фактором, необходимо, чтобы данные представлялись не по текучести, а по распределению персонала по стажу работы в категориях.

Указанные недостатки предполагается устранять по мере развития нормативной документации по управлению рисками в хозяйстве пути и сооружений, а также дальнейшего применения гибридного метода на линейном, региональном и центральных уровнях.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Методика идентификации рисков в области функциональной безопасности движения поездов на инфраструктуре ООО «РЖД» для управления пути и сооружений : распоряжение ОАО «РЖД» № 4246р от 01.12.2016 г. М., 2016.
2. Можаяев А.С. Современное состояние и некоторые направления развития логико-вероятностных методов анализа систем. Ч. I // Теория и информационная технология моделирования безопасности сложных систем. Вып. 1 СПб. : ИПМАШ РАН, 1994. С. 23–53.
3. Можаяев А.С. Общий логико-вероятностный метод анализа надёжности сложных систем. Л. : ВМА им. Гречко, 2000. 68 с.
4. Рябинин И.А., Черкасов Г.Н. Логико-вероятностные методы исследования надёжности структурно-сложных систем. М. : Радио и связь, 1981. 248 с.
5. Верёвкина О.И. О системе оценки рисков в области функциональной безопасности движения поездов // Мир транспорта. 2017. Т. 15. № 6 (73). С. 206–221.
6. Верёвкина О.И. О гибридном методе прогнозирования рисков на железнодорожном транспорте на основании общего логико-вероятностного метода // Изв. Петербург. ун-та путей сообщ. 2017. Т.14. № 4. С. 615–627.



7. Методические рекомендации по оценке рисков на железнодорожной инфраструктуре ОАО «РЖД». М., 2011. 104 с.
8. Методика оценки рисков в области функциональной безопасности движения на инфраструктуре ОАО «РЖД». М., 2016. 72 с.
9. ГОСТ Р 54505–2011. Безопасность функциональная. Управление рисками на железнодорожном транспорте». М. : Федер. агентство по техн. регулированию и метрологии, 2011. 34 с.
10. Методика нормирования и оценки риска транспортных происшествий и иных событий, связанных с нарушениями правил безопасности движения и эксплуатации железнодорожного транспорта. М. : РЖД, 2016. 60 с.
11. ГОСТ Р ИСО 31000–2010. Менеджмент риска. Принципы и руководство : утв. приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 21.12.2010 г. № 883-ст. М., 2010.
12. ГОСТ Р МЭК 62502-2014. Менеджмент риска. Анализ дерева событий. М. : Федер. агентство по техн. регулированию и метрологии, 2015. 30 с.
13. Методические рекомендации по построению матрицы рисков : распоряжение ОАО «РЖД» № 1946р от 22.09.2016. М., 2016.
14. СТО РЖД 02.041-2011. Управление ресурсами, рисками и надежностью на этапах жизненного цикла (УПРАН). Системы, устройства и оборудование путевого хозяйства. Требования надежности и функциональной безопасности. М., 2011.
15. Quinlan J.R. Induction of decision trees // *Mach.Learn.* 1986. Vol. I. P. 81–106.
16. Armstrong J.S. Principles of forecasting: A handbook for researchers and practitioners. USA, 2002. P. 849.
17. Manwani N., Sastry P.S. Geometric decision tree // *IEEE Trans. Syst. Man. Cybern* 2012. Vol. 42. Issue 1. P. 181–192
18. Lim T.S., Loh W.Y., Shih Y.S. An empirical comparison of decision trees and other classification methods // *Tech. Report, Dep.Stat. Univ. Wisconsin.* 1997. P. 1–38.

REFERENCES

1. Metodika identifikatsii riskov v oblasti funktsional'noi bezopasnosti dvizheniya poezdov na infrastrukture OOO «RZhD» dlya upravleniya puti i sooruzhenii (Rasporyazhenie ОАО «RZhD» No. 4246r ot 01.12.2016g.) [Methods of identifying risks in the field of functional safety of train traffic on the infrastructure of Russian Railways for the management of the track and facilities (Order of Russian Railways No. 4246r dated December 01, 2016)]. Moscow, 2016.
2. Mozhaev A.S. Sovremennoe sostoyanie i nekotorye napravleniya logiko-veroyatnostnykh metodov analiza sistem. Chast' I [The current state and some areas of logical-probabilistic methods for analyzing systems. Part I]. *Teoriya i informatsionnaya tekhnologiya modelirovaniya bezopasnosti slozhnykh system [Theory and Information Technology for Modeling the Security of Complex Systems]*. Issue 1. In Ryabinin I.A. (ed.). St. Petersburg: IPMAsh RAN Publ., 1994, pp. 23–53.
3. Mozhaev A.S. Obshchii logiko-veroyatnostnyi metod analiza nadezhnosti slozhnykh system [General logic-probabilistic method for analyzing the reliability of complex systems]. Leningrad: Grechko VMA Publ., 2000. 68 p.
4. Ryabinin I.A., Cherkasov G.N. Logiko-veroyatnostnye metody issledovaniya nadezhnosti strukturno-slozhnykh system [Logical and probabilistic methods for studying the reliability of structurally complex systems]. Moscow: Radio i svyaz' Publ., 1981. 248 p.
5. Verevkina O.I. O sisteme otsenki riskov v oblasti funktsional'noi bezopasnosti dvizheniya poezdov [On the system of risk assessment in the field of functional traffic safety]. *Mir Transporta [World of Transport]*, 2017, Vol. 15. No. 6 (73), pp. 206–221.
6. Verevkina O.I. O gibridnom metode prognozirovaniya riskov na zheleznodorozhnom transporte na osnovanii obshchego logiko-veroyatnostnogo metoda [On a hybrid method for predicting risks in railway transport on the basis of a common logical-probabilistic method]. *Izvestiya Peterburgskogo universiteta putei soobshcheniya [Izvestiya of Peterburg Transport University]*, 2017. Vol.14. No. 4, pp. 615–627.
7. Metodicheskie rekomendatsii po otsenke riskov na zheleznodorozhnoi infrastrukture ОАО «RZhD» (razrabotchik NIIAS, utv. 21.11.2011 g.) [Methodological recommendations on risk assessment on the railway infrastructure of JSC “Russian Railways” (developed by NIIAS, approved on November 21, 2011)]. Moscow, 2011. 104 p.
8. Metodika otsenki riskov v oblasti funktsional'noi bezopasnosti dvizheniya na infrastrukture ОАО «RZhD» [Risk assessment methodology in the field of functional traffic safety on the infrastructure of Russian Railways]. Moscow: ОАО «RZhD» Publ., 2016. 72 p.
9. ГОСТ R 54505–2011. Bezopasnost' funktsional'naya. Upravlenie riskami na zheleznodorozhnom transporte» [Security is functional. Railway risk management]. Moscow: Federal Agency for Technical Regulation and Metrology Publ., 2011. 34 p.
10. Metodika normirovaniya i otsenki riska transportnykh proisshestvii i inykh sobytii, svyazannykh s narusheniyami pravil bezopasnosti dvizheniya i ekspluatatsii zheleznodorozhnogo transporta [Methods of rationing and risk assessment of traffic accidents and other events related to violations of traffic safety rules and operation of railway transport]. Moscow: ОАО «RZhD» Publ., 2016. 60 p.
11. ГОСТ R ISO 31000–2010. Menedzhment riska. Printsipy i rukovodstvo. Utv. prikazom Federal'nogo agentstva po tekhnicheskomu regulirovaniyu i metrologii ot 21.12.2010 g. No. 883-st [Risk management. Principles and leadership. Approved by order of the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology dated December 21, 2010, No. 883-st.]. Moscow, 2010.
12. ГОСТ R MEK 62502-2014. Menedzhment riska. Analiz dereva sobytii [Risk management. Analysis of the event tree]. Moscow: Federal Agency for Technical Regulation and Metrology Publ., 2015. 30 p.
13. Metodicheskie rekomendatsii po postroeniyu matritsy riskov (rasporyazhenie ОАО «RZhD» No. 1946r ot 22.09.2016 g.) [Methodological recommendations on the construction of a risk matrix (order of JSC “Russian Railways” No. 1946r dated September 22, 2016)]. Moscow, 2016.
14. СТО RZhD 02.041-2011. Upravlenie resursami, riskami i nadezhnost'yu na etapakh zhiznennogo tsikla (URRAN). Sistemy, ustroystva i oborudovanie putevogo khozyaistva. Trebovaniya nadezhnosti i funktsional'noi bezopasnosti [Management of resources, risks and reliability at the stages of the life cycle (URRAN). Systems, devices, and equipment for track facilities. Requirements of reliability and functional safety]. Moscow, 2011.
15. Quinlan J.R. Induction of decision trees. *Mach.Learn.* 1986. Vol.I, pp. 81-106.
16. Armstrong J.S. Principles of forecasting: A handbook for researchers and practitioners. USA, 2002, p. 849.
17. Manwani N., Sastry P.S. Geometric decision tree. *IEEE Trans. Syst. Man. Cybern* 2012. Vol.42. Issue 1, pp. 181-192.
18. Lim T.S., Loh W.Y., Shih Y.S. An empirical comparison of decision trees and other classification methods. *Tech. Report, Dep.Stat.Univ.Wisconsin*, 1997, pp. 1-38.



Информация об авторах

Authors

Веревкина Ольга Ивановна – к. т. н., доцент кафедры «Управление эксплуатационной работой», Ростовский государственный университет путей сообщения, г. Ростов-на-Дону, e-mail: ov18111966@mail.ru

Olga Ivanovna Verevkinina – Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor of the Subdepartment of Management of Operational Work, Rostov State Transport University, Rostov-on-Don, the Russian Federation, e-mail: ov18111966@mail.ru

Для цитирования

For citation

Веревкина О. И. Применение гибридного метода оценки функциональных рисков нарушения безопасности движения в хозяйстве пути на железнодорожном транспорте / О. И. Веревкина // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2019. – Т. 61, № 1. – С. 55–64. – DOI: 10.26731/1813-9108.2019.1(61).55–64

Verevkinina O. I. Primeneniye gibridnogo metoda otsenki funktsional'nykh riskov narusheniya bezopasnosti dvizheniya v khozyaistve puti na zheleznodorozhnom transporte [The results of applying the hybrid method to assess functional risks of traffic safety infringement on the regional and linear levels in the railway transport]. *Sovremennyye tekhnologii. Sistemnyy analiz. Modelirovaniye* [Modern Technologies. System Analysis. Modeling], 2019, Vol. 61, No. 1, pp. 55–64. DOI: 10.26731/1813-9108.2019.1(61).55–64

УДК 620.9: 656.2

DOI: 10.26731/1813-9108.2019.1(61).64–73

Н. А. Махутов¹, В. В. Москвичев^{2,3}, В. А. Кулагин³

¹Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН

²Институт вычислительных технологий СО РАН, Красноярский филиал

³Сибирский федеральный университет

Дата поступления: 25 сентября 2018 г.

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА И ВОЗМОЖНОСТИ РАЗВИТИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА СИБИРИ

Аннотация. В статье рассмотрены взаимозависимые проблемы развития топливно-энергетического комплекса и железнодорожного транспорта Сибири. Дается общая характеристика угледобычи (объемы, схемы транспортировки) и топливно-энергетического комплекса (энергетический потенциал, объемы генерации энергии), технологические, финансовые и техногенные риски, объемы и направления грузооборота угля. Особое внимание уделяется проблемам эксплуатации объектов тепловой энергетики и технологиям переработки углей. Отмечены перспективы расширенного применения водоугольного топлива, его экологические, технологические и экономические преимущества. Энергетическая система генерации и транспортировки, существующая инфраструктура обеспечивают стабильность энергоснабжения железнодорожных перевозок, при этом рассматриваются возможности повышения их надежности путем реализации новых проектов развития. Сформулированы перспективные задачи исследований рассмотренной проблемы и взаимосвязанного анализа документов стратегического планирования.

Ключевые слова: железнодорожный транспорт, энергетика, топливно-энергетический комплекс, угледобыча, технологии переработки, грузооборот, водоугольное топливо.

N. A. Makhutov¹, V. V. Moskvichev^{2,3}, V. A. Kulagin³

¹ Mechanical Engineering Research Institute of the RAS

² Institute of Computational Technologies of the Siberian Branch of the RAS, Krasnoyarsk Office

³ Siberian Federal University

Received: September 25, 2018

MODERN TECHNOLOGIES OF THE FUEL AND ENERGY COMPLEX AND THE POSSIBILITY OF THE SIBERIA RAILWAY TRANSPORT DEVELOPMENT

Abstract. The article considers interdependent problems of the development of the fuel and energy complex and Siberia railway transport. It gives the general characteristics of coal production (volumes, transportation schemes) and of fuel and energy complex (en-