О. И. Верёвкина

Ростовский государственный университет путей сообщения, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

Дата поступления: 02 июня 2019 г.

ОЦЕНКА ВКЛАДА МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОГО СНАБЖЕНИЯ В РИСКИ НАРУШЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПО ПРИЧИНЕ НЕКАЧЕСТВЕННОГО РЕМОНТА И НЕСОБЛЮДЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ

Аннотация. В статье рассмотрен метод оценки и анализа функциональных рисков на инфраструктуре хозяйства пути железнодорожной транспортной системы. Основы метода достаточно широко изложены в открытой печати, однако описания подсистемы оценки риска по причине некачественного ремонта представлено не было. Данная работа ликвидирует этот пробел. В ней представлена общая схема оценки рисков безопасности движения по факторам, предложен способ трансформации функции вероятности нарушения правил ремонта в функцию вероятности нарушения безопасности движения по причине некачественного ремонта. Для этого решается задача минимизации невязки в нелинейном уравнении, определяющем масштабированные факторы вероятности нарушения безопасности движения по причине ремонта. Приведены результаты расчетов на уровне линейного предприятия, а также схема и основные черты алгоритма оценки фактических и прогнозных вкладов человеческого фактора и факторов материально-технического снабжения в риски нарушений безопасности железнодорожных перевозок по причине некачественного ремонта и нарушения технологии. Разработанный алгоритм может использоваться как подсистема для факторного анализа рисков безопасности движения поездов на различных уровнях хозяйства пути и искусственных сооружений. Произведенные расчеты показали, что объективный учет влияния полноты материально-технического снабжения, укомплектованности и текучести кадров позволяют дополнить список мер такими мерами, выполнение которых положительно сказывается на динамике рисков в сторону их уменьшения. Расчеты показывают значительную нелинейную степень уменьшения рисков при положительной динамике факторов (улучшения состояния) материально-технического и «человеческого» факторов. При этом даже некоторое ухудшение состояния факторов «технического состояния» и рост рисков, связанный с этим, с лихвой компенсирован улучшением материально-технического снабжения и человеческого фактора.

Ключевые слова: инфраструктура, гибридный метод, оценка рисков, параметры допустимого риска, некачественный ремонт, корректирующие мероприятия.

О. I. Verevkin

Rostov State Transport University, Rostov-on-Don, the Russian Federation

Received: June 02, 2019

EVALUATION OF THE CONTRIBUTION OF LOGISTICS TO RISKS OF SECURITY BREACHES DUE TO POOR MAINTENANCE AND LACK OF TECHNOLOGY

Abstract. The article describes the method of assessment and analysis of functional risks on the infrastructure of the railway transport system. The basics of the method are widely stated in the open press, but there have been no description of the risk assessment subsystem due to poor repair. This article bridges this gap. A general scheme of traffic safety risk assessment by factors has been developed. The proposed method is to transform the function of probability of repair rules' violation into that of traffic safety violation due to poor maintenance. To do this, we solve the problem of minimizing the residual in a nonlinear equation that determines the scaled factors of the probability of traffic safety violations due to repair. The article provides the results of calculations at the level of the linear enterprise, as well as the scheme and the main features of the algorithm for assessing the actual and projected contributions of the human factor and factors of logistics to the risks of rail transport safety violations due to poor repair and violation of technology. The developed algorithm can be used as a subsystem for factor analysis of train traffic safety risks at different levels of track facilities and artificial structures. The calculations have shown that an objective account of the impact of the completeness of logistics, staffing and staff turnover allow complementing the list of measures by the actions, whose implementation has a positive impact on the dynamics of risks towards their reduction. The calculations show a significant non-linear degree of risk reduction with positive dynamics of factors (improvement) of the material-and-technical and "human" factors. At the same time, even though the state of the factors of "technical state" deteriorated to some extent and risks associated with this increased, this is more than compensated by the improvement of logistics and human factor.

Keywords: infrastructure, hybrid method, risk assessment, assessment of parameters of acceptable risk, forecast, probability, poor quality repair, corrective measures.

Общая схема оценки рисков и факторизации показателей

Общая схема оценки рисков представлена под названием «гибридный метод» [1–4], поскольку

ку сочетает в себе общий логико-вероятностный метод [5–7] и статистические данные, которые используются для контроля общих значений. Большую важность при установлении рисков имеют

задачи определения оптимального управления и методы автоматизации для повышения безопасности работы железнодорожной транспортной системы [9–14].

Подсистема оценки рисков по факторам материально-технического снабжения и человеческого фактора

Общая схема подсистемы оценки рисков по факторам материально-технического снабжения (МТС) и человеческого фактора и основные этапы реализации представлены ниже (рис. 1).

В отличие от оценок функциональных рисков по факторам риска технического состояния (отклонения ГРК 3, 4 степени, дефектность рельс, дефектность металлических частей стрелочных переводов, путь на деревянном основании) в данном случае на первом месте стоят факторы, приводящие к нарушению правил ремонта (ПР) и технологии ремонта (ТР) – пункт 2 схемы (рис. 1) и далее, при наличии данных, выполнимый пункт 3. Однако это дерево дает функцию вероятности наличия или отсутствия нарушений ПР и ТР, а для оценки появления факторов риска необходим пункт 3 оценки фактической вероятности НБД по причине ПР и ТР (на один фактор риска технического состояния) и пункт 4 – такое масштабирование ранее полученных аргументов функции ве-

роятности (нарушений ПР и ТР), которое приводит к появлению фактора риска после ремонта. В результате масштабирования получаем функцию вероятности появления факторов риска НБД по причине ремонта (пункт 5 схемы).

Дальнейшее построение дерева событий (пункт 6 схемы), приводящее фактор риска к НБД (на выходе), дающее возможность определить вероятность НБД на 1 фактор риска (пункт 7), что позволяет в итоге установить вероятность НБД по причинам нарушений ПР и ТР (пункт 8) и реализовать схемы Бирнбаума [5–7] по определению вкладов в риск первичных факторов, а далее выполнить пункты 9 и 10 схемы.

Далее приведена схема, на основании которой производится масштабирование (рис. 2), при оценке риска для НБД по фактору неисправностей ГРК 3, 4 степени.

Доля в общем количестве случаев нарушений (НБД)

Здесь δ_1 , δ_2 , δ_3 доли в количественной оценке фактора риска типа j , которую обозначим λ .

$$\delta_1 + \delta_2 + \delta_3 = 1.$$

Реализация представленной схемы

Пункт 1 схемы (см. рис. 1) реализуется на основе методики идентификации факторов риска при ремонте [2] (табл. 1).

Рис. 1. Общая схема факторного анализа рисков при ремонте

Рис. 2. Схема, используемая для получения условий при масштабировании значений аргументов функции вероятности

Т а б л и ц а 1

Виды факторов		
Группа факторов	Название фактора	Условный №
Недостатки подготовки и квалификации персонала	Неукомплектованность штата монтеров пути	1
	Неукомплектованность штата бригадиров пути	2
	Неукомплектованность штата дорожных мастеров	3
	Неукомплектованность штата операторов дефектоскопных тележек	4
	Текучесть кадров рабочих профессий	5
	Доля работников со стажем работы в должности менее 1 года	6
Уровень материально-технического обеспечения	Необеспеченность инструментом и средствами малой механизации	7
	Неукомплектованность ПКЗ, %	8
	Невыполнение плана поставки материально-технических ресурсов, %	9
	Необеспеченность средствами измерения параметров пути и стрелочных переводов	10

Пункт 2 – дерево событий строится в соответствии с [8], горизонтальная линия в точке ветвления – да, вертикальная – нет. Представлена укрупненная схема дерева событий (рис. 3).

Пункт 3. На основании дерева событий строится функция вероятности отсутствия нарушений при ремонте и представляется выражением, которое строится с помощью дерева событий, (горизонтальная верхняя линия – да, вертикальная – нет [8]:

$$F(x_1, x_2, x_3, \dots, x_8, x_9) = \prod_{k=1}^9 x_k. \quad (1)$$

Формирование конкретных значений аргументов x_i производится по индивидуальным математическим моделям.

Функция вероятности наличия нарушений при ремонте и нарушениях технологии:

$$P(x_1, x_2, x_3, \dots, x_8, x_9) = 1 - \prod_{k=1}^9 x_k. \quad (2)$$

Для конкретной ситуации на линейном предприятии математическое ожидание количества ремонтов с нарушением технологии или ПР рассчитывается по формулам:

$$Q = N * P(q_1, q_2, q_3, \dots, q_8, q_9),$$

$$P(q_1, q_2, q_3, \dots, q_8, q_9) = 1 - \prod_{k=1}^9 q_k, \quad (3)$$

где $q_1, q_2, q_3, \dots, q_8, q_9$ – конкретные значения аргументов, получаемые из данных по МТС и состоянию «человеческого фактора»; N – количество ремонтов; x_i – переменные ($0 \leq x_i \leq 1$), определяющие состояние по компонентам ремонта; $i = 1-9$ – целый индекс.

При этом в промежутке времени, в котором рассматривается задача, имеются четкие значения названных переменных, обозначаемые соответственно $q_1^*, q_2^*, \dots, q_9^*$:

$$F(q_1^*, q_2^*, \dots, q_9^*) = \prod_{k=1}^9 q_k \quad (4)$$

Рис. 3. Укрупненное дерево событий возникновения нарушений при ремонте

Пункт 4. Масштабирование переменных строится на том, что топология дерева событий, приводящая к возникновению фактора риска, такая же, как и на (рис. 3), а, следовательно, функция вероятности отсутствия факторов риска при ремонте представляется таким же выражением, однако переменные другие:

$$q_1^*, q_2^*, \dots, q_9^*, \quad (5)$$

а функции:

$$F(q_1^*, q_2^*, \dots, q_9^*) = \prod_{k=1}^9 q_k^*. \quad (6)$$

Значение этой функции при таких переменных известно (обычно из АС РБ по инфраструктуре), однако сами q_i^* неизвестны.

При факторном анализе задача состоит в том, чтобы определить значения (5), исходя из известного из статистики $Q = (\delta_1 + \delta_2) \times \lambda$, или

$$N \times P(q_1^*, q_2^*, \dots, q_9^*) = (\delta_1 + \delta_2) \times \lambda, \quad (7)$$

где λ – текущая интенсивность фактора риска типа $j = 1 - 7$; N – общее количество ремонтов, направленных на устранение и предупреждение факторов риска типа j ; $P(q_1^*, q_2^*, \dots, q_9^*)$ – значение функции вероятности возникновения фактора риска по причине нарушения технологии или ПР:

$$P(q_1^*, q_2^*, \dots, q_9^*) = 1 - \prod_{k=1}^9 q_k^*. \quad (8)$$

Математическая формулировка этой задачи, следующая: построить преобразование чисел $q_1, q_2, \dots, q_9$ в числа $q_1^*, q_2^*, \dots, q_9^*$, при котором

$$F(q_1^*, q_2^*, \dots, q_9^*) = C, \quad (9)$$

где C – полученная из расчетов константа и выполняются нечеткие соотношения, выраженные определенными термами.

1. При $q_i = 1$, то $q_i^* = 1$ (если состояние фактора совершенно, то он не вносит вклад в появление факторов риска).

2. Чем ближе q_i к 1, тем меньше изменение его при преобразовании в q_i^* .

3. Если $q_i = q_k$, то $q_i^* = q_k^*$ (равно несовершенные факторы вносят одинаковый вклад в появление риска).

4. Если $q_i < q_k$, то

$$q_i^* < q_k^*. \quad (10)$$

Расчет факторов q_i^* строится путем решения задачи минимизации разности:

$$\prod_{k=1}^9 q_k^* - C \rightarrow \min. \quad (11)$$

При этом q_i^* ($i = 1-n$) должны лежать в промежутке $(\delta, 1)$, $\delta > 0$, и удовлетворять приведенным требованиям (10)–(11).

После масштабирования, с учетом выполнения пунктов 5–6 и с использованием вероятности НБД на 1 фактор риска, получаем, что вероятность НБД по причине ремонта рассчитывается по формуле:

$$P_{\text{нбд}}(q_1^*, q_2^*, \dots, q_9^*) = (\delta_1 + \delta_2)(\lambda / N)p, \quad (12)$$

где p – вероятность НБД на 1 фактор риска по технической составляющей, рассчитанная с помощью дерева событий и функции вероятности [3–4].

Расчет вклада по (Бирнбауму) [5–6] фактора i производится по формулам:

$$P_{\text{нбд}}(\phi_i) = P_{\text{нбд}}(x_i = 1) - P_{\text{нбд}}(x_i = q_i^*). \quad (13)$$

Соответственно, риск по фактору в едином экономическом эквиваленте рассчитывается по формуле:

$$R(\phi_i) = P_{\text{нбд}}(\phi_i)W, \quad (14)$$

где W – приведенный средний ущерб от вида НБД, риск которого анализируется; $R(\phi_i)$ – вклад в риск НБД фактора с номером i .

При таком подходе появляется возможность получить вклады от человеческого фактора и фак-

Т а б л и ц а 2

Данные по факторам риска

Год		Дефектность рельсового хозяйства			Отступления в содержании ВСП			Отклонения от норм содержания бесстыкового пути		Персонал						Факторы материально-технического снабжения			
		Количество дефектных рельсов, лежащих в главном пути	Количество остродефектных рельсов, лежащих в главном пути	Количество дефектных металлических	Протяженность пути с неудовлетворительной балловой 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 плетей бесстыкового пути на 100 км гл. пути	Количество пар плетей вне оптимальной температуры закрепления	Неукомплектованность штата монтеров пути	Неукомплектованность штата бригадиров пути	Неукомплектованность штата дорожных мастеров	Неукомплектованность штата операторов дефектоскопных тележек	Текущесть кадров рабочих профессий, %	Доля работников со стажем работы в должности менее 1 года, %	Необеспеченность инструментом и средствами малой механизации	Неукомплектованность ПКЗ** , %	Невыполнение плана поставки материально-технических ресурсов, %
2015	112	14	10	29	183	61	2,7	189	78	98	100	100	100	3,8	4	18,3	27	57	71
2016	157	52	12	28	280	93	2,7	237	196	100	100	100	100	0,0	0	18,3	29	57	71
2017	268	146	0	10	107	36	2,7	235	294	96	95	100	88	2,2	2	18,3	32,8	57	71
2018	298	52	22	4	165	22	28,3	417	1	98	98	100	85	2,0	2	37,2	100	65	95

** ПКЗ – километровый запас

торов МТС, проведя суммирование по всем видам ремонтов, в основной сфере деятельности линейного предприятия, региональной и центральной дирекциях, т. е. по сети железных дорог в целом.

Ниже приведен пример результатов расчета вкладов в риск факторов МТС для инфраструктуры одного из линейных предприятий Северо-Кавказской дирекции и влияние динамики факторов на вклады в риск.

Представлена динамика развития факторов риска (технического состояния ВСП, МТС, укомплектованности) в 2015–2018 гг. (табл. 2).

Имеет место рост показателей «Количество неисправностей пути III, IV», «Количество мест временного восстановления плетей бесстыкового пути на 100 км гл. пути».

Наблюдается положительная динамика фактора на промежутке 2017–2018 гг.; улучшилось состояние факторов ПКЗ с 62 до 100 %, выполнение плана поставки материально-технических ресурсов; обеспеченность средствами измерения пути и стрелочных переводов; – неуккомплектованность штата монтеров пути; – неуккомплектованность штатов бригадиров пути; укомплектованность штатов операторов дефектоскопных тележек.

Результаты расчета рисков и динамика рисков

Одним из этапов расчета является расчет параметров матрицы риска [9, 10], ниже приведены границы уровней риска для данного предприятия (табл. 3), представлены результаты расчета и оценивания риска по факторам (табл. 4).

Общий уровень риска за счет принимаемых мер сократился в 2,5 раза, однако находится в категории «недопустимый».

Заклучение

Расчеты показали, что объективный учет влияния полноты МТС, укомплектованности и текучести кадров позволяют дополнить список мер такими мерами, выполнение которых положительно сказывается на динамике рисков (их уменьшения).

Также показана значительная нелинейная степень уменьшения рисков при положительной динамике факторов (улучшение состояния) материально-технического и «человеческого» фактора. При этом даже некоторое ухудшение состояния факторов «технического состояния» и рост рисков, связанный с этим, с лихвой компенсирован улучшением МТС и человеческого фактора.

Таблица 3

Таблица границ уровней риска (тыс. руб.)

Категория, цвет	Недопустимый	Нежелательный	Допустимый (Приемлемый)	Не принимаемый в расчет
Границы категории	$73,01 < R$	$12,17 < R < 73,01$	$2,03 < R < 12,17$	$R < 2,03$

Таблица 4

Распределение риска по факторам в 2017–2018 гг. (тыс. руб. / год)

Основные факторы	Недостатки подготовки и квалификации персонала						Уровень материально-технического обеспечения				Общий уровень риска*
	Неуккомплектованность штата монтеров пути	Неуккомплектованность штата бригадиров пути	Неуккомплектованность штата дорожных мастеров	Неуккомплектованность штата операторов дефектоскопных тележек	Текучесть кадров рабочих профессий	Доля работников со стажем работы в должности менее 1 года	Необеспеченность инструментом и средствами малой механизации	Неуккомплектованность ПКЗ, %	Невыполнение плана поставки материально-технических ресурсов, %	Необеспеченность средствами измерения параметров пути и стрелочных переводов	
2017 г.	90	93	0,0	150	247	82	69	73	69	18	482
2018 г.	32,6	32,4	0,0	64,4	92,4	28,1	28,6	29,0	28,6	9,2	212

* – Общий уровень риска определялся с учетом факторов технического состояния, схема расчетов которых приведена в [3–4].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Черняк Л.А. Комбинаторно-графовый метод анализа надёжности сложных систем с монотонными булевыми функциями // Автоматика и телемеханика. 1991. №4. 165–174.
2. Черняк А.А., Черняк Ж.А. Логико-вероятностный метод анализа надёжности систем большой размерности // Автоматика и телемеханика. 1998. №1, 171–180.
3. Викторова В.С., Сverdlik Ю.М., Степанянц А.С. Анализ надёжности систем сложной структуры на многоуровневых моделях // Автоматика и телемеханика. 2010. № 7. 143–148.
4. Quinlan J.R. Induction of decision trees // Mach.Learn. 1986. Vol. I. P. 81–106.
5. Manwani N., Sastry P.S. Geometric decision tree // IEEE Trans. Syst. Man. Cybern. 2012. Vol. 42. Issue 1. P. 181–192.
6. Моисеев А.А. Оптимизация управления при дискретных управляющих воздействиях // Автоматика и телемеханика. 1991. № 9. С. 123–132.
7. Айда-Заде К.Р. Исследование и численное решение конечно-разностных аппроксимаций задач управления распределёнными системами // Журнал вычислительной математики и математической физики. 1989. Т. 29. №3. С. 346–354.
8. А.Б. Рагимов. Решение задач оптимального управления при кусочно-постоянных, кусочно-линейных и кусочно-заданных на классах функций управляющих воздействиях // Проблемы управления. 2015. № 2. С. 13–23.
9. Федулов А.С., Борисов В.В. Модели системной динамики на основе нечётких когнитивных карт // Проблемы управления // Системы управления, связи и безопасности. 2016. № 1. С. 66–78.
10. Караев Р.А. Когнитивные инструменты для динамического анализа бизнес стратегии предприятий // Бизнес-информатика. 2018. № 1 (43). С. 7–14.
11. Lebedeva, O., Kripak, M., Gozbenko, V. Increasing effectiveness of the transportation network through by using the automation of a Voronoi diagram // Transportation Research Procedia. 2018. № 36. С. 427–433.
12. Автоматизация размещения и крепления груза как метод повышения безопасности работы железнодорожной транспортной системы // В.Е. Гозбенко, В.А. Оленцевич, Б.Тувшинтур и др. // Безопасность регионов - основа устойчивого развития. 2014. Т. 1-2. С. 401–405.
13. Оленцевич В.А., Гозбенко В.Е., Котельников С.С. Анализ неравномерности отцепленных вагонов с коммерческими неисправностями по российским железным дорогам // Труды Брат. гос. ун-та. Сер.: Естественные и инженерные науки. 2013. Т. 1. С. 168–174.
14. Оленцевич В.А., Гозбенко В.Е., Котельников С.С. Автоматизация как способ поддержания транспортных устройств и систем в работоспособном состоянии // Сб. науч. тр. Ангар. гос. техн. ун-та. 2013. Т. 1. № 1. С. 233–241.

REFERENCES

1. Chernyak L.A. Kombinatorno-grafovyi metod analiza nadezhnosti slozhnykh sistem s monotonnymi bulevymi funktsiyami [Combinatorial-graph method for analyzing the reliability of complex systems with monotone Boolean functions]. Avtomatika i telemekhanika [Automation and Telemechanics], 1991, No.4. Pp. 165–174.
2. Chernyak A.A., Chernyak Zh.A. Logiko-veroyatnostnyi metod analiza nadezhnosti sistem bol'shoi razmernosti [The logical-probabilistic method for analyzing the reliability of large-dimensional systems]. Avtomatika i telemekhanika [], 1998. No.1. Pp. 171–180.
3. Viktorova V.S., Sverdlik Yu.M., Stepanyants A.S. Analiz nadezhnosti sistem slozhnoi struktury na mnogourovnevnykh modelyakh [Reliability analysis of systems of complex structure in multi-level models] Avtomatika i telemekhanika [Automation and Telemechanics], 2010, No.7, 143–148.
4. Quinlan J.R. Induction of decision trees. Mach.Learn, 1986. Vol.1. Pp. 81–106.
5. Manwani N., Sastry P.S. Geometric decision tree. IEEE Trans. Syst. Man. Cybern, 2012. Vol. 42. Issue 1. Pp. 181–192.
6. Moiseev A.A. Optimizatsiya upravleniya pri diskretnykh upravlyayushchikh vozddeystviyakh [Control optimization with discrete control actions]. Avtomatika i telemekhanika [Automation and Telemechanics], 1991. No.9. Pp. 123–132.
7. Aida-Zade K.R. Issledovanie i chislennoe reshenie konechno-raznostnykh approksimatsii zadach upravleniya raspredelennymi sistemami [Research and numerical solution of finite-difference approximations of distributed system control problems]. Zhurnal vychislitel'noi matematiki i matematicheskoi fiziki [Journal of Computational Mathematics and Mathematical Physics], 1989. Vol. 29. No.3. Pp. 346–354.
8. Ragimov A.B. Reshenie zadach optimal'nogo upravleniya pri kusochno-postoyannykh, kusochno-lineinykh i kusochno-zadannykh na klassakh funktsii upravlyayushchikh vozddeystviyakh [Solution of optimal control problems with piecewise constant, piecewise linear and piecewise-defined control functions on classes of functions] Problemy upravleniya [Control sciences], 2015. No.2. Pp. 13–23.
9. Fedulov A.S., Borisov V.V. Modeli sistemnoi dinamiki na osnove nechetkikh kognitivnykh kart [Models of system dynamics based on fuzzy cognitive maps]. Sistemy upravleniya, svyazi i bezopasnosti [Systems of Control, Communication and Security], 2016. No.1. Pp. 66–80.
10. Karaev R.A. Kognitivnye instrumenty dlya dinamicheskogo analiza biznes strategii predpriyati [Cognitive tools for dynamic analysis of business strategy of enterprises]. Biznes-informatika [Business informatics], 2018. No. 1 (43). Pp. 7–16.
11. Lebedeva O., Kripak M., Gozbenko V. Increasing effectiveness of the transportation network through by using the automation of a Voronoi diagram. Transportation Research Procedia. No. 36. Pp. 427–433.
12. Gozbenko V.E., Olentsevich V.A., Tuvshintur B., Grinyuk R.A. Avtomatizatsiya razmeshcheniya i krepleniya gruzha kak metod povysheniya bezopasnosti raboty zhelezнодорожной transportnoi sistemy [Automation of cargo placement and securing as a method of improving the safety of the railway transport system]. Bezopasnost' regionov - osnova ustoychivogo razvitiya [Regional safety is the basis for sustainable development], 2014. Vol. 1–2. Pp. 401–405.
13. Olentsevich V.A., Gozbenko V.E., Kotelnikov S.S. Analiz neravnomernosti ottseplennykh vagonov s kommercheskimi neispravnostyami po rossiiskim zheleznym dorogam [Analysis of the unevenness of uncoupled cars with commercial malfunctions on Russian railways]. Trudy Bratskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Estestvennye i inzhenernye nauki [Proceedings of the Bratsk State University. Series: Natural and Engineering Sciences], 2013. Vol. 1. Pp. 168–174.
14. Olentsevich V.A., Gozbenko V.E., Kotelnikov S.S. Avtomatizatsiya kak sposob podderzhaniya transportnykh ustroystv i sistem v rabotosposobnom sostoyanii [Automation as a way to maintain transport devices and systems in working condition.]. Sbornik nauchnykh trudov Angarskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta [Collection of scientific papers of the Angarsk State Technical University], 2013. Vol. 1. No. 1. Pp. 233–241.

Информация об авторе

Ольга Ивановна Вереvkина – к. т. н., доцент, доцент кафедры управления эксплуатационной работой, Ростовский государственный университет путей сообщения, Ростов- на – Дону, e-mail: ov18111966@mail.ru.

Author

Ol'ga Ivanovna Verevkina – Ph.D. in Engineering Science, Assoc. Prof., Assoc. Prof. at the Subdepartment of Management of Operational Work, Rostov State Transport University (RSTU), Rostov-on-Don, e-mail: ov18111966@mail.ru.

Для цитирования

Вереvkина О.И. Оценка вклада материально-технического снабжения в риски нарушения безопасности по причине некачественного ремонта и несоблюдения технологии // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2019. – Т. 63, № 3. – С. 82–89. – DOI: 10.26731/1813-9108.2019.3(63).82–89

For citation

Verevkina O. I. Otsenka vklada material'no-tekhnicheskogo snabzheniya v riski narusheniya bezopasnosti po prichine nekachestvennogo remonta i nesoblyudeniya tekhnologii [Evaluation of the contribution of logistics to risks of security breaches due to poor maintenance and lack of technology]. *Sovremennye tekhnologii. Sistemnyi analiz. Modelirovanie* [Modern Technologies. System Analysis. Modeling], 2019. Vol. 63, No. 3, pp. 82–89. DOI: 10.26731/1813-9108.2019.3(63).82–89.

УДК 629.423

DOI: 10.26731/1813-9108.2019.3(63).89–98

И. К. Лакин¹, А. П. Семенов²

¹ Дорожный центр внедрения Красноярской железной дороги, г. Красноярск, Российская Федерация

² Научно исследовательский институт технологий, контроля и диагностики, г. Омск, Российская Федерация

Дата поступления: 12 мая 2019 г.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ «ЦИФРОВОЙ ДВОЙНИК» ПРИ УПРАВЛЕНИИ РЕМОНТОМ ЛОКОМОТИВОВ

Аннотация. «Цифровой двойник» – одно из базовых направлений цифровизации экономики (цифровой трансформации) и промышленных предприятий. В статье рассмотрен вариант применения технологии «Цифровой двойник» при автоматизированном управлении техническим обслуживанием и ремонтом локомотивов. Предложено использовать самонастраивающуюся статистическую модель процесса ремонта для прогнозирования времени выдачи локомотива под поезд после ремонта. Для этого во внедренной во всех сервисных локомотивных депо группы компаний «ЛокоТех» автоматизированной системе управления техническим обслуживанием и ремонтом локомотивов («Сетевой график») предусматривается накопление статистики времени выполнения каждой из операций. При постановке локомотива на ремонт, после определения его технического состояния и составления индивидуального линейного графика ремонта производится моделирование процесса технического обслуживания и ремонта. Рассчитывается вероятность выполнения ремонта за возможные продолжительности. В результате обосновано планируется подвязка локомотива под поезд после ремонта. Обработка модели «цифрового двойника» технического обслуживания и ремонта выполнена в среде «MS Excel» на встроенном языке программирования «Visual Basic for Applications». В статье приводятся примеры использования модели, сделан вывод о целесообразности использования «цифровых двойников» при выполнении технического обслуживания и ремонта локомотивов.

Ключевые слова: цифровизация, «цифровой двойник», локомотив, техническое обслуживание и ремонт, автоматизированная система управления, статистические методы управления.

И. К. Лакін¹, А. П. Семенов²

¹ Krasnoyarsk railway introduction centre, Krasnoyarsk, Russia Federation

² Scientific Research Institute of Technologies, Control and Diagnostic, Omsk, Russia Federation

Received: May 12, 2019

USE OF «DIGITAL TWIN» TECHNOLOGY DURING THE LOCOMOTIVES' REPAIR MANAGEMENT

Abstract. "Digital twin" technology is one of the basic directions of digitization of economy and industrial enterprises.

The article considers a variant of application of "Digital Twin" technology during the automated management of locomotives maintenance and repair. It is proposed to use a self-adjusting statistical model of the repair process to predict the time of the locomotive being available for the train after repair. For this purpose, the automated control system by the "LocoTech" group of companies provides for the accumulation of statistics of the time of execution for each operation. When the locomotive is set for repair after determin-