

Ю. М. Краковский¹, Н. А. Хоанг²

¹ Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Россия

² Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского, г. Иркутск, Россия

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕМОНТНЫХ РАБОТ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ НА ОСНОВЕ СТРАХОВОГО ФОНДА

Аннотация. Проведены исследования по эффективности ремонтных работ железнодорожной инфраструктуры при наличии страхового фонда, используемого для накопления и использования платежей. Платежи поступают с различной периодичностью и стоимостью для выполнения различного вида ремонтных работ: текущих, аварийных и капитальных. В дальнейшем страховой фонд по мере необходимости используется для оплаты этих работ. Описание состояния фонда предложено осуществлять на основе процесса риска специального вида. Использование этого процесса позволило получить математическое обеспечение показателей эффективности ремонтных работ в виде ресурсно-затратного и финансового рисков. Для моделирования и исследования этих показателей создана моделирующая программа, основанная на событийном подходе. Вычислительные эксперименты с этой программой позволили сделать практически важные выводы о том, что по минимуму значений рисков предпочтение следует отдать варианту, когда превышение доходной части над расходной осуществляется за счет начальных годовых средств, доли платежей должны зависеть от вида ремонтных работ, а периодичность платежей должна зависеть от математических ожиданий интервалов времени между видами работ.

Ключевые слова: процесс риска, эффективность ремонтных работ, показатели риска, моделирующая программа.

Y. M. Krakovsky¹, N. A. Hoang²

¹ Irkutsk State Transport University, Irkutsk, Russia

² Irkutsk State Agrarian University named after A.A. Ezhevsky, Irkutsk, Russia

RESEARCH ON THE EFFICIENCY OF RAILWAY INFRASTRUCTURE REPAIRS BASED ON THE INSURANCE FUND

Abstract. Research has been carried out on the efficiency of the repair work of the railway infrastructure in the presence of an insurance fund used for the accumulation and use of payments. Payments are received with different frequency and cost for performing various types of repair work: current, emergency and major. In the future, the insurance fund is used as necessary to pay for these works. It is proposed to describe the state of the fund on the basis of a special risk process. The use of this process made it possible to obtain mathematical support for indicators of repair work efficiency in the form of resource-cost and financial risks. A modeling program based on an event-based approach has been created to model and study these indicators. Computational experiments with this program allowed us to draw practically important conclusions that, at a minimum of risk values, preference should be given to the option when the excess of the revenue side over the expenditure side is carried out at the expense of the initial annual funds, the share of payments should depend on the type of repair work, and the frequency of payments should depend from mathematical expectations of time intervals between types of work.

Keywords: risk process, efficiency of repair work, indicators of risk, modeling program.

Введение

Техническое обслуживание и ремонт инфраструктуры на железнодорожном транспорте включают эксплуатацию и содержание пути, контактной сети и в целом инфраструктурного комплекса [1, 2]. Укрупненно можно выделить три вида ремонтных работ: 1) текущие, 2) аварийные, 3) капитальные. Для повышения эффективности этих работ, с учетом развитой системы диагностики и мониторинга [3, 4], их нужно выполнять по фактическому состоянию. Ремонт по фактическому состоянию учитывает важный фактор грузовых перевозок – функционирование в условиях неопределенности и риска [5].

В работе для повышения эффективности ремонтных работ и их оценки предполагается ввести страховой фонд, который выполняет две функции: 1) накапливает платежи с различной периодичностью и стоимостью; 2) по мере необходимости оплачивает эти работы. При

этом, учитывая обслуживание инфраструктуры по фактическому состоянию в условиях неопределенности грузовых перевозок, интервалы времени между ремонтными работами (сутки) и затраты на эти работы (млн.руб.) можно считать случайными величинами с известными функциями распределения до значений их параметров. Такой подход позволяет для математического описания состояния страхового фонда при моделировании эффективности ремонтных работ инфраструктуры использовать процесс риска специального вида, который применяется в математической теории рисков [6], а также при оценке эффективности ремонтных работ сложного оборудования [7]. Использование процесса риска при описании страхового фонда апробировано при исследовании различных видов работ на железнодорожном пути [1, 8].

Исходные данные для исследования

На основе разработанного математического обеспечения создана моделирующая программа для исследования ремонтных работ железнодорожной инфраструктуры методом имитационного моделирования [7]. Программное обеспечение создано на языке программирования MATLAB, который обладает рядом преимуществ перед другими программными средами, предназначенными для выполнения научных и инженерных расчетов.

Моделирующая программа создает выборочные значения специального вида, которые затем обрабатываются с целью получения значений показателей эффективности ремонтных работ в виде оценок рисков.

В таблице 1 приведены законы распределения и их числовые характеристики для интервалов времени между видами работ и затратам на эти работы, используемые в данном исследовании: mi , mz – математические ожидания, k_v – коэффициенты вариации.

Выбор законов распределения и их числовых характеристик осуществлено с помощью экспертов и литературных источников. Программное обеспечение позволяет изменять эти модели.

Таблица 1

Законы распределения и их числовые характеристики

Работы	Интервалы времени, сут.		Затраты, млн.руб.	
Текущие	Бирнбаума-Саундерса		Логнормальное	
	$mi=15,0$	$k_v=0,20$	$mz=3,5$	$k_v=0,20$
Аварийные	Вейбулла		Парето	
	$mi=45,0$	$k_v=0,30$	$mz=10,0$	$k_v=1,50$
Капитальные	Гамма		Нормальное	
	$mi=60,0$	$k_v=0,25$	$mz=20,0$	$k_v=0,15$

При выбранных значениях математических ожиданий (табл. 1) величины средних расходов на ремонтные работы по их видам (текущие, аварийные, капитальные) за год равны

$$P_j = Tg \cdot mz_j / mi_j, j = 1, 2, 3, \quad (1)$$

где Tg – число суток в году.

С учетом (1) и значений таблицы 1, средние величины расходов по видам ремонтных работ равны

$$P_1 = 84 \text{ млн.руб.}, P_2 = 80 \text{ млн.руб.}, P_3 = 120 \text{ млн.руб.} \quad (2)$$

В сумме эти расходы равны годовому объему платежей X . Тогда доли платежей по видам ремонтных работ можно определить так

$$c_j = P_j / X, j = 1, 2, 3; X = \sum_{j=1}^3 P_j. \quad (3)$$

Если подставить в формулу (3) значения (2), то получим такие доли платежей

$$c_1 = 0,296; c_2 = 0,282; c_3 = 0,422. \quad (4)$$

Размеры платежей по видам ремонтных работ равны

$$Y_j = h_j \cdot P_j / Tg, j = 1, 2, 3. \quad (5)$$

где h_j – периодичность платежей (сутки).

Платежи за год равны

$$Y_j(Tg) = Y_j \cdot Tg / h_j, j = 1, 2, 3. \quad (6)$$

Объем поступления платежей за год (6) и объем расходов за год (1) по каждому виду ремонтных работ в среднем должны быть равны между собой. В теории рисков доказано, что необходимо иметь превышение доходов над расходами [6]. В нашем случае должно выполняться условие

$$X_0 + \sum_{j=1}^3 Y_j(Tg) > \sum_{j=1}^3 P_j. \quad (7)$$

где X_0 – начальные средства страхового фонда, млн.руб.

В работе предлагается связать периодичность платежей (h_j) с математическими ожиданиями интервалов времени между видами работ (mi_j , табл. 1)

$$q_j = h_j / mi_j, j = 1, 2, 3. \quad (8)$$

Для получения практических результатов, используя созданную моделирующую программу, исследовано четыре варианта. Для первого (А), третьего (С) и четвертого (D) вариантов рассмотрены три случая, когда X_0 равны 5, 10 и 20 процентов относительно годового объема платежей $X = 284,0$ млн.руб.: а) $X_0 = 14,2$ млн.руб.; б) $X_0 = 28,4$ млн.руб.; в) $X_0 = 56,8$ млн.руб. В варианте В технология превышения доходной части над расходной другая. Опишем предложенные варианты:

- вариант А, когда превышение дохода осуществляется за счет ежегодного начального значения страхового фонда X_0 , доля платежей равна (4), периодичность платежей с учетом (8) равна $h_1 = 10$ сут. ($q_1 = 0,67$), $h_2 = 30$ сут. ($q_2 = 0,67$), $h_3 = 90$ сут. ($q_3 = 1,50$);

- вариант В, когда превышение дохода осуществляется за счет увеличения годового объема платежей X , $X_0 = 0$. В этом варианте также предлагается рассмотреть три случая, когда увеличение равно 5, 10 и 20 процентов: а) $X = 298,2$ млн.руб.; б) $X = 312,4$ млн.руб.; в) $X = 340,8$ млн.руб. Доля платежей (4), периодичность платежей с учетом (8) равна $h_1 = 10$ сут. ($q_1 = 0,67$), $h_2 = 30$ сут. ($q_2 = 0,67$), $h_3 = 90$ сут. ($q_3 = 1,50$);

- вариант С, когда доля платежей одинаковая: $c_1 = 0,333$; $c_2 = 0,333$; $c_3 = 0,334$; периодичность платежей с учетом (8) равна $h_1 = 10$ сут. ($q_1 = 0,67$), $h_2 = 30$ сут. ($q_2 = 0,67$), $h_3 = 90$ сут. ($q_3 = 1,50$); превышение дохода над расходами осуществляется по варианту А;

- вариант D, когда доля платежей равна (4); периодичность платежей с учетом (8) равна $h_1 = 20$ сут. ($q_1 = 1,33$), $h_2 = 60$ сут. ($q_2 = 1,33$), $h_3 = 90$ сут. ($q_3 = 1,50$); превышение дохода над расходами осуществляется по варианту А.

Рассмотренные варианты промоделированы для четырех значений заданного времени T_r : 30 сут., 90 сут., 180 сут., 360 сут.

Анализ результатов моделирования

Анализ полученных результатов позволяет сделать выводы о том, что с точки зрения уменьшения показателей эффективности в виде специальных рисков превышение доходов над расходами необходимо делать по вариантам, когда это превышение осуществляется за счет начального годового значения страхового фонда X_0 ; доли платежей должны зависеть от вида ремонтных работ и определяться по формуле (3) (для выбранных исходных данных они равны (4)); периодичность платежей должна зависеть от математических ожиданий интерва-

лов времени между видами работ (8) (для выбранных исходных данных она наилучшая при $h_1 = 20$ сут. ($q_1 = 1,33$), $h_2 = 60$ сут. ($q_2 = 1,33$), $h_3 = 90$ сут. ($q_3 = 1,50$). У этой периодичности коэффициенты пропорциональности (8) наиболее равны между собой.

Были просчитаны дополнительные варианты, когда эти коэффициенты брались равными. Но для этих вариантов оценки рисков оказались большими, чем у варианта *D*. Это связано с тем, что величины T_r кратны 10, а при выбранных математических ожиданиях интервалов времени между видами работ (mi_j , табл. 1) и равных коэффициентов пропорциональности (8) нет возможности получить периодичность платежей с кратностью 10.

Дополнительно можно утверждать, что с увеличением начального значения X_0 ресурсно-затратный риск уменьшается, а с увеличением времени T_r увеличивается. Последние утверждения являются логически очевидными, но анализ методом имитационного моделирования позволяет количественно оценить эти изменения.

На рисунке 1 приведена гистограмма частот на 30 интервалах величины τ , когда первый раз процесс риска становится меньше нуля. Этот момент времени характеризует эффективность организации ремонтных работ с точки зрения формирования платежей по их видам. Гистограмма получена для варианта *D*, когда $X_0 = 14,2$ млн.руб., а $T_r = 360$ сут. Этот вариант по долям и периодичности платежей наилучший, величины (8) в наибольшей степени близки между собой. Полного равенства не наблюдается, т.к. риски зависят дополнительно от величины T_r , которая кратна 10 сут.

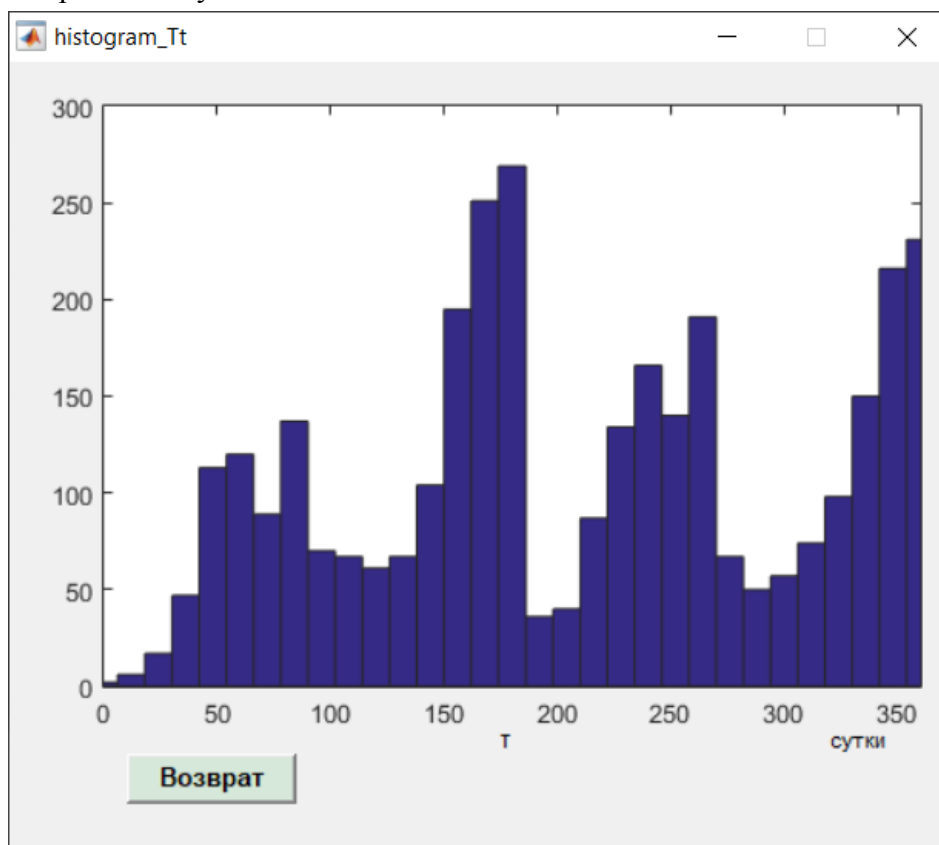


Рис. 1. Гистограмма частот для варианта *D*

Для рассмотренного случая (рис. 1) гистограмма имеет несколько выбросов, с кратностью около 90 суток. Особенно большие выбросы с периодичностью 180 суток. Это связано с тем, что каждые 180 суток в рассмотренном варианте все три платежа в страховой фонд совпадают.

Заключение

Проведено исследование эффективности ремонтных работ железнодорожной инфраструктуры. При этом предложено для их выполнения использовать специальный фонд. Для описания состояния этого фонда предложено использовать процесс риска специального вида. При проведении исследования ремонтных работ используются выборочные значения, полученные созданной моделирующей программой.

Получены практически важные результаты. Показано, что по критерию минимума показателей эффективности предпочтение следует отдать варианту, когда доли платежей должны зависеть от вида ремонтных работ, а периодичность платежей должна зависеть от математических ожиданий интервалов времени между видами работ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Начигин В.А. Формализация селективной технологии содержания инфраструктуры и страховой фонд / Ю.М. Краковский, В.А. Начигин // Мир транспорта. – 2015. – Т. 13. – № 1. – С. 94 – 99.
2. Бугаенко В.М. Мониторинг и диагностика инфраструктуры скоростных мобильных комплексов. // Путь и путевое хозяйство. – 2015. – № 4. – С. 12-16.
3. Краковский Ю.М. Оценка технического состояния рельсов по данным мониторинга пути / Ю.М. Краковский, В.А. Начигин, А.В. Начигин // Вестник ВНИИЖТ. – 2012. – № 5. – С. 40 – 43.
4. Бирюзов В.П. Об основных направлениях развития систем диагностики и мониторинга путевого хозяйства до 2025 г. // Путь и путевое хозяйство. – 2016. – № 4. – С. 4 – 8.
5. Краковский, Ю.М. Моделирование перевозочного процесса железнодорожным транспортом: анализ, прогнозирование, риски / Ю.М. Краковский, С.К. Каргапольцев, В.А. Начигин; под ред. проф. Ю.М. Краковского. – Санкт-Петербург: «ЛИТЕО», 2018. – 240 с.
6. Королев В.Ю. Математические основы теории рисков / В.Ю. Королев, В.Е. Бенинг, С.Я. Шоргин – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2011. – 620 с.
7. Краковский Ю.М. Оценка ресурсно-затратного риска при организации ремонтных работ сложного роботизированного оборудования / Ю.М. Краковский, Н.А. Хоанг // Вестник ВГУ. Серия: системный анализ и информационные технологии. – 2019. – № 4. – С. 29 – 35.
8. Краковский Ю.М. Автоматизированный расчет показателей динамических рисков при наличии отказов технических средств / Ю.М. Краковский, А.В. Начигин, Д.А. Лукьянов // Известия Транссиба. 2013. № 4(16). С. 84 – 88.

REFERENCES

1. Krakovsky Y.M., Nachigin V.A. Formalizatsiya selektivnoy tekhnologii soderzhaniya infrastruktury i strakhovoy fond [Formalization of selective technology of infrastructure maintenance and insurance fund]. *Mir transporta [World of Transport]*, 2015, No 1 (13), pp. 94–99.
2. Bugaenko V.M. Monitoring i diagnostika infrastruktury skorostnykh mobilnykh kompleksov [Monitoring and diagnostics of the infrastructure of high-speed mobile complexes]. *Put i putevoye khozyaystvo [Path and track facilities]*, 2015, No 4, pp. 12–16.
3. Krakovsky Y.M., Nachigin V.A., Nachigin A.V. Otsenka tekhnicheskogo sostoyaniya rel'sov po dannym monitoringa puti [Assessment of the technical condition of rails according to track monitoring data]. *Vestnik VNIIZHT [Bulletin of VNIIZhT]*, 2012, No 5, pp. 40–43.
4. Biryuzov V.P. Ob osnovnykh napravleniyakh razvitiya sistem diagnostiki i monitoringa putevogo khozyaystva do 2025 [On the main directions of development of systems for diagnostics and monitoring of track facilities until 2025]. *Put i putevoye khozyaystvo [Path and track facilities]*, 2016, No 4, pp. 4–8.
5. Krakovsky Y.M., Kargapolcev S.K., Nachigin V.A. Modelirovanie perevoznogo processa zheleznodorozhnym transportom: analiz, prognozirovanie, riski; [pod red. prof. Y.M. Kra-
kovskogo]. – Санкт-Петербург: «ЛИТЕО», 2018. – 240 с.

kovskogo] [Modeling of the railway transportation process: analysis, forecasting, risks] [Ed. by Y. M. Krakovsky]. St. Petersburg: «LITEO», 2018. 240 p.

6. Korolev V.Yu., Bening V.E., Shorgin S. Ya. Ekonometrika [Mathematical foundations of risk theory]. M: FIZMATLIT, 2011. 620 p.

7. Krakovsky Y.M., Hoang N.A. Otsenka resursno-zatratnogo riska pri organizatsii remontnykh rabot slozhnogo robotizirovannogo oborudovaniya [Assessment of resource-cost risk in the organization of repair work of complex robotic equipment]. *Vestnik VGU. Seriya: sistemnyy analiz i informatsionnyye tekhnologii* [Vestnik VSU. Series: systems analysis and information technology], 2019, No 4, pp. 29–35.

8. Krakovsky Y.M., Nachigin V.A., Lukyanov D.A. Avtomatizirovannyi raschet pokazateley dinamicheskikh riskov pri nalichii otkazov tekhnicheskikh sredstv [Automated calculation of dynamic risk indicators in the presence of hardware failures]. *Izvestiya Transsiba* [Izvestia Transsib], 2013, No 4(16), pp. 84–88.

Информация об авторах

Краковский Юрий Мечеславович - д. т. н., профессор, профессор кафедры «Информационные системы и защита информации», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: 79149267772@yandex.ru

Хоанг Нюк Ань – аспирант кафедры «Информатика и математическое моделирование», Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского, г. Иркутск, e-mail: hoangngocanhmta@gmail.com

Authors

Krakovsky Yuri Mecheslavovich - Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department «Information Systems and Information Security», Irkutsk State Transport University (ISTU), Irkutsk, e-mail: 79149267772@yandex.ru

Hoang Ngoc Anh - Postgraduate student of the Department of Informatics and Mathematical Modeling, Irkutsk State Agricultural University named after A.A. Ezhevsky (ISAU), Irkutsk, e-mail: hoangngocanhmta@gmail.com

Для цитирования

Краковский Ю. М. Исследование эффективности ремонтных работ железнодорожной инфраструктуры на основе страхового фонда [Электронный ресурс] / Ю. М. Краковский, Н. А. Хоанг // Молодая наука Сибири: электрон. науч. журн. – 2020. – №4(10). – Режим доступа: <http://mnv.irkups.ru/toma/410-2020>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус., англ. (дата обращения: 21.12.2020)

For citation

Krakovsky Y. M., Hoang N. A. Issledovaniye effektivnosti remontnykh rabot zheleznodorozhnoy infrastruktury na osnove strakhovogo fonda *The electronic scientific journal "Young science of Siberia"*, 2020, no. 4(10). [Accessed 21/12/20] (in Russian)