

## Исследование показателей эффективности перевозки грузов железнодорожным транспортом вероятностным анализом безубыточности

Ю.М. Краковский✉, И.П. Кудряшов, В.А. Начигин

Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Российская Федерация

✉yuri.krakovskiy@yandex.ru

### Резюме

Разработано алгоритмическое и программное обеспечение вероятностного анализа безубыточности на основе метода Монте-Карло для оценки показателей эффективности перевозки грузов железнодорожным транспортом. Исходными данными для расчета этих показателей являются: грузооборот; постоянные затраты; переменные затраты на единицу грузооборота; средняя цена единицы грузооборота; размер инвестиций. Для оценки эффективности перевозки грузов в статье выбраны: точка безубыточности, операционная прибыль и рентабельность инвестиций. Программное обеспечение вероятностного анализа безубыточности создано на основе метода Монте-Карло с использованием языка программирования Python, описаны его функциональные возможности. В программном обеспечении существует возможность проводить тестирование моделей исходных данных, выводить результаты тестирования, а также результаты обработки выборочных значений, полученных методом Монте-Карло. Особенностью исследования на основе вероятностного анализа безубыточности является учет неопределенности перевозочного процесса железнодорожным транспортом, что приводит к случайности исходных данных и показателей эффективности. Тестирование и апробация созданного программно-алгоритмического обеспечения проведены по данным одной из железных дорог ОАО «РЖД». Учитывая конфиденциальность исходных сведений, они представлены в условных единицах. Тестирование программного обеспечения показало высокое качество моделирования исходных данных методом Монте-Карло, так как все значения математических ожиданий попали в доверительные интервалы, полученные по выборочным данным. Созданное программно-математическое обеспечение на основе метода Монте-Карло повысит качество принятия управленческих решений за счет определения количественных значений показателей эффективности.

### Ключевые слова

перевозка грузов, железнодорожный транспорт, показатели эффективности, вероятностный анализ безубыточности, метод Монте-Карло

### Для цитирования

Краковский Ю.М. Исследование показателей эффективности перевозки грузов железнодорожным транспортом вероятностным анализом безубыточности / Ю.М. Краковский, И.П. Кудряшов, В.А. Начигин // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2023. № 2 (78). С. 139–144. DOI 10.26731/1813-9108.2023.2(78).139-144.

### Информация о статье

поступила в редакцию: 6.02.2023 г.; поступила после рецензирования: 20.03.2023 г.; принята к публикации: 22.03.2023 г.

## Research of the efficiency indicators of railway cargo transportation by probabilistic break-even analysis

Yu.M. Krakovskii✉, I.P. Kudryashov, V.A. Nachigin

Irkutsk State Transport University, Irkutsk, the Russian Federation,

✉yuri.krakovskiy@yandex.ru

### Abstract

Algorithmic and software for probabilistic break-even analysis based on the Monte Carlo method for evaluating the efficiency indicators of cargo transportation by rail has been developed. The initial data for calculating these indicators are: cargo transportation; fixed costs; variable costs per unit of cargo transportation; average price of a unit of cargo transportation; the amount of investment. To assess the efficiency of cargo transportation, the following indicators are selected in the article: break-even point, operating profit, investment profitability. A software for probabilistic break-even analysis based on the Monte Carlo method using the Python programming language has been developed. The functionality of the created software is described. In the software, it is possible to test the initial data models, output the test results, as well as the results of processing sample values obtained by the Monte Carlo method. A feature of this study based on a probabilistic break-even analysis is the consideration of the uncertainty of the railway transportation process, which leads to the randomness of the initial data and performance indicators. Testing and approbation of the developed software and algorithmic support was carried out according to one of the railways of

JSC «RZD». Given the confidentiality of the initial data, they are presented in conventional units. Software testing showed high quality of initial data simulation by the Monte Carlo method, since all values of mathematical expectations fell within the confidence intervals obtained from sample data. The developed mathematical software based on the Monte Carlo method will improve the quality of managerial decision-making by determining the quantitative values of performance indicators.

### Keywords

cargo transportation, railway transport, performance indicators, probabilistic break-even analysis, Monte Carlo method

### For citation

Krakovskii Yu.M., Kudryashov I.P., Nachigin V.A. Issledovanie pokazatelei effektivnosti perevozki грузов zheleznodorozhnyim transportom veroyatnostnym analizom bezubytochnosti [Research of the efficiency indicators of railway cargo transportation by probabilistic break-even analysis]. *Sovremennye tekhnologii. Sistemnyi analiz. Modelirovanie* [Modern Technologies. System Analysis. Modeling], 2023, no. 2 (78), pp. 139–144. DOI: 10.26731/1813-9108.2023.2(78).139-144.

### Article info

Received: February 6, 2023; Revised: March 20, 2023; Accepted: March 22, 2023.

### Введение

Вопросы перевозки грузов железнодорожным транспортом имеют важное значение для развития экономики РФ. Исследования в этом направлении во многом связаны с необходимостью обеспечения безопасности перевозочного процесса, поэтому ОАО «РЖД» уделяет большое внимание мониторингу, диагностике, надежности и технологичности инфраструктурного комплекса дорог [1–5].

Важной задачей в ОАО «РЖД» является возможность увеличения объемов железнодорожных перевозок на каждом участке пути. Эта задача реализуется за счет рациональной организации «окон», необходимых для выполнения ремонтно-восстановительных работ, внедрением комплексных полигонных технологий, улучшением систем интервального регулирования движения поездов и др. [6–8].

Управленческие подразделения железных работ следят за показателями эффективности (ПЭ) перевозочного процесса и используют их либо в задачах прогнозирования базовых показателей [9–12], либо при прогнозировании экономических показателей: операционной прибыли, рентабельности инвестиций и т.д. [13].

Данное исследование посвящено второму направлению. Учитывая, что перевозка грузов осуществляется в условиях неопределенности, при оценке ПЭ предложено использовать вероятностный анализ безубыточности (ВерАБ), основанный на методе Монте-Карло (далее – МетМК).

Исходными данными для вычисления ПЭ на основе МетМК являются:  $G$  – эксплуатационный грузооборот, т·км;  $X_p$  – переменные затраты на единицу грузооборота, руб./т·км;  $X_c$  – постоянные затраты, руб.;  $C_g$  – цена единицы

перевезенного грузооборота, руб./т·км;  $In$  – размер инвестиций, руб.

В условиях неопределенности эти исходные данные являются случайными величинами, для которых экспертным путем выбираются вероятностные модели в виде функций распределения. При ВерАБ, используя МетМК, моделируются значения исходных данных, далее по ним рассчитываются выборочные значения ПЭ.

На следующем этапе выборочные значения ПЭ обрабатываются с использованием стандартных средств математической статистики [13, 14]. Подобный подход апробирован при управлении грузовыми перевозками железнодорожным транспортом [12, 13], а также в сфере производства сельскохозяйственной продукции [15, 16].

Целью работы является разработка и апробация программно-математического обеспечения для исследования процесса перевозки грузов железнодорожным транспортом МетМК.

### Программно-алгоритмическое обеспечение для решаемой задачи

В качестве основных ПЭ процесса перевозки грузов предлагаются следующие модели:

– точка безубыточности (ТБ) –

$$G_0 = \frac{(X_c - In)}{(C_g - X_p)}, \text{ т·км}; \quad (1)$$

– операционная прибыль (ОП) –

$$OPr = (C_g - X_p) \cdot G - (X_c - In), \text{ руб.}; \quad (2)$$

– рентабельность инвестиций (РИ) –

$$RI = (OPr / In) \cdot 100, \%. \quad (3)$$

Вследствие случайности исходных данных эти показатели также являются случайными

ми величинами. При использовании МетМК для них создаются выборки объема  $n$ , по которым определяются точечные и интервальные оценки неизвестных математических ожиданий и гистограммы частот исследуемых ПЭ. Дополнительно для ОП и РИ определяются риски, которые оцениваются двумя показателями: коэффициент вариации (%); вероятность специального события.

Для РИ эта вероятность равна

$$R_r = P_r(RI < RI_3), \quad (4)$$

где  $RI_3$  – заданное значение показателя РИ. Для ОП эта вероятность находится аналогично (4). Заданное значение в этом случае может быть 0, тогда этот риск оценивает вероятность убытка.

Для неизвестных значений (4) помимо точечных оценок находятся интервальные оценки.

При использовании МетМК необходимо, чтобы эксперты выбрали вероятностные модели для исходных данных с точностью до значений их параметров. Так как эта статья носит исследовательский характер, то выбран список вероятностных моделей, приведенный ниже:

- логарифмически нормальное распределение –  $Ln(a,b)$ ;
- нормальное распределение –  $N(a,b)$ ;
- распределение Бирнбаума – Саундерса –  $BS(a,b)$ .

Для каждого исходного показателя по реальным данным железной дороги оценивается математическое ожидание ( $\bar{x}$ ). Так как выбранные вероятностные модели имеют два параметра ( $a$  и  $b$ ), то экспертами дополнительно задается коэффициент вариации ( $kv$ ). Затем методом моментов определяются значения параметров, которые используются в моделях при моделировании исходных данных.

В качестве примера приведем эту технологию для распределения  $BS(a,b)$ . Параметры  $a$  и  $b$  методом моментов для этого распределения равны:

$$b = \left( \frac{\bar{x} + \left( \bar{x}^2 + 3D_x \right)^{\frac{1}{2}}}{2D_x} \right)^{\frac{1}{2}}; \quad a = b \cdot \bar{x} - \frac{0,5}{b}; \quad (5)$$

$$D_x = (kv \cdot \bar{x})^2.$$

Модель моделирования случайной величины равна:

$$x = \frac{a}{b} + \frac{1}{2} \left( \frac{z}{b} \right)^2 + \frac{z}{b} \sqrt{\frac{a}{b} + \frac{1}{4} \left( \frac{z}{b} \right)^2}, \quad z \rightarrow N(0, 1). \quad (6)$$

Запись  $N(0, 1)$  обозначает, что величина  $z$  имеет нормированный нормальный закон. В модели (6) параметры ( $a$  и  $b$ ) определяются по формулам (5).

Программное обеспечение создано с применением наиболее популярного в последние годы языка программирования Python. Этот язык популярен, потому что он хорошо осваивается и имеет множество встроенных сторонних библиотек [17, 18].

Функциональные возможности созданного программного обеспечения позволяют моделировать исходные данные, проводить тестирование результатов моделирования, выводить результаты тестирования, а также результаты обработки выборочных значений, полученных МетМК.

### Апробация алгоритмического и программного обеспечения вероятностного анализа безубыточности грузовых перевозок

Опираясь на литературные источники [12], в качестве вероятностных моделей (ВМ) для исходных данных выбраны следующие двухпараметрические законы с точностью до значений числовых характеристик (табл.). Эти данные связаны с железной дорогой ОАО «РЖД», но учитывая их конфиденциальность, они даны в условных единицах (усл. ед.). Объ-

Описание исходных данных  
Description of the source data

Исходные данные Initial data	ВМ	$\bar{x}$ , усл. ед. conv. unit	$kv$	$x_0$ , усл. ед. conv. unit	$kv_0$	$x_1$ , усл. ед. conv. unit	$x_2$ , усл. ед. conv. unit
$G$	$BS(a,b)$	156,6	0,10	156,3	0,11	156,0	156,7
$Xp$	$N(a,b)$	342,9	0,07	343,2	0,07	342,7	343,6
$Xc$	$N(a,b)$	21 281,4	0,10	21 276,0	0,10	21 234,4	21 317,5
$Cg$	$Ln(a,b)$	195,6	0,07	195,4	0,07	195,1	195,7
$In$	$N(a,b)$	11 500,0	0,10	11 510,0	0,10	11 487,4	11 532,5

ем выборок в исследовании равен 10 000, этот объем обеспечивает требуемую точность вычислений в пределах одного процента.

Дополнительно в таблице приведено:  $x_0$  – точечная оценка математического ожидания;  $kv_0$  – точечная оценка коэффициента вариации;  $(x_1, x_2)$  – доверительный интервал для математического ожидания. Из приведенных данных видно, что все математические ожидания попали в их доверительные интервалы, а оценки коэффициентов вариации близки с их значениями. Это подтверждает высокое качество моделирования исходных данных.

При использовании этих исходных данных МетМК были получены следующие результаты для ТБ: оценка математического ожидания равна 68,8 усл. ед.; доверительный интервал для неизвестного математического ожидания равен 68,6–69,0.

На рис. 1 приведена гистограмма частот для ТБ, которая имеет заметную асимметрию.

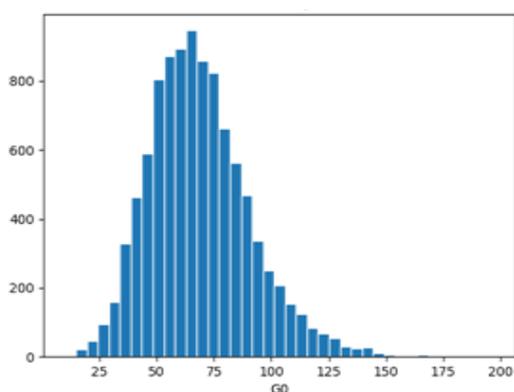


Рис. 1. Гистограмма частот для точки безубыточности

Fig. 1. Frequency histogram for the break-even point

Подставляя в формулу (1) значения математических ожиданий исходных данных, получим расчетное значение ТБ, равное 66,4 усл. ед. Это значение не попадает в полученный доверительный интервал, что связано с асимметричностью распределения ТБ.

Для ОП получены следующие результаты: оценка математического ожидания равна 13 324,6 усл. ед.; доверительный интервал для неизвестного математического ожидания равен 13 217,7–13 431,5.

На рис. 2 приведена гистограмма частот для ОП, которая практически не имеет асимметрии, но наблюдается большой разброс значений. Риск как коэффициент вариации равен

41,0 %, хотя коэффициенты вариаций исходных данных не более 10 %.

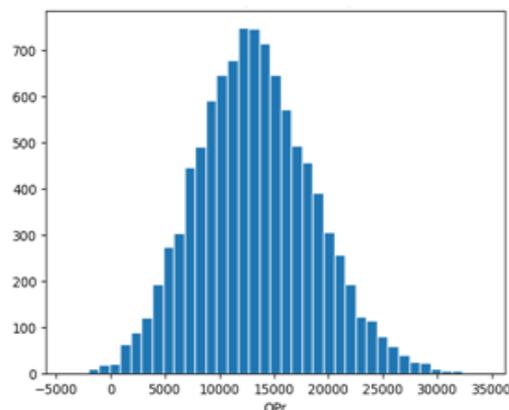


Рис. 2. Гистограмма частот для операционной прибыли

Fig. 2. Frequency histogram for operating profit

Подставляя в формулу (2) значения математических ожиданий исходных данных, получим расчетное значение ОП, равное 13 285,8 усл. ед.

Это значение попадает в полученный доверительный интервал, что связано с симметричностью распределения ОП.

Точечная оценка риска как вероятности специального события при заданном значении 6 642,9 усл. ед. (50 % от расчетного значения) равна 0,105, а доверительный интервал для этого риска равен 0,099–0,111. Меняя заданное значение, можно вычислять точечную и интервальную оценки риска, что является положительной стороной созданного программно-алгоритмического обеспечения.

Для РИ получены следующие результаты: оценка математического ожидания равна 116,9 %; доверительный интервал для неизвестного математического ожидания равен 116,0–118,0.

На рис. 3 приведена гистограмма частот для РИ, которая имеет незначительную асимметрию и большой разброс значений. Риск как коэффициент вариации равен 42,4 %, хотя коэффициенты вариаций исходных данных не превышают 10 %.

Подставляя в формулу (3) значения математических ожиданий исходных данных, получим расчетное значение РИ – 115,5 %. Это значение попадает в полученный доверительный интервал, что связано с симметричностью распределения РИ.

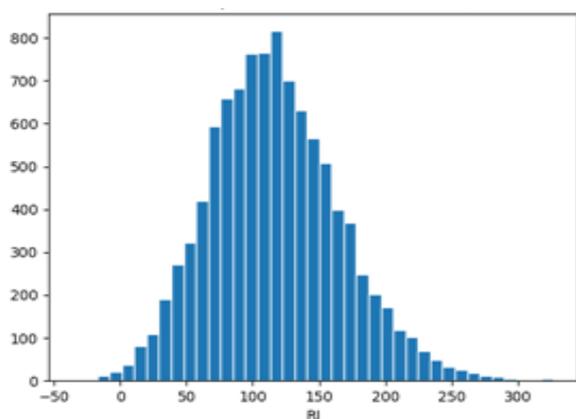


Рис. 3. Гистограмма частот для рентабельности инвестиций

Fig. 3. Frequency histogram for return on investment

Точечная оценка риска как вероятности специального события при заданном значении 57,8 % (50 % от расчетного значения) равна 0,108, а доверительный интервал для этого риска равен 0,102–0,114.

Меняя заданное значение, можно вычислять точечную и интервальную оценки риска.

### Заключение

Создано программно-алгоритмическое обеспечение по вычислению показателей эффективности процесса перевозки грузов железнодорожным транспортом на основе вероятностного анализа безубыточности.

Проведены тестирование и апробация этого программного обеспечения по исходным данным железной дороги ОАО «РЖД». Тестирование показало высокое качество моделирования исходных данных МетМК, так как все значения математических ожиданий попали в доверительные интервалы, полученные по выборочным данным.

Получены числовые данные по показателям эффективности в виде ТБ, ОП и РИ, включая риски по двум показателям: коэффициенту вариации и вероятности специального события.

### Список литературы

1. 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.
2. Бугаенко В.М. Мониторинг и диагностика инфраструктуры скоростных мобильных комплексов // Путь и путевое хозяйство. 2015. № 4. С. 12–16.
3. Антипов А.Г., Марков А.А. Новые возможности магнитодинамического метода контроля рельсов // Путь и путевое хозяйство. 2016. № 8. С. 27–32.
4. Ковалев И.А., Колокольников В.С. Влияние отказов технических средств на выполнение графика движения поездов // Транспорт Урала. 2014. № 2 (41). С. 54–57.
5. Комплексный анализ состояния рельсового пути с помощью нового вагона-дефектоскопа АВИКОН–03М / А.А. Марков, П.Г. Политай, С.П. Маховиков и др. // В мире неразрушающего контроля. 2013. № 3 (61). С. 74–79.
6. Осминин А.Т., Мехедов М.И., Медников Д.В. Обеспечение интероперабельности перевозок // Железнодорожный транспорт. 2019. № 7. С. 11–17.
7. Розенберг Е.Н., Аношкин В.В. Перспективы роста пропускной способности участков // Железнодорожный транспорт. 2020. № 3. С. 4–7.
8. Сотников Е.А., Мехедов М.И., Холодняк П.С. Интенсификация роста загруженных направлений сети железных дорог // Железнодорожный транспорт. 2020. № 3. С. 11–14.
9. Попова Н.Н., Краковский Ю.М. Обобщенное прогнозирование показателей грузовых перевозок железнодорожным транспортом на основе сценарного подхода // Вестник РГУПС. 2020. № 3 (79). С. 132–138.
10. Маловецкая Е.В., Козловский А.П. Анализ моделей и принципов системного моделирования при построении прогнозных моделей погрузки грузов // International journal of open information technologies. 2020 Т. 8. № 12. С. 39–48.
11. Крамынина Г.Н. Разработка многофакторной модели для прогнозирования грузооборота на Восточно-Сибирской железной дороге // Математические методы в технологиях и технике. 2022. № 3. С. 38–41.
12. Попова Н.Н., Краковский Ю.М. Прогнозирование грузооборота с учетом факторных моделей // Актуальные вопросы аграрной науки. 2019. № 32. С. 63–69.
13. Краковский Ю.М., Каргапольцев С.К., Начигин В.А. Моделирование перевозочного процесса железнодорожным транспортом: анализ, прогнозирование, риски. СПб. : ЛИТЕО, 2018. 240 с.
14. Кельтон В.Д., Лоу А.М. Имитационное моделирование. СПб. : Питер : Киев : Изд. группа BHV, 2004. 847 с.
15. Холлендер М., Вульф Д. Непараметрические методы статистики. М. : Финансы и статистика, 1983. 518 с.
16. Куликов В.Е. Теоретические проблемы моделирования хозяйственной деятельности сельскохозяйственных предприятий в условиях неопределенности // Экономика и управление: проблемы, анализ тенденций и перспектив развития : сб. материалов III Междунар. науч.-практ. конф. Новосибирск, 2018. С. 118–126.
17. Доусон М. Програмуємо на Python. СПб. : Питер, 2014. 416 с.
18. Поляков К.Ю. Программирование. Python. C++. Ч. 1. М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2019. 144 с.

## References

1. Biryuzov V.P. [On the main directions of development of diagnostic and monitoring systems of the track economy until 2025]. *Put' i putevoe khozyaystvo* [Path and track facilities], 2016, no. 4, pp. 4–8.
2. Bugaenko V.M. Monitoring i diagnostika infrastruktury skorostnykh mobil'nykh kompleksov [Monitoring and diagnostics of infrastructure of high-speed mobile complexes]. *Put' i putevoe khozyaystvo* [Track and track facilities], 2015, no. 4, pp. 12–16.
3. Antipov A.G., Markov A.A. Novye vozmozhnosti magnitodinamicheskogo metoda kontrolya rel'sov [New possibilities of the magnetodynamic method of rail control]. *Put' i putevoe khozyaystvo* [Track and track facilities], 2016, no. 8, pp. 27–32.
4. Kovalev I.A., Kolokolnikov V.S. Vliyaniye otkazov tekhnicheskikh sredstv na vypolneniye grafika dvizheniya poezdov [Influence of failures of technical means on the fulfillment of the train schedule]. *Transport Urala* [Transport of the Urals], 2014, no. 2(41), pp. 54–57.
5. Markov A.A., Politai P.G., Makhovikov S.P., Alekseev D.V., Kuznetsova E.A. Kompleksnyi analiz sostoyaniya rel'sovogo puti s pomoshch'yu novogo vagona-defektoskopa AVIKON-03M [Comprehensive analysis of the condition of the rail track using the new AVICON-03M flaw detector wagon]. *V mire nerazrushayushchego kontrolya* [In the world of non-destructive testing], 2013, no. 3(61), pp. 74–79.
6. Os'minin A.T., Mekhedov M.I., Mednikov D.V. Obespecheniye interoperabel'nosti perevozok [Ensuring the interoperability of transportation]. *Zheleznodorozhnyi transport* [Railway transport], 2019, no. 7, pp. 11–17.
7. Rosenberg E.N., Anoshkin V.V. Perspektivy rosta propusknoi sposobnosti uchastkov [Growth prospects of the capacity of sites]. *Zheleznodorozhnyi transport* [Railway transport], 2020, no. 3, pp. 4–7.
8. Sotnikov E.A., Mekhedov M.I., Holodnyak P.S. Intensifikatsiya rosta zagruzhennykh napravlenii seti zheleznykh dorog [Intensification of the growth of the busiest lines of a network of Railways]. *Zheleznodorozhnyi transport* [Railway transport], 2020, no. 3, pp. 11–14.
9. Popova N.N., Krakovskii Yu.M. Obobshchennoye prognozirovaniye pokazatelei gruzovykh perevozok zheleznodorozhnym transportom na osnove stsennarnogo podkhoda [Generalized forecasting of freight transport indicators by rail based on a scenario approach]. *Vestnik RGUPS* [Bulletin of the Rostov State Transport University], 2020, no. 3(79), pp. 132–138.
10. Malovetskaya E.V., Kozlovskii A.P. Analiz modelei i printsipov sistemnogo modelirovaniya pri postroenii prognoznykh modelei pogruzki gruzov [Analysis of models and principles of system modeling in the construction of forecast models of cargo loading]. *International journal of open information technologies*, 2020, vol. 8, no. 12, pp. 39–48.
11. Kramynina G.N. Razrabotka mnogofaktornoi modeli dlya prognozirovaniya gruzooborota na Vostochno-Sibirskoi zheleznoi doroge [Development of a multi-factor model for forecasting cargo turnover on the East Siberian Railway]. *Matematicheskie metody v tekhnologiyakh i tekhnike* [Mathematical methods in technologies and techniques], 2022, no. 3, pp. 38–41.
12. Popova N.N., Krakovskii Yu.M. Prognozirovaniye gruzooborota s uchetom faktornykh modelei [Cargo turnover forecasting taking into account factor models]. *Aktual'nye voprosy agrarnoi nauki* [Actual issues of agrarian science], 2019, no. 32, pp. 63–69.
13. Krakovskii Yu.M., Kargapol'tsev S.K., Nachigin V.A. Modelirovaniye perevochnogo protsessa zheleznodorozhnym transportom: analiz, prognozirovaniye, riski [Modeling of the transport process by rail: analysis, forecasting, risk]. Saint Petersburg: LITEO Publ., 2018. 240 p.
14. Kelton W. David, Low Averill M. [Simulation modeling and analysis]. Saint. Petersburg: Piter Publ.: Kiev: Izdatel'skaya gruppa BHV Publ., 2004. 847 p.
15. Hollander M., Wolfe D.A. *Neparametricheskie metody statistiki* [Nonparametric statistical methods]. Moscow: Finansy i Statistika Publ., 1983. 518 p.
16. Kulikov V.E. Teoreticheskie problemy modelirovaniya khozyaystvennoi deyatel'nosti sel'skokhozyaystvennykh predpriyatii v usloviyakh neopredelennosti [Theoretical problems of modeling the economic activity of agricultural enterprises in conditions of uncertainty]. *Sbornik materialov III Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Ekonomika i upravlenie: problemy, analiz tendentsii i perspektiv razvitiya»* [Proceedings of the III International Scientific-Practical Conference «Economics and management: problems, analysis of trends and development prospects»]. Novosibirsk, 2018. pp. 118–126.
17. Dawson M. Programmiruemye na Python [Programming in Python]. Saint Petersburg: Piter Publ., 2014. 416 p.
18. Polyakov K.Yu. Programirovaniye. Python. C++. Ch. 1. [Programming. Python. C++. Part 1]. Moscow: BINOM. Laboratoriya znaniy Publ., 2019. 144 p.

## Информация об авторах

**Краковский Юрий Мечеславович**, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры информационных систем и защиты информации, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск; e-mail: yuri.krakovskiy@yandex.ru.

**Кудряшов Игорь Павлович**, кафедра информационных систем и защиты информации, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск; e-mail: igorkudryashov7k@gmail.com.

**Начигин Владимир Александрович**, кандидат технических наук, начальник Инновационно-технологического центра развития Восточного полигона, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: nachiginv@yandex.ru.

## Information about the authors

**Yurii M. Krakovskii**, Doctor of Engineering Science, Full Professor, Professor of the Department of Information Systems and Information Security, Irkutsk State Transport University, Irkutsk; e-mail: yuri.krakovskiy@yandex.ru.

**Igor' P. Kudryashov**, Department of Information Systems and Information Security, Irkutsk State Transport University, Irkutsk; e-mail: igorkudryashov7k@gmail.com.

**Vladimir A. Nachigin**, Ph.D. in Engineering Science, Head of the Innovation and Technological Development Center of the Eastern Polygon, Irkutsk State Transport University, Irkutsk; e-mail: nachiginv@yandex.ru.