

DOI: 10.18721/JE.12518

УДК 330.322.54

## ОЦЕНКА СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИНВЕСТИЦИЙ В ТРАНСПОРТНОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО С УЧЕТОМ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ МЕТОДОМ МОНТЕ-КАРЛО

**Е.В. Казаку, Е.В. Зверева**

Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I,  
Санкт-Петербург, Российская Федерация

Углубление экономико-социальных процессов в информационную среду с одной стороны определяет необходимость своевременного развития, а с другой стороны, предоставляет возможность внедрения современных цифровых методов в сфере оценки и обоснования эффективности инвестиций в инфраструктурные объекты. Развитие сети железных дорог в сложных географических условиях и отдаленных территориях во многом обуславливает значительные капиталовложения, длительные сроки строительства, а также сопровождается высокой степенью неопределенности, что отражает актуальность исследования. В статье представлена модель социально-экономической оценки эффективности инвестиций в строительство перспективных железнодорожных линий с учетом неопределенности основных динамических параметров проекта. Разработан совокупный критерий оценки социально-экономической эффективности инвестиций с учетом неопределенности на период ввода в эксплуатацию железнодорожной линии. Выполнен анализ факторов неопределенности. В качестве ключевых выбраны: объем и стоимость реализации основных грузов, транспортируемых по железнодорожной линии, а также изменение миграционного притока населения для ее обслуживания. Разработана вероятностная модель денежных потоков, эффектов, результатов и затрат по показателю срок окупаемости инвестиций с учетом факторов неопределенности для метода Монте-Карло. Представлен алгоритм вероятностной оценки социально-экономической эффективности с учетом неопределенности ключевых параметров проекта методом Монте-Карло. Выполнен расчет оценки социально-экономической эффективности с учетом факторов неопределенности строительства железнодорожной линии «Полуночное – Обская». Модель социально-экономической оценки эффективности инвестиций с учетом неопределенности отражает специфику инвестиционного проекта и учитывает вероятностные факторы неопределенности, что обеспечивает более точные и достоверные результаты оценки, чем детерминированная оценка. Результаты исследования показали, что наибольшее значение на показатели эффективности оказывают объем и стоимость грузов на момент ввода в эксплуатацию железнодорожной линии. Незначительное влияние оказывает фактор миграционного притока населения в районе строительства линии. В силу высоких темпов окупаемости инвестиций, показатель эффективности инвестиций более чувствителен к выбранным факторам на ранних этапах оценки (до 10–15 лет). Также срок окупаемости для регионального уровня, а также уровня предприятия более чувствителен, чем срок окупаемости на федеральном уровне. Результаты социально-экономической оценки эффективности инвестиционного проекта «Полуночное-Обская» показали высокую эффективность, быструю окупаемость и социальную значимость проекта

**Ключевые слова:** Цифровое пространство, неопределенность, факторы неопределенности, совокупный критерий эффективности, метод Монте-Карло, трехуровневая модель денежных потоков, социально-экономическая эффективность инвестиций, железнодорожное строительство

**Ссылка при цитировании:** Казаку Е.В., Зверева Е.В. Оценка социально-экономической эффективности инвестиций в транспортное строительство с учетом неопределенности методом Монте-Карло // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Экономические науки. 2019. Т. 12, № 5. С. 218–231. DOI: 10.18721/JE.12518

# ASSESSMENT OF SOCIO-ECONOMIC EFFICIENCY OF INVESTMENTS IN TRANSPORT CONSTRUCTION BY MONTE CARLO METHOD INCLUDING UNCERTAINTY

**E.V. Kazaku, E.V. Zvereva**

Petersburg State Transport University, St. Petersburg, Russian Federation

Deepening economic and social processes in the information environment on the one hand determine the need for timely development, and, on the other hand, provide an opportunity to introduce modern digital methods in the field of assessment and justification of effectiveness of investments in infrastructure facilities. Developing a railway network in difficult geographical conditions and remote areas involves significant investments, long construction time, and is accompanied by a high degree of uncertainty, which is why the study is relevant. The study presents a model of socio-economic assessment of effectiveness of investment for construction of promising railway lines, taking into account the uncertainty of the main dynamic parameters of the project. A cumulative criterion has been developed for assessing the socio-economic efficiency of investments, taking into account the uncertainty for the period of commissioning of the railway line. Analysis of uncertainty factors is carried out. The volume and cost of sales of the main goods transported by the railway line, as well as changes in migration inflow of the population for its service were chosen as the key factors. We have developed probabilistic model of cash flows, effects, results and costs in terms of the payback period of investments, taking into account uncertainty factors for the Monte Carlo method. We have introduced an algorithm of probabilistic assessment of socio-economic efficiency taking into account uncertainty of key parameters of the project by the Monte Carlo method. We have calculated the estimate of socio-economic efficiency taking into account the uncertainty factors of the construction of the railway line. The model of socio-economic assessment of investment efficiency with uncertainty reflects the specifics of the investment project and takes into account the probabilistic uncertainty factors, which provides more accurate and reliable estimate results than deterministic estimate. The results of the study showed that the volume and cost of goods at the time of commissioning of the railway line have the greatest effect on the performance indicators. The factor of migration inflow of population in the area of construction of the line has a minor impact. Due to high rate of return on investment, the investment performance indicator is more sensitive to selected factors in the early stages of assessment (up to 10-15 years). Furthermore, the payback period for the regional level, as well as the level of the enterprise is more sensitive than the payback period at the federal level. The results of socio-economic assessment of efficiency of the investment project showed high efficiency, quick payback and social significance of the project.

**Keywords:** Digital space, uncertainty, uncertainty factors, aggregate efficiency criterion, Monte Carlo method, three-level cash flow model, socio-economic efficiency of investments, railway construction

**Citation:** E.V. Kazaku, E.V. Zvereva, Assessment of socio-economic efficiency of investments in transport construction by Monte Carlo method including uncertainty, St. Petersburg State Polytechnical University Journal. Economics, 12 (5) (2019) 218–231. DOI: 10.18721/JE.12518

*Введение.* Углубление экономико-социальных процессов в информационную среду с одной стороны определяет необходимость своевременного развития, а с другой стороны, предоставляет возможность внедрения современных цифровых методов в сфере оценки и обоснования эффективности инвестиций в инфраструктурные объекты.

К таким объектам относится строительство перспективных железнодорожных линий (ПЖЛ). Авторы считают, что железнодорожные линии следует отнести к **перспективным**, если они обеспечивают финансовые притоки на Федеральный уровень, социально-экономические притоки для субъектов Российской Федерации и коммерче-

ские эффекты для предприятий и организаций, участников инвестиционно-строительного проекта [1].

*Объектом исследования* являются организации, обеспечивающие инвестирование, реализацию и эксплуатацию ПЖЛ, функционирующих на федеральном, региональном уровнях и уровне предприятий.

Развитие сети железных дорог в сложных географических условиях и отдаленных территориях во многом обуславливает значительные капиталовложения, длительные сроки строительства, а также сопровождается высокой степенью неопределенности.

Учет влияния факторов повышения региональной занятости населения на показатели эффективности транспортного строительства во многом позволит повысить социальную значимость строительства ПЖЛ. Особенности изменения региональной занятости отмечены в работах Е.В. Зверевой, В.К. Резанова, Л.К. Шайкиной [2]. Методический подход к оценке экономической эффективности инвестиционных проектов дорожно-транспортного назначения применен в работах Г.М. Харисовой, Р.Р. Харисовой, И.Ю. Литвина, Р.Р. Акмалова [3]. В работах Е.В. Кривченко, А.В. Каменчукова [4] в учебном пособии по оценке экономической эффективности инвестиционных проектов в дорожном хозяйстве широко представлены эффекты по отраслям народного хозяйства. Проблемы инвестиций в проекты развития железнодорожной сети в сложных природных условиях исследовали Н.В. Дербас, Р.Г. Леонтьев [5, 6]. Д.А. Мачерет рассмотрел методологические особенности оценки экономической эффективности государственных инвестиций в строительство объектов транспортной инфраструктуры в контексте налогообложения. Он отметил, что «оценка социально-экономической эффективности бюджетных затрат, являясь идеальным вариантом, на практике чрезвычайно сложна» [7]. Классик экономической теории в области эффективности инфраструктурных объектов Ж. Дюпюи утверждал, что следует оценивать степень полезности строительных объектов для общества с точки перерас-

пределения государственных расходов. [8] Исследования данных авторов внесли значительную роль в развитие теории оценки социально-экономической эффективности инвестиционных проектов транспортного строительства. Однако в условиях цифровизации экономики большее значение следует уделять факторам **неопределенности**, сопровождающих реализацию проекта.

*Предметом данного исследования* являются современные цифровые методы, обеспечивающие учет неопределенности для оценки социально-экономической эффективности инвестиций в строительство ПЖЛ.

Авторы статьи придерживаются мнения, что под **неопределенностью, сопровождающей инвестиционный проект**, следует понимать неполноту информации о ключевых динамических параметрах проекта, изменение которых приведет к значительному занижению показателей эффективности для одного или всех из трех уровней участников проекта.

Исследования учета и экономической оценке риска и неопределенности транспортных инвестиционных проектов посвящены работы С.Г. Опарина, А.Е. Стасишиной-Ольшевской, К.А. Травкина, [9–11]. Стасишина-Ольшевская [9], как и многие зарубежные авторы, например М. Awuni [16], D. Shin, Y. Shin, G. Kim [17], J.B. Lee, J.K. Lee, S.R. Chang, Y.S. Kim [18, 19] в своих исследованиях риска большое значение уделяет его идентификации. При расчетах показателя чистой приведенной стоимости А.П. Куликовский, М.А. Лукьянова [12], Л.М. Рабинович, и Е.П. Фадеева применили метод Монте-Карло в комплексе с распределением вероятностей Шарлье [13]. П.В. Бураков, А.В. Порваль [14]. предложили применять метод Монте-Карло в экономическом обосновании проектов. А.П. Куликовским, Ю.Д. Феськовой [15] выполнен анализ применения разных видов компьютерных программ для этапов жизненного цикла инвестиционного проекта. Одним из перспективных направлений количественной оценки риска и учета неопределенности следует выделить метод Монте-Карло. В зарубежных исследованиях он широко применен в вопросах оцен-

ки рисков в сфере финансов и кредитов авторами: Н. Takada [20], Q. Zhao, G. Liu and G. Gu [21], D. Ding, Q. Fu, J. So [22]. Анализ рисков в капиталовложениях применили W. Hurley [23], R. Clark, A. Lowe [24].

Наиболее широкое применение на практике получил метод поправки на риск (или корректировки нормы дисконта), что связано с доступностью метода. Однако достоверность результатов оценки зависит от назначаемой величины поправки к норме дисконта\*.

Исследования работ выше представленных авторов демонстрируют высокую актуальность вопросов учета неопределенности при оценке эффективности транспортных инвестиционных проектов. Однако только предметная детально разработанная модель оценки социально-экономической эффективности с учетом неопределенности в строительстве ПЖЛ может обеспечить требуемый уровень достоверности результатов.

*Цель исследования:* разработка модели оценки социально-экономической эффективности инвестиций в строительство ПЖЛ с учетом неопределенности основных динамических параметров проекта, а также разработка алгоритма оценки методом Монте-Карло.

Модель оценки социально-экономической эффективности инвестиций в строительство ПЖЛ должна учитывать взаимосвязь инвестиций и притоков и социально-экономических эффектов на трех уровнях реализации инвестиций: на федеральном, региональном и уровне предприятия.

Исходя из поставленной цели, основные задачи исследования:

- разработка критерия оценки социально-экономической эффективности инвестиций в строительство ПЖЛ;
- анализ факторов неопределенности и отбор ключевых параметров проекта;
- разработка вероятностной модели денежных потоков, эффектов, результатов и затрат;

- интерпретация метода Монте-Карло для оценки социально-экономической эффективности с учетом неопределенности ключевых параметров проекта;

- разработка алгоритма вероятностной оценки социально-экономической эффективности с учетом неопределенности ключевых параметров проекта;

- выполнение примера оценки социально-экономической эффективности с учетом факторов неопределенности строительства железнодорожной линии «Полуночное – Обская».

- анализ полученных результатов.

#### *Методика исследования.*

### **1. Модель оценки социально-экономической эффективности инвестиций в транспортное строительство с учетом неопределенности методом Монте-Карло.**

Сущность метода Монте-Карло заключается в генерации псевдослучайных значений параметров проекта, расчет результативных показателей эффективности и оценка среднего их значения и среднеквадратического отклонения. В условиях развития цифровой среды стали доступны достаточные объемы статистических данных, на основании которых можно сформировать законы распределения изменяемых параметров или применить нормальный закон распределения.

В исследовании принято, что социально-экономическая эффективность инвестиций в строительство ПЖЛ – это отношение финансовых притоков в виде налоговых отчислений в федеральный бюджет, в региональный бюджет, эффектов от повышения региональной занятости населения и чистой прибыли от реализации и транспортировки грузов к объему инвестиций, соответствующего уровня участников проекта [1].

В условиях повышенного уровня риска и неопределенности, сопровождающих реализацию капиталоемких проектов *совокупный критерий окупаемости* инвестиций [1] целесообразно дополнить учетом неопределенности основных параметров проекта. На основании анализа чувствительности параметров модели авторы сделали выводы о том, что *объемы транспортировки*

\* Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов (Вторая редакция, исправленная и дополненная). Утв. Минэкономки РФ, Минфином РФ и Госстрой РФ № ВК 477 от 21.06.1999 г. 67 с.

разных видов грузов и *стоимость их реализации* следует отнести к особенно значимым факторам (табл. 1). В рассматриваемой модели в качестве грузов учитываются полезные ископаемые, добыча и транспортировка которых стала возможна в результате строительства ПЖЛ. Следует отметить социальное значение изменения миграционного притока населения для обслуживания ПЖЛ, оказывающего влияние на покупательскую способность и общий рост доходов населения региона.

Анализ ключевых факторов неопределенности построен для всех уровней инвестирования.

Факторы распределены исходя из основных этапов жизненного цикла проекта строительства ПЖЛ: предпроектный; проектирование; строительство; эксплуатация до момента выхода на проектную мощность новых месторождений; эксплуатация до момента капитального строительства ПЖЛ; эксплуатация до конца расчетного периода. Все этапы сменяют друг друга последовательно.

Таблица 1

**Ключевые социально-экономические факторы неопределенности строительства ПЖЛ**  
**Key socio-economic factors of uncertainty in the construction of PRL**

Факторы неопределённости	I. Федеральный уровень	II. Региональный уровень	III. Уровень предприятия	Степень влияния
<i>Этап предпроектный</i>				
1. Общий объем разведанных полезных ископаемых <i>i</i> -го вида	+	+	+	<i>Высокая</i>
<i>Этап проектирования</i>				
2. Объем инвестиций	+	+	+	<i>Высокая</i>
<i>Этап строительства</i>				
3. Удорожание отдельных видов работ	+	+	+	<i>Высокая</i>
4. Дополнительные виды работ	+	+	+	<i>Высокая</i>
5. Задержка принятия на баланс	+	+	+	<i>Высокая</i>
6. Недобросовестные подрядчики	+	+	+	<i>Высокая</i>
7. Недостаточный приток человеческих ресурсов для строительства ЖД	-	+	-	<i>Низкая</i>
<i>Этап эксплуатации до момента выхода на проектную мощность новых месторождений</i>				
8. Объем транспортировки груза <i>i</i> -го вида на шаге <i>t</i>	+	+	+	<i>Высокая</i>
9. Стоимость грузов <i>i</i> -го вида на шаге <i>t</i>	+	+	+	<i>Высокая</i>
10. Задержка выхода на проектную мощность месторождений	+	+	+	<i>Высокая</i>
11. Недостаточный приток человеческих ресурсов для эксплуатации ЖД	-	+	-	<i>Низкая</i>
<i>Этап эксплуатации до момента капитального строительства ПЖЛ</i>				
12. Задержка сроков капитального ремонта	+	+	+	<i>Низкая</i>
13. Недобросовестный подрядчик	+	+	+	<i>Низкая</i>
<i>Этап эксплуатации до конца расчетного периода</i>				
14. Отток человеческих ресурсов для эксплуатации ПЖЛ.	-	+	-	<i>Низкая</i>
15. Изменение налогового законодательства	+	+	-	<i>низкая</i>

Совокупным критерием оценки социально-экономической эффективности инвестиций в строительство ПЖЛ с учетом неопределенности следует считать не превышение полученных величин среднего значения (математического ожидания) сроков окупаемости инвестиций нормативных значений сроков окупаемости инвестиций на каждом из уровней:

$$K'_o(\hat{V}_{it}, \hat{S}_{it}, \dots, N) : \left\{ \begin{array}{l} m\tau_o^\phi(\hat{V}_{it}, \hat{S}_{it}, \dots, N) \leq \tau_n^\phi \\ m\tau_o^p(\hat{V}_{it}, \hat{S}_{it}, \dots, N) \leq \tau_n^p \\ m\tau_o^n(\hat{V}_{it}, \hat{S}_{it}, \dots, N) \leq \tau_n^n \end{array} \right\} \quad (1)$$

$K_o$  – совокупный критерий социально-экономической эффективности инвестиций с учетом неопределенности объемов грузоперевозок и стоимости продажи грузов и прочих факторов  $N$ ;  $m\tau_o^\phi$ ,  $m\tau_o^p$ ,  $m\tau_o^n$  – среднее значение сроков окупаемости инвестиций на федеральном, региональном уровнях и уровне предприятия соответственно;  $\tau_n^\phi$ ,  $\tau_n^p$ ,  $\tau_n^n$  – нормативные (требуемые) значения сроков окупаемости инвестиций для федерального, регионального уровней и уровня предприятия;  $V_{it}$ ,  $S_{it}$  – объемы перевозок и цена реализации  $i$ -го вида груза на сроке  $t$  соответственно.

С помощью генератора псевдослучайных чисел с использованием заданных характеристик неопределенности случайных факторов ( $\sigma_v$ ;  $m_v$  и  $m_s$ ;  $\sigma_s$ ) последовательно генерируются объемы транспортировки грузов в и стоимость их реализации на шаге  $i$ , многократно моделируя случайные факторы, определяются значения срока окупаемости инвестиций  $\tau_{oi}$ .

Блок-схема алгоритма оценки социально-экономической эффективности инвестиций с учетом неопределенности методом Монте-Карло представлена на рис. 1.

Решением задачи является математическое ожидание срока окупаемости инвестиций  $m\tau_o$ , а среднеквадратическое отклонение  $\sigma_\tau$  используется в качестве характеристики неопределенности:

$$m\tau_o = \sum_{i=1}^N p_i \tau_{oi}; \quad (2)$$

$$\sigma_{\tau_o} = \left[ \sum_{i=1}^N p_i (\tau_{oi}^2) - \left( \sum_{i=1}^N p_i \tau_{oi} \right)^2 \right]^{1/2} = [m(\tau_o^2) - (m\tau_o)^2]^{1/2}, \quad (3)$$

где  $N$  – заданное количество реализаций случайной величины срока окупаемости инвестиций  $\tau_o$  в расчетном периоде  $T$ ;  $p_i$  – вероятность принятия случайной величиной значения  $\tau_{oi}$ -й реализации;  $m(\tau_o^2)$  – математическое ожидание квадрата случайной величины срока окупаемости инвестиций  $\tau_o^2$ .

Используя универсальность и доступность методов Монте-Карло, нельзя забывать, что они основаны на законах больших чисел и предельных теоремах теории вероятностей. В предположении о нормальности распределения срока окупаемости позволяет делать правильные выводы только о его средних значениях – математическом ожидании и среднеквадратическом отклонении.

**2. Пример оценки социально-экономической эффективности инвестиций с учетом неопределенности в строительстве ПЖЛ «Полуночное-Обская».** Железнодорожную линию, включенную в план Стратегии развития железнодорожного транспорта в Российской Федерации до 2030 года, следует отнести к перспективным железнодорожным линиям. Т. к. реализация проекта ее строительства обеспечит финансовые притоки на Федеральный уровень, социально-экономические притоки для субъектов Российской Федерации и коммерческие эффекты для предприятий и организаций, участников инвестиционно-строительного проекта. Согласно проекту, выполненному в 2009 году, железнодорожная линия: Полуночное – Обская длиной 790 км, должна была функционировать с 2016 года и связать Северный морской путь и месторождения Приполярного Урала с промышленным Уралом. Однако, изменение глобальной экономической конъюнктуры обусловило изменения в части указанного проекта: строительство железной дороги «Полуночное – Обская» перенесли на 2020 год. Оценка социально-экономической эффективности инвестиций строительства ПЖЛ «Полуночное-Обская» с учетом неопределенности позволит сделать выводы о целесообразности реализации данного проекта.

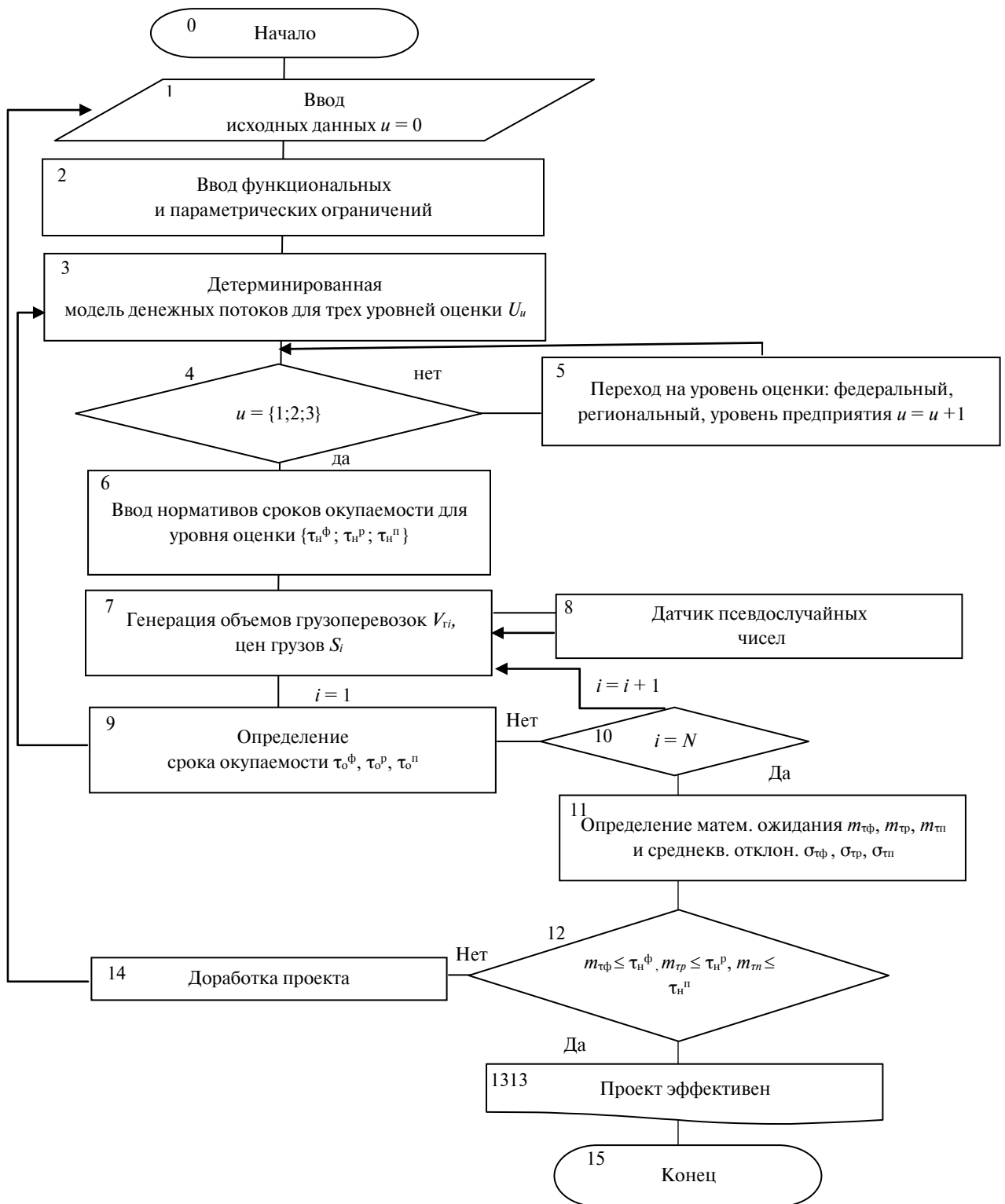


Рис. 1. Блок-схема алгоритма оценки социально-экономической эффективности инвестиций с учетом неопределенности.

Fig. 1. Block diagram of the algorithm for assessing the socio-economic efficiency of investments with uncertainty

В соответствии с исследованиями Уральского отделения Российской академии наук суммарные запасы залежей железа, хрома, марганца, бокситов, фосфоритов и др. в области полигона проектируемой железнодорожной линии (на месторождениях восточного склона Уральских гор) составляют 40–45 млрд т (табл. 2). Общие прогнозные ресурсы залежей железной руды Полярного и Приполярного Урала оцениваются в 5,6 млрд т, в т. ч. разведанное месторождение до 1,1 млрд т. Разработка северных месторождений позволит скомпенсировать потребность Южного Урала в железной руде в собственном регионе.

В Уральский федеральный округ ввозится до 0,6 млн т в год марганцевого концентрата из Казахстана. Разведанные ресурсы марганца составляют более 1,4 млрд т, с общими прогнозными запасами около 50 млн т хромовые руды оцениваются в размере 850 млн т, в т. ч. утвержденные запасы 15,3 млн т. Разработка хромовых и марганцевых руд полностью обеспечит потребность в них всей промышленности России.

Прогнозные ресурсы бурых углей составляют 26 млрд т, однако они мало пригодны для транспортировки. Поэтому при развитии промышленности по их переработке, возможна транс-

портировка полукокса. Ресурсы фосфоритов составляют до 500 млн т, в т. ч. разведанные запасы 38 млн т. На полярном Урале имеются значительные запасы разведанных месторождений строительного сырья. Общие запасы древесины достигают 566 млн куб. м, в т. ч. эксплуатационные – 253 млн м<sup>3</sup> [25].

Следует отметить, что большинство месторождений руд Полярного и Приполярного Урала не стоят на учете Государственного баланса ресурсов.

Модель денежных потоков, результатов, эффектов и затрат построена для 44 лет расчетного периода, в т. ч. шесть лет строительства, начиная с 2010 г. Затраты распределены по трем уровням: 70% – Федеральный уровень, 12% – региональный уровень и 18% – уровень предприятий.

В таблице приведены объем транспортируемых грузов на шаге  $t = 73$  (2016 г.). Следует выделить грузы: кокс, медь и черные руды. Исследуем значение одного из выбранных грузов (медь, как наибольшее по стоимости) на критической точке ввода основных мощностей в 2016 г. (табл. 3). Для данного параметра построена таблица с вероятными характеристиками для объема транспортировки на шаге ввода в эксплуатацию основных мощностей в 2016 году (табл. 4).

Таблица 2

**Объем транспортируемых полезных ископаемых и лесных ресурсов на территории Приполярного и Полярного Урала**

**Volume of transported minerals and forest resources in the polar and Polar Urals**

№ п/п	Вид полезного ископаемого	Разведанные месторождения	Прогнозные ресурсы	Транспортировка, млн т	
				в 2020 году	в 2025 году
1.	<b>Руды, млрд т</b>			2,2	5,0
1.1.	Железная руда, млрд т	1,1	5,6	0,6	1,1
1.2.	Марганец, млрд т	0,05	1,4	0,5	1,1
1.3.	Хром, млн т*	15,3	850	0,6	1,4
1.4.	Медь, млн т*		11	0,5	1,4
2.	<b>Фосфориты, млн т</b>	38	500	0,4	0,8
3.	<b>Лес, м<sup>3</sup></b>	253	566	0,7	1,0
4.	<b>Кокс, полукокс млн т</b>	–	–	1,1	3,0

Примечание. При потребности России в год 1,4 млн т.



Таблица 3

Элементы модели денежных потоков на момент ввода в эксплуатацию.

Elements of cash flow model at the time of commissioning

Наименование груза	Объем транспортировки грузов, млн т	Тонно-километровая работа, млн ткм	Цена реализации, руб./т	Выручка от реализации, млн руб.
Груз №1 (Уголь)	0,07	57,13	760	50,67
Груз №2 (Кокс)	0,08	32,50	2 282	190,17
Груз №3 (Черные руды)	0,14	42,85	1 136	160,93
Груз №4 (Медь)	0,04	35,71	234 102	9754,25
Груз №5 (Лес)	0,06	27,13	397	23,16
Груз №6 (Фосфориты)	0,03	28,57	388	45,27
Груз №7 (Прочие грузы)	0,04	36,71	3 901	130,03

Таблица 4

Вероятностные характеристики объемов транспортировки меди (млн т)

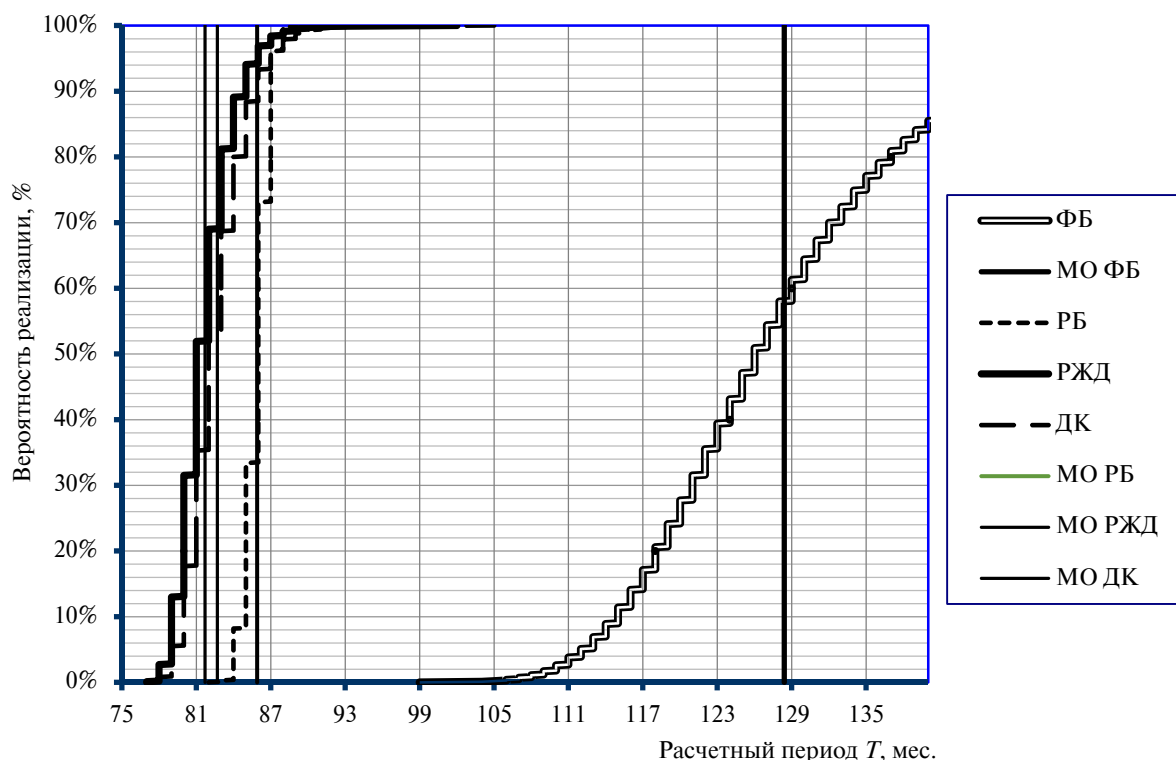
Probabilistic characteristics of copper transportation volumes (million tons)

№ события, $i$	Плотность	Объем меди	$m(V_{mi})$	$m(V_{mi})^2$
1	0,00003	0,0067	0,0000002	0,000000001
2	0,00041	0,0100	0,0000041	0,000000041
3	0,00346	0,0175	0,0000606	0,000001060
4	0,01911	0,0267	0,0005096	0,000013589
5	0,06874	0,0292	0,0020049	0,000058477
6	0,16127	0,0342	0,0055101	0,000188260
7	0,24697	0,0358	0,0088498	0,000317116
8	0,24697	0,0408	0,0100846	0,000411788
9	0,16127	0,0492	0,0079291	0,000389848
10	0,06874	0,0508	0,0034943	0,000177626
11	0,01911	0,0525	0,0010033	0,000052672
12	0,00346	0,0658	0,0002278	0,000014996
13	0,00041	0,0675	0,0000277	0,000001868
	1,00	<b>0,040</b>	<b><math>D/\sigma</math></b>	<b>0,000051/0,00713</b>

Аналогично определены вероятностные характеристики стоимости меди в 2016 г.: математическое ожидание стоимости меди составило 0,228876 млн р., дисперсия – 1102,008 млн р. Приток населения в регион для обслуживания ПЖЛ обеспечит социально-экономический рост за счет притока специалистов, что увеличит покупательскую способность в регионе и увеличит региональный фонд оплаты труда. Для учета социальной составляющей неопределенности в модели, рассчитаны вероятностные характери-

стики миграционного притока населения для обслуживания ПЖЛ как 50 % от требуемого числа персонала в 2016 г. Математическое ожидание стоимости прироста составило 3502 чел., дисперсия – 20083 чел.

С помощью надстройки Монте-Карло С. Варюхина [28] в модель внесены вероятностные характеристики выбранных параметров и рассчитаны вероятностные характеристики результирующего показателя: срок окупаемости для каждого из уровней инвестирования (рис. 3).



**Рис. 3.** Срок окупаемости инвестиционного проекта с учетом неопределенности для трех уровней инвестирования  
**Fig. 3.** The payback period of the investment project, taking into account the uncertainty for the three levels of investment

Таблица 5

**Результаты определения срока окупаемости методом Монте-Карло, месяцев.**

**The results of determining the payback period by the Monte Carlo method, months**

Наименование	ФБ	РБ	РЖД	ДК
Среднее значение	<b>128,4</b>	<b>85,9</b>	<b>81,7</b>	<b>82,7</b>
Стандартное отклонение	12,72	0,99	2,19	2,40
Максимум	205	89	102	105
Минимум	99	82	77	77
Срок окупаемости без учета неопределенности	128	86	81	82
Срок окупаемости методом поправки на риск	129	87	81	82
Требуемый уровень окупаемости	<b>130</b>	<b>90</b>	<b>90</b>	<b>90</b>

Для реализации метода поправки на риск к норме дисконта в модели в течение 2016 г. сделана поправка на совокупную величину уровня риска (учтен средний уровень риска) 8%. Норма дисконта с учетом поправки составила 17,66%. С учетом скорректированной нормы дисконта рассчитан срок окупаемости инвестиций для Федерального уровня, который составил

129 месяцев, на региональном уровне – 87 мес. Для ОАО «РЖД» и добывающих компаний значения сроков окупаемости соответствует сроку окупаемости без учета неопределенности: 81 и 82 мес. соответственно.

Моделирование методом Монте-Карло выполнено 100 тыс. раз. Полученные результаты оценки (табл. 5) соответствуют совокупному

критерию эффективности с учетом неопределенности: среднее значение сроков окупаемости инвестиционного проекта ниже требуемого значения на каждом уровне моделирования. Можно отметить, что средняя оценка более точная и в некоторой степени показатели выше детерминированных. Авторы также отмечают, что учет неопределенности методом Монте-Карло основывается на применении статистических данных, что повышает уровень доверия к результатам оценки. Тогда как метод поправки на риск использует назначаемые величины поправок на риск в зависимости от субъективных представлений степени неопределенности.

*Результаты исследования.* Таким образом разработана модель оценки социально-экономической эффективности инвестиций в строительство ПЖЛ с учетом неопределенности основных динамических параметров проекта.

Разработан совокупный критерий оценки социально-экономической эффективности инвестиций в строительство ПЖЛ с учетом неопределенности на период ввода в эксплуатацию ПЖЛ.

Выполнен анализ факторов неопределенности. В качестве ключевых выбраны: объем и стоимость реализации основных грузов, транспортируемых по ПЖЛ, а также изменение миграционного притока населения для обслуживания ПЖЛ.

Разработана вероятностная модель денежных потоков, эффектов, результатов и затрат по показателю срок окупаемости инвестиций с учетом факторов неопределенности для метода Монте-Карло.

Представлен алгоритм вероятностной оценки социально-экономической эффективности с учетом неопределенности ключевых параметров проекта методом Монте-Карло.

Выполнен расчет оценки социально-экономической эффективности с учетом факторов неопределенности строительства железнодорожной линии «Полуночное – Обская».

Полученные результаты соотнесены с результатами оценки без учета неопределенности, а также с методом поправки на риск.

*Выводы.* Модель оценки социально-экономической эффективности инвестиций в строительство ПЖЛ с учетом неопределенности отражает специфику инвестиционного проекта и учитывает вероятностные факторы неопределенности, что обеспечивает более достоверные результаты, чем результаты детерминированной оценки. Метод Монте-Карло продемонстрировал себя как более точный математический аппарат оценки. Полученные результаты следует охарактеризовать как более достоверные, чем результаты точечной оценки методом поправки на риск.

Результаты исследования показали, что наибольшее значение на показатели эффективности оказывают объем и стоимость грузов на момент ввода в эксплуатацию ПЖЛ. Незначительное влияние оказывает фактор миграционного притока населения в районе строительства ПЖЛ. В силу высоких темпов окупаемости инвестиций, показатель эффективности инвестиций более чувствителен к выбранным факторам на ранних этапах оценки (до 10–15 лет). Также срок окупаемости для регионального уровня, а также уровня предприятия более чувствителен, чем срок окупаемости на федеральном уровне.

Результаты оценки социально-экономической эффективности инвестиционного проекта «Полуночное-Обская» показали высокую эффективность, быструю окупаемость и социальную значимость проекта.

Дальнейшие исследования авторов планируются в части вероятностной оценки социально-экономической эффективности инвестиций в строительство перспективных железнодорожных линий по показателю риск некупаемости инвестиций методом интегральных сверток чисел [10].

Есть необходимость углубить исследование факторов повышения региональной занятости населения в районе реализации инвестиционного проекта.

Также планируются исследования системы мониторинга показателей и корректировки параметров инвестиционного проекта строительства и эксплуатации железнодорожной линии.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] **Казаку Е.В.** Модель обоснования эффективности бюджетных инвестиций в строительство перспективных железнодорожных линий // Сборник трудов СПбГПУ. 2009. № 3. С. 369–708.
- [2] **Зверева Е.В., Резанов В.К., Шайкина Л.К.** Управление трудовой деятельностью: региональные особенности и факторы будущего // Вестник Сибирского института бизнеса и информационных технологий. 2015. № 1 (13). С. 27–34.
- [3] **Харисова Г.М., Харисова Р.Р., Литвин И.Ю., Акмалов Р.Р.** Методический подход к оценке экономической эффективности инвестиционного проекта в процессе разработки проектно-сметной документации объекта дорожно-транспортного назначения // Строительные и дорожные машины. 2017. № 1. С. 50–53.
- [4] **Кривченко Е.В., Каменчуков А.В.** Оценка эффективности инвестиций в транспортное строительство (дорожное хозяйство и дорожная деятельность): учеб. пособие. Хабаровск: Тихоокеанский гос. ун-т, 2017. 248 с.
- [5] **Дербас Н.В., Леонтьев Р.Г.** Проблемы инвестиций в проекты развития железнодорожной сети в сложных природных условиях // Транспорт: наука, техника, управление. 2014. № 4. С. 3–8.
- [6] **Дербас Н.В., Леонтьев Р.Г.** Влияние экстремальных природных условий на эффективность инвестиций в железнодорожное строительство на Дальнем востоке РФ // Транспорт: наука, техника, управление : сб. обзорной информации. 2008. № 2. С. 34–37.
- [7] **Мачерет Д.А.** Инвестиции государства в инфраструктуру: методология оценки // МИИТ. 2013. Т. 11, № 4 (48). С. 14–19.
- [8] **Дюпон Ж.** О мере полезности гражданских сооружений: Пер. с франц. // Теория потребительского поведения и спроса / под ред. В.М. Гальперина. СПб: Экономическая школа, 1993. С. 28–66.
- [9] **Опарин С.Г., Стасишина-Ольшевская А.Е.** Метод идентификации и построения профиля риска инвестиционных проектов при проведении их стоимостной оценки // Труды конференции РИСКЭ-2018, ПГУПС. СПб., 2018. С. 72–83.
- [10] **Опарин С.Г.** Оценка экономической эффективности инвестиций в транспортное строительство с учетом неопределенности и риска : сб. тр. конф. Икономически университет (Варна), Болгария, 2014. С. 206–217.
- [11] **Опарин С.Г., Травкин К.А.** К вопросу управления рисками проекта на примере строительства моста Бетанкура через малую Неву в районе острова Серый : сб. конф. РИСК'Э-2018. ПГУПС, 2018. С. 195–201.
- [12] **Куликовский А.П., Лукьянова М.А.** Моделирование оценки рисков инвестиционного проекта на основе метода Монте-Карло : сб. тр. конф., Симферополь, ИЭиУ. 2017. С. 86–87.
- [13] **Рабинович Л.М., Фадеева Е.П.** Инвестиционному процессу – научное управление // Актуальные проблемы экономики и права, Казань. 2014. № 4. С. 175–182.
- [14] **Бураков П.В., Порваль А.В.** Методические подходы к обеспечению и поддержке информационного ресурса экономического обоснования научно-технических проектов // Фундаментальные исследования, Пенза. 2016. № 6, ч. 1. С. 144–148.
- [15] **Куликовский А.П., Феськова Ю.Д.** Оценка эффективности инвестирования в эпоху цифровизации : сб. тр. конф., Симферополь. 2019. С. 126–129.
- [16] **Awuni M.** Risk Assessment at the Design Phase of Construction Projects in Ghana // Journal of Building Construction and Planning Research. 2019. 7. P. 39–58. DOI: 10.4236/jbcpr.2019.72004
- [17] **Shin D., Shin, Y., Kim G.** Comparison of Risk Assessment for a Nuclear Power Plant Construction Project Based on Analytic Hierarchy Process and Fuzzy Analytic Hierarchy Process. Journal of Building Construction and Planning Research. 2016. 4. P. 157–171. DOI: 10.4236/jbcpr.2016.43010
- [18] **Lee J.B., Lee J.K., Chang S.R.** A Study on the Risk Level of Work Types in Nuclear Power Plant Construction // Journal of the Korean Society of Safety. 2013. 28. P. 95–99. URL: <http://dx.doi.org/10.14346/jksos.2013.28.3.095>
- [19] **Lee D.U., Kim Y.S.** A Study on the Cost Risk Analysis for Construction Projects Using Fuzzy-AHP Method. Journal of Architectural Institute of Korea. 2003. 19. P. 169–176.
- [20] **Takada H.** Multi-Name Extension to the Credit Grades and an Efficient Monte Carlo Method // Journal of Mathematical Finance. 2014. 4. P. 188–206. DOI: 10.4236/jmf.2014.43017
- [21] **Zhao Q., Liu G., Gu G.** Variance Reduction Techniques of Importance Sampling Monte Carlo Methods for Pricing Options // Journal of Mathematical Finance. 2013. Vol. 3, no. 4. P. 431–436. DOI: 10.4236/jmf.2013.34045
- [22] **Ding D., Fu Q., So J.** Pricing Callable Bonds Based on Monte Carlo Simulation Techniques // Technology and Investment. 2012. Vol. 3, no. 2. P. 121–125. DOI: 10.4236/ti.2012.32015
- [23] **Hurley W.** On the use of martingals in Monte Carlo approaches to multi-period uncertainty of parameters in the analysis of investment risks // Engineer-economist. 1998. Vol. 43, no. 2. DOI: 10.1080 / 00137919808903195

[24] **Clark R., Lowe A.** Risk analysis in project planning: a Simple spreadsheet application using Monte Carlo methods // Project evaluation. 1993. Vol. 8, no. 3.

[25] Гипротранс ТЭИ ОАО «РЖД» «Оценка коммерческой эффективности инвестиций по проекту «Строительство железнодорожной линии Полуночное – Обская – Салехард», 2008.

[26] ЖД-статистика. URL: <https://infobase24.ru/?yclid=4740760074348689744> (дата обращения: 17.08.2019).

[27] Федеральная служба государственной статистики. URL: [http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat\\_main/rosstat/ru/statistics/tariffs/#](http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/tariffs/#) (дата обращения: 18.08.2019).

[28] **Варюхин С.** Надстройка Монте-Карло. URL: <https://hcxl.net/b/mc.html> (дата обращения: 21.08.2019).

**КАЗАКУ Екатерина Владимировна.** E-mail: [eev\\_isip@mail.ru](mailto:eev_isip@mail.ru)

**ЗВЕРЕВА Елена Валерьевна.** E-mail: [zverelv@mail.ru](mailto:zverelv@mail.ru)

*Статья поступила в редакцию: 24.08.2019*

## REFERENCES

[1] **E.V. Kazaku,** Model obosnovaniya effektivnosti byudzhetykh investitsiy v stroitelstvo perspektivnykh zheleznodorozhnykh liniy, Sbornik trudov SPbGPU, S (2009) 369–708.

[2] **E.V. Zvereva, V.K. Rezanov, L.K. Shaykina,** Upravleniye trudovoy deyatelnostyu: regionalnye osobennosti i factory budushchego, Vestnik Sibirskogo instituta biznesa i informatsionnykh tekhnologiy, 1 (13) (2015) 27–34.

[3] **G.M. Kharisova, R.R. Kharisova, I.Yu. Litvin, R.R. Akmalov,** Metodicheskiy podkhod k otsenke ekonomicheskoy effektivnosti investitsionnogo proyekta v protsesse razrabotki proyektno-smetnoy dokumentatsii obyektov dorozhno-transportnogo naznacheniya, Stroitelnyye i dorozhnyye mashiny, 1 (2017) 50–53.

[4] **Ye.V. Krivchenko, A.V. Kamenchukov,** Otsenka effektivnosti investitsiy v transportnoye stroitelstvo (dorozhnoye khozyaystvo i dorozhnaya deyatelnost): uchebnoye posobiye. Khabarovsk: Tikhookeanskiy gos. un-t, 2017.

[5] **N.V. Derbas, R.G. Leontyev,** Problemy investitsiy v proyekt razvitiya zheleznodorozhnoy seti v slozhnykh prirodnykh usloviyakh, Transport: nauka, tekhnika, upravleniye, 4 (2014) 3–8.

[6] **N.V. Derbas, R.G. Leontyev,** Vliyaniye ekstremalnykh prirodnykh usloviy na effektivnost investitsiy v zheleznodorozhnoye stroitelstvo na Dalnem vostoke RF, Transport: nauka, tekhnika, upravleniye : sb. obzornoy informatsii, 2 (2008) 34–37.

[7] **D.A. Macheret,** Investitsii gosudarstva v infrastrukturu: metodologiya otsenki, MIIT, 11 (/4 (48)) (2013) 14–19.

[8] **Zh. Dyupyui,** O mere poleznosti grazhdanskikh sooruzheniy: Per. s frants., Teoriya potrebitelskogo povedeniya i sprosa. Pod red. V.M. Galperina. SPb: Ekonomicheskaya shkola, (1993) 28–66.

[9] **S.G. Oparin, A.Ye. Stasishina-Olshevskaya,** Metod identifikatsii i postroyeniya profilya riska investitsionnykh proyektov pri provedenii ikh stoimostnoy otsenki, Trudy konferentsii RISKE-2018, PGUPS. SPb., (2018) 72–83.

[10] **S.G. Oparin,** Otsenka ekonomicheskoy effektivnosti investitsiy v transportnoye stroitelstvo s uchetom neopredelennosti i riska, Sbornik trudov konferentsii. Ikonomicheski universitet (Varna), Bolgariya, (2014) 206–217.

[11] **S.G. Oparin, K.A. Travkin,** K voprosu upravleniya riskami proyekta na primere stroitelstva mosta Betankura cherez maluyu Nevu v rayone ostrova Seryy, Sbornik konferentsii RISK'E-2018. PGUPS, (2018) 195–201.

[12] **A.P. Kulikovskiy, M.A. Lukyanova,** Modelirovaniye otsenki riskov investitsionnogo proyekta na osnove metoda Monte-Karlo: Sbornik trudov konferentsii, Simferopol, IEiU. (2017) 86–87.

[13] **L.M. Rabinovich, Ye.P. Fadeyeva,** Investitsionnomu protsesu – nauchnoye upravleniye, Aktualnyye problemy ekonomiki i prava, 4 (2014) 175–182.

[14] **P.V. Burakov, A.V. Porval,** Metodicheskiye podkhody k obespecheniyu i podderzhke informatsionnogo resursa ekonomicheskogo obosnovaniya nauchno-tekhnicheskikh proyektov, Fundamentalnyye issledovaniya, Penza, 6 (1) (2016) 144–148.

[15] **A.P. Kulikovskiy, Yu.D. Feskova,** Otsenka effektivnosti investirovaniya v epokhu tsifrovizatsii: sb. tr. konf, Simferopol, (2019) 126–129.

[16] **M. Awuni,** Risk Assessment at the Design Phase of Construction Projects in Ghana, Journal of Building Construction and Planning Research, 7 (2019) 39–58. DOI: 10.4236/jbcpr.2019.72004

[17] **D. Shin, Y. Shin, G. Kim,** Comparison of Risk Assessment for a Nuclear Power Plant Construction Project Based on Analytic Hierarchy Process and Fuzzy Analytic Hierarchy Process, Journal of Building Construction and Planning Research, 4 (2016) 157–171. DOI: 10.4236/jbcpr.2016.43010

[18] **J.B. Lee, J.K. Lee, S.R. Chang,** Study on the Risk Level of Work Types in Nuclear Power Plant Construction, Journal of the Korean Society of Safety, 28 (2013) A 95–99. <http://dx.doi.org/10.14346/jkosos.2013.28.3.095>

- [19] **D.U. Lee, Y.S. Kim**, A Study on the Cost Risk Analysis for Construction Projects Using Fuzzy-AHP Method, *Journal of Architectural Institute of Korea*, 19 (2003) 169–176.
- [20] **H. Takada**, Multi-Name Extension to the Credit Grades and an Efficient Monte Carlo Method, *Journal of Mathematical Finance*, 4 (2014) 188–206. DOI: 10.4236/jmf.2014.43017
- [21] **Q. Zhao, G. Liu, G. Gu**, Variance Reduction Techniques of Importance Sampling Monte Carlo Methods for Pricing Options, *Journal of Mathematical Finance*, 3 (4) (2013) 431–436. DOI: 10.4236/jmf.2013.34045
- [22] **D. Ding, Q. Fu, J. So**, Pricing Callable Bonds Based on Monte Carlo Simulation Techniques, *Technology and Investment*, 3 (2) (2012) 121–125. DOI: 10.4236/ti.2012.32015
- [23] **W. Hurley**, On the use of martingals in Monte Carlo approaches to multi-period uncertainty of parameters in the analysis of investment risks, *Engineer-economist*, 43 (2) (1998). DOI: 10.1080 / 00137919808903195
- [24] **R. Clark, A. Lowe**, Risk analysis in project planning: a Simple spreadsheet application using Monte Carlo methods, *Project evaluation*, 8 (3) (1993).
- [25] Giprottrans TEI OAO «RZhD» «Otsenka kommercheskoy effektivnosti investitsiy po proyektu «Stroitelstvo zheleznodorozhnoy linii Polunochnoye – Obskaya – Salekhard», 2008.
- [26] ZhD-statistika (accessed August 17, 2019) <https://infobase24.ru/?yclid=4740760074348689744>
- [27] Federalnaya sluzhba gosudarstvennoy statistiki. URL: [http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat\\_main/ro\\_sstat/ru/statistics/tariffs/#](http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/ro_sstat/ru/statistics/tariffs/#) (accessed August 18, 2019).
- [28] **S. Varyukhin**, Nadstroyka Monte-Karlo. URL: <https://hcxl.net/b/mc.html> (accessed August 21, 2019).

**KAZAKU Ekaterina V.** E-mail: [eev\\_isip@mail.ru](mailto:eev_isip@mail.ru)

**ZVEREVA Elena V.** E-mail: [zverelv@mail.ru](mailto:zverelv@mail.ru)