

Экономико-математические методы и модели Economic & mathematical methods and models

Научная статья

УДК 338.27

DOI: <https://doi.org/10.18721/JE.15306>



ИНТЕГРИРОВАННАЯ МЕТРИКА ИЗМЕРЕНИЯ РИСКОВ ПРОЕКТОВ НИОКР В УСЛОВИЯХ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

А.В. Коптелова¹ , А.И. Соболев² , С.К. Швец¹ 

¹ Национальный исследовательский университет "Высшая школа экономики",
Санкт-Петербург, Российская Федерация;

² KPMG International Limited, г. Амстелвеен, Нидерланды

✉ koptelova.av@gmail.com

Аннотация. НИОКР-проекты являются не только дорогостоящими, но и обычно имеют длительный период реализации, поскольку состоят из различных этапов (фаз). Кроме того, данному виду научно-технической деятельности присуща экономическая неопределенность и высокая вероятность получения непредсказуемых результатов и непредвиденных убытков и потерь. Таким образом, реализация НИОКР-проектов связана с высоким уровнем риска, в результате чего решение о реализации таких проектов требует серьезного предварительного анализа и расчетов. Целью данного исследования является процесс оценивания риска проектов НИОКР с использованием концепции CorporateMetrics. В качестве меры оценки риска была выбрана количественная оценка влияния внешних и внутренних риск-факторов на денежные потоки проекта НИОКР в условиях неопределенности – величина CFaR. В процессе вычислительных процедур CFaR, как правило, решаются следующие задачи: выделение риск-факторов, воздействующих на денежные потоки проекта; определение для каждого риск-фактора вероятностных распределений их возможных значений; разработка финансовой модели, показывающей, каким образом тот или иной фактор воздействует на денежный поток; определение вероятностных распределений возможных изменений денежного потока. Таким образом, показатель CFaR позволяет оценить величину максимально возможных убытков на определенном горизонте планирования с определенным уровнем вероятности. С использованием CFaR менеджмент проекта оценивает отрицательное изменение прогнозируемых денежных потоков от фактических под влиянием различных рисков факторов (инфляции, спроса, стоимости ресурсов, курса валют и др.). Результатом данного исследования является описание полного цикла НИОКР-проекта машиностроительного предприятия. Так же в исследовании предложена классификация рисков НИОКР по стадиям цикла, разработана матрица методов (мер) оценивания рисков НИОКР и предложен алгоритм определения интегрированной меры риска с использованием метода Монте-Карло. В качестве практического примера предложен расчет CFaR НИОКР-проекта предприятия машиностроительной отрасли. Полученная метрика риска может быть использована для проектирования систем интегрированного риск-менеджмента высокотехнологического предприятия, а также для разработки стратегий элиминирования рисков НИОКР в условиях цифровой трансформации.

Ключевые слова: инновационная деятельность, проект НИОКР, риски НИОКР, метрика рисков НИОКР, денежный поток под риском (CFaR), метод Монте-Карло, интеллектуальные системы

Для цитирования: Коптелова А.В., Соболев А.И., Швец С.К. Интегрированная метрика измерения рисков проектов НИОКР в условиях экономической неопределенности // П-Economy. 2022. Т. 15, № 3. С. 81–96. DOI: <https://doi.org/10.18721/JE.15306>



INTEGRATED MATRIC OF RISK MEASUREMENT OF R&D PROJECTS UNDER CONDITIONS OF UNCERTAINTY

A.V. Koptelova¹  , A.I. Sobolev² , S.K. Shvetc¹ 

¹ National Research University Higher School of Economics,
St. Petersburg, Russian Federation;

² KPMG International Limited, Amstelveen, Netherlands

✉ koptelova.av@gmail.com

Abstract. R&D projects are not only expensive, but also usually have a long implementation period, since they consist of various stages (phases). In addition, this type of scientific and technical activity is characterized by economic uncertainty and a high probability of obtaining unpredictable results and unforeseen losses. Thus, the implementation of R&D projects is associated with a high level of risk, and as a result the decision to implement such projects requires serious preliminary analysis and calculations. The purpose of this study is the process of risk assessment of R&D projects using the concept of CorporateMetrics. The value of CFaR (cash flow at risk) was chosen as a risk assessment measure: a quantitative assessment of the impact of external and internal risk factors on the cash flows of an R&D project under conditions of uncertainty. In the process of CFaR computational procedures, as a rule, the following tasks are solved: identification of risk factors that affect the cash flows of the project; determination of probabilistic distributions of their possible values for each risk factor; development of a financial model showing how one or another factor affects the cash flow; determination of probabilistic distributions of possible changes in cash flow. Thus, the CFaR indicator allows estimating the amount of the maximum possible losses on a certain planning horizon with a certain level of probability. Using CFaR, project management evaluates the negative change in projected cash flows from actual ones under the influence of various risk factors (inflation, demand, cost of resources, exchange rates, etc.). The result of the study is a description of the full cycle of the R&D project of a machine-building enterprise. A classification of R&D risks by cycle stages is proposed. A matrix of methods (measures) for assessing R&D risks has been developed. An algorithm for determining an integrated risk measure using the Monte Carlo method is proposed. A practical example of calculating the CFaR of a R&D project of a machine-building industry enterprise is considered. The resulting risk metric can be used to design integrated risk management systems of a high-tech enterprise, as well as to develop strategies for eliminating R&D risks in the context of digital transformation.

Keywords: innovation activity, R&D project, R&D risks, R&D risk metric, cash flow at risk (CFaR), Monte Carlo method, intelligent systems

Citation: A.V. Koptelova, A.I. Sobolev, S.K. Shvetc, Integrated matrix of risk measurement of R&D projects under conditions of uncertainty, *П-Economy*, 15 (3) (2022) 81–96. DOI: <https://doi.org/10.18721/JE.15306>

Введение

В настоящее время российские предприятия для достижения своих стратегических целей реализуют проекты НИОКР в условиях существенного влияния рисков факторов внешней и внутренней среды: глобализации товарных и финансовых рынков; волатильности цен; налоговой асимметрии; сложности организации бизнес-процессов инновационной деятельности и др. В этом случае анализ и оценка рисков является основной проблемой эффективного управления проектов НИОКР.

Исследования научно-технической деятельности отраслевых предприятий позволили авторам сформулировать определение риска проекта НИОКР, под которым понимается потенциальное событие (или стечение обстоятельств) в будущем, которое может оказать существенное влияние на сокращение доходов или появление дополнительных расходов в результате реализации про-



екта. В этом случае управление рисками НИОКР представляет собой системный подход к определению, оценке и элиминированию рисков, включающий планирование ресурсов с целью минимизации и контроля возникновения нежелательных событий. В процессе применения метрик оценки рисков НИОКР важным является учет всех (как благоприятных, так и неблагоприятных) состояний бизнес-среды, точности оценивания социально-экономического окружения стейкхолдерами и экспертами (например, прогнозы инвестиционных затрат НИОКР, EBIT, EBITDA, FCF и др.).

Следует отметить, что стоимость проектов НИОКР принимает форму реальных инвестиций, которые (в отличие от финансовых инвестиций) имеют низкую ликвидность. Поэтому выбор и алгоритмизация метрик оценки нерыночных рисков проектов необходимо осуществлять с учетом интегрированного подхода выбора мер оценивания рисков НИОКР предприятия, который учитывал бы их специфические потребности в управлении рисками.

В этих условиях предприятия стараются развивать и внедрять интегрированные системы управления рисками (EWRM) проектов НИОКР с целью снижения вероятности получения убытков (потерь), повышения эффективности реализации проектов [13] и тем самым увеличения устойчивости развития научно-технической деятельности предприятия в целом [9]. В связи с этим перед исследователями встает важный вопрос выявления метрик (мер) оценки конъюнктурных рыночных индикаторов (детерминант), которые влияют на результаты научных исследований и разработок в условиях экономической неопределенности.

Актуальность

Исследование механизмов и факторов анализа и оценки мер риска в НИОКР-проектах представляется авторам актуальным как с целью более глубокого понимания функционирования интегрированных систем инновационного риск-менеджмента, выявления основных критериев оценки неопределенности, алгоритмизации выбора мер оценки рисков, так и для разработки методических рекомендаций по повышению эффективности проектов НИОКР.

Несмотря на большое количество научных публикаций по вопросам управления рисками НИОКР, следует отметить, что важные аспекты формирования методической базы измерения рисков НИОКР в условиях цифровизации экономики (digital economy) до сих пор освещены недостаточно. В связи с этим авторы в своем исследовании рассматривают основные аспекты теоретических и методических положений по анализу и оценке рисков проектов НИОКР, направленных на повышение эффективности научно-технической деятельности высокотехнологических предприятий на основе применения интеллектуальных систем измерения рисков в условиях цифровой трансформации.

Литературный обзор

Изучению сущности и содержания измерения рисков проектов НИОКР посвящены работы ряда ученых. Смит П. [15] описывает принципы и методы эффективного управления рисками, подчеркивает важность этого процесса для интенсификации эффективности проектов. Некоторые авторы предложили технологии управления рисками, способные повысить степень успешности проектов НИОКР. Браунинг Т. и др. [8] описал модель определения технических рисков. Кейзер Дж. и др. представили пример применения методологии диагностики рисков (МДР), разработанные компанией Philips Electronics для определения и оценки технологических, организационных и бизнес-рисков продуктовой инновации [10]. В работе Миносяна В.Б. [7] проводится анализ математических моделей, позволяющие исследовать риски, возникающие при реализации НИОКР-проектов. Автором разработана модель для оценки рисков при помощи модифицированной модели VaR. Туккель И.Л. делает вывод, что наиболее значимыми факторами для прогнозирования вероятности эффективного выполнения научных исследований и разра-

боток являются волатильность активов высокотехнологического предприятия и операционного левериджа¹. Полноценное моделирование операционных потерь при проведении научных исследований и разработок приводится в работе Круи и др. [5]. Авторами рассматриваются принципы построения систем риск-менеджмента в современной компании, классификация рисков и интеллектуальные методы их оценки, таких как VaR, RAROC и др. Значительная часть литературы, посвященная управлению рисками НИОКР, затрагивает рассмотрение рисков на уровне индивидуальных проектов в целом – без учета рисков на каждой стадии проекта и их влияния на финансовые результаты проекта. Несмотря на различия в методологии, большинство исследователей считают весьма актуальными работы в области анализа и оценки рисков НИОКР-проектов с использованием интеллектуальных методов в условиях цифровизации экономики.

Цель исследования

Задачей настоящего исследования является разработка методических рекомендации по измерению рисков проектов НИОКР на основе концепции CorporateMetrics и цифровых технологий.

Предметом исследования данной статьи являются процессы интегрированного управления рисками проектов НИОКР предприятий машиностроения с использованием интеллектуальных систем и современных цифровых технологий.

Объектом исследования являются высокотехнологические предприятия машиностроения, осуществляющие научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы в условиях рисков факторов внешней и внутренней экономической среды.

Методика исследования

В данной статье под НИОКР-проектом понимается комплект проектной документации по реализации взаимоувязанных по целям, ресурсам, срокам и исполнителям научно-исследовательских, опытно-конструкторских, производственных, организационных, финансовых, коммерческих и других мероприятий, обеспечивающих увеличение стоимости предприятия. К отличительным особенностям НИОКР-проектом на отраслевых предприятиях следует отнести: высокую степень неопределенности параметров проекта (сроков достижения намеченных целей, предстоящих затрат, будущих доходов и др.); проект ориентируется на долгосрочные результаты; существует высокая вероятность получения неожиданных и представляющих потенциальную коммерческую ценность побочных результатов исследований и др. [17].

Как показала практика основными результатами внедрения НИОКР-проектов на предприятиях являются: получение дополнительной прибыли благодаря использованию возможностей внешней среды; непрерывное улучшение технологий; повышение производительности труда; снижение непроизводительных издержек; расширение продуктового и технологического портфеля и др. Следует отметить, что весь полный цикл НИОКР-проекта включает в себя следующие основные стадии:

- **научно-исследовательские работы (НИР)** (выбор направлений исследований, теоретические и экспериментальные исследования, разработка концепции нового изделия и др.);
- **опытно-конструкторские работы (ОКР)** (эскизное проектирование, техническое проектирование, разработка рабочей конструкторской документации (РКД));
- **проектно-технологические работы (ПТР)** (разработка технологических процессов изготовления сборочных единиц по видам производства; изготовление средств технологического оснащения и др.);
- **экспериментально-опытные работы (ЭОР)** (изготовление опытных и головных образцов, проведение предварительных и приемочных испытаний)².



В процессе выполнения указанных основных стадий проекты *НИОКР* подвергаются следующим рискам (табл. 1).

Таблица 1. Типология основных рисков НИОКР-проектов предприятия
Table 1. Typology of the main risks of the company's R&D projects

Научно-исследовательские риски	<ul style="list-style-type: none">• Риск неправильного выбора направлений теоретических и экспериментальных исследований• Риск неполного анализа научно-технической информации• Риск неглубокого анализа патентной чистоты• Риск ошибок в расчетах оптимальных схем компоновки моделей (образцов) продуктов• Риск несвоевременного изготовления экспериментальных образцов (макетов)• Риск невыполнения необходимых программ испытаний• Риск отсутствия необходимой испытательной и контрольно-измерительной аппаратуры• Риск недостаточного объема работ по доводке моделей (макетов)• Риск некачественного выполнения работ аванпроекта• Риск неполного (ошибочного) технико-экономического обоснования разработки инновации-продукта• Риск не утверждения заказчиком ОНТД по НИР в целом
Опытно-конструкторские риски	<ul style="list-style-type: none">• Риск неправильного определения совокупности тактико-технических требований (норм, правил), предъявляемых к инновации-продукту• Риск несвоевременного и некачественного изготовления РКД для изготовления опытного образца• Риск некачественного проведения расчетов, необходимых для проработки вариантов схем и конструкций инновации-продукта• Риск некачественного и несвоевременного выполнения работ по эскизному проектированию• Риск выбора неоптимальных решений вариантов проектирования продукта, направленных на внутреннюю и внешнюю конкурентоспособность• Риск низкого уровня стандартизации, унификации и каталогизации продукта• Риск несоответствия продукта требованиям эргономики и технической эстетики, техники безопасности, производственной санитарии, а так же современным экологическим требованиям• Риск некачественного и несвоевременного выполнения работ по техническому проектированию• Риск некачественной разработки рабочей конструкторской документации• Риск необеспечения технологичности продукта при его проектировании• Риск некачественного выполнения проектно-технологических процессов деталей и сборочных единиц по видам производства
Проектно-технологические риски	<ul style="list-style-type: none">• Риск некачественной отработки конструкции изделия на технологичность• Риск неэффективной организации и управления технологическими процессами• Риск некачественного и несвоевременного изготовления средств
Экспериментально-опытные риски	<ul style="list-style-type: none">• Риск несвоевременного и некачественного изготовления опытных и головных образцов• Риск несвоевременного испытания и приемки опытных и головных образцов

Как показали исследования к основным факторам, которые обуславливают возникновение рисков НИОКР-проектов на предприятии, следует отнести: нарушение сроков проведения работ, что сопровождается дополнительными затратами; получение результатов, которые не соответствуют предъявляемым требованиям; опытный образец является не патентоспособным; опытный образец не соответствует рыночному спросу; невозможность проектно-технологической подготовки производства на основе принятых технических решений и др. Все выявленные факторы в совокупности формируют рисковую ситуацию, которая препятствует научно-технической деятельности предприятия. Следует отметить, что в корпоративной практике достаточно сложно отделить фактор риска, рисковое событие и последствия рискового события. В этом случае необходимо помнить, что любое рисковое событие является следствием совокупности факторов, как внешних, так и внутренних, которым постоянно подвергаются проекты НИОКР.

В настоящее время для решения отмеченных проблем предприятия для анализа и оценки рисков НИОКР-проектов используют, как правило, международные стандарты и подходы³. Однако анализ и оценивание рисков проектов требует аккумуляции всех известных методов (моделей), а также разработки новых, учитывающих постоянную эволюцию инновационной бизнес среды. Для реализации процедур интеграции метрик (мер) риска необходимо выявить критерии, на основе которых осуществляются интеграционные процессы. При этом используются следующие оценки: макро- и микроэкономические параметры оценивания риска; доступность научно-технической информации с учетом ее изменений; условия реализации инновационных процессов; возможность применения компьютерных программ для оценивания рисков (digital economy); толерантность менеджмента компании к инновационному риску и др.

В табл. 2 представлена разработанная авторами матрица методов (мер) оценки рисков НИОКР-проектов предприятия с учетом критерия «уровень управления – неопределенность»⁴.

Таблица 2. Основные методы (меры) оценки рисков НИОКР-проектов
Table 2. Main methods (measures) of R&D risk assessment

Вид неопределённости	Полная	Мозговой шторм Ранжирование Метод аналогий	Мозговой шторм Ранжирование Метод аналогий Метод Дельфи Паттерн Экспертные системы Критерий Вальда Критерий Гурвица Критерий Сэвиджа	Мозговой шторм Ранжирование Метод аналогий Метод Дельфи Паттерн Экспертные системы Критерий Вальда Критерий Гурвица Критерий Сэвиджа
	Частичная	RiskMetrics CorporateMetrics	RiskMetrics CorporateMetrics Нечеткие множества Метод анализа иерархий Равновесие Нэша Марковский анализ Нейронные сети Сети Байеса	Анализ чувствительности Сценарный анализ Дерево решений Метод Монте-Карло EVA SVA EC RAROC Нейронные сети Сети Байеса
	Определенность	Статистические меры	DCF CE RADR BPA	DCF CE RADR BPA
		Оперативный	Тактический	Стратегический
	Уровень управления			

Однако общим недостатком вышеприведенных мер (метрик) оценки рисков НИОКР является требование детерминированности входных данных, что в условиях неопределенности инновационной среды является трудновыполнимым, так как при прогнозировании научно-технической деятельности компании управленческие решения принимаются под воздействием различных рисков факторов, при которых научно-технические результаты не являются детерминированными (т.е. в них нет полной и точной информации, а степень возможного влияния этих факторов



на результаты НИОКР-проектов неизвестна). В этом случае по мере увеличения уровня неопределенности классические вероятностные описания уступают место, с одной стороны, субъективным вероятностям, а с другой стороны – нечетким логическим описаниям и интеллектуальным системам (например, нейронным сетям). Как правило, использование этих инструментов сталкивается с отсутствием необходимой информационной базы, высокой трудоемкостью расчетов, отсутствием необходимых пакетов прикладных программ (ППП) и др. Каждый из приведенных методов имеет схожую структуру и состоит из трех основных этапов: вычисление рыночной стоимости актива (НИОКР); оценка вероятностного распределения доходности актива (НИОКР) и выбор доверительного интервала и соответствующего ему значения интегрированной оценки риска.

В процессе применения методов (мер) оценки рисков НИОКР важным является учет всех (как благоприятных, так и неблагоприятных) состояний бизнес-среды, точности оценивания социально-экономического окружения менеджерами проекта. Степень применения отдельных мер часто зависит от конкретных ожиданий толерантности менеджеров и их готовности рисковать при принятии инновационных решений. Следует заметить, что предприятия осуществляют непрерывную научно-техническую деятельность, что обуславливает изменение состава их активов и пассивов, показателей их рентабельности, ожиданий инвесторов. Таким образом, предприятие можно представить как набор отдельных составляющих, волатильность каждой из которых имеет свои законы и тенденции. Предприятия в процессе реализации НИОКР-проектов генерирует свободные денежные потоки (Free Cash Flows, FCF). Под воздействием рисков факторов величина этих денежных потоков может изменяться, как в сторону снижения, так и в сторону увеличения. Данные свойства денежного потока, генерируемого проектом, позволяют рассматривать его в качестве достаточного показателя эффективности НИОКР. Хотя структура рисков НИОКР-проектов может варьировать, фундаментальная роль потоков доходов, генерируемых посредством продаж научно-технической продукции в рамках всех каналов товародвижения, и потоков расходов, порождаемых процессом производства данной продукции и их реализацией, остаются актуальными для всех участников бизнес деятельности предприятия.

В полной мере учет особенностей научно-технической деятельности предприятий учитывается в концепции CorporateMetrics [12], которая представляет собой принципиальную схему измерения рисков на основе следующих основных компонентов: метрики идентификации рисков факторов; критериев измерения риска (CfaR и др.); методов (моделей) измерения рисков; набора исторических данных, стресс-сценариев и долгосрочных прогнозов, а также программного обеспечения для расчета рисков и отчетности Corporate Manager. В этом случае CorporateMetrics позволяет прогнозировать денежные потоки НИОКР-проектов с учетом научно-технических (операционных) рисков. При этом используются классические методики оценки рисков (анализ чувствительности, стресс-сценарии, деревья решений, имитационное моделирование и др.). При использовании данной концепции предприятие может осуществить более полный анализ интегрированного риска проекта НИОКР, который учитывает все сценарии финансовых результатов, а также интеграцию всех типов рисков (стратегических, рыночных и др.), влияющих на проекты НИОКР.

В целом отдельный НИОКР-проект можно представить как набор бизнес-процессов, генерирующий денежные потоки в процессе своей деятельности. Под воздействием рисков факторов величина этих денежных потоков может изменяться, как в сторону снижения (угрозы), так и в сторону увеличения (возможности). В этом случае ни одна из классических мер риска не учитывают в полной мере специфику научно-технической деятельности предприятия, т.к. они в основном применяются для предварительного оценивания рисков НИОКР и на их результативность оказывает влияние субъективный человеческий фактор [11, 14].

При реализации данного подхода на предприятии основой принятия управленческих решений по НИОКР-проектам в условиях экономической неопределенности является системный анализ генерируемых денежных потоков. При этом их стоимостной мерой является денежный поток с учетом риска (Cash Flow at Risk, CFaR), который представляет собой интегрированную оценку риска возможного отклонения денежного потока от ожидаемого значения, рассчитанную на выбранном горизонте времени с заданной вероятностью в денежных единицах.

Основной целью расчета величины CFaR как меры оценки риска является количественная оценка влияния внешних и внутренних риск-факторов на денежные потоки проекта НИОКР в условиях неопределенности. В процессе вычислительных процедур CFaR, как правило, решаются следующие задачи: выделение риск-факторов, воздействующих на денежные потоки проекта; определение для каждого риск-фактора вероятностных распределений их возможных значений; разработка финансовой модели, показывающей, каким образом тот или иной фактор воздействует на денежный поток; определение вероятностных распределений возможных изменений денежного потока. Таким образом, показатель CFaR позволяет оценить величину максимально возможных убытков на определенном горизонте планирования с определенным уровнем вероятности. С использованием CFaR менеджмент проекта оценивает отрицательное изменение прогнозируемых денежных потоков от фактических под влиянием различных рисков факторов (инфляции, спроса, стоимости ресурсов, курса валют и др.). Денежные потоки проекта НИОКР формируются с учетом его операционной (научно-технической), инвестиционной и финансовой деятельности. В этом случае показатель CFaR является ключевым показателем эффективности проектов НИОКР, на основании которого определяется его способность генерировать достаточно средств для осуществления научно-технической деятельности и осуществления проектов НИОКР.

Расчет показателя денежного потока под риском (CFaR) проекта на основе прогнозных денежных потоков по нему является одним из наиболее эффективных способов оценки инновационных рисков проекта. Алгоритм расчета предполагает использование инструментария стохастического моделирования денежных потоков в зависимости от воздействия анализируемых факторов риска. Перед применением инструментария имитационного моделирования необходимо построить базовую модель финансовых потоков НИОКР-проекта. В настоящее время существует несколько подходов к определению свободного денежного потока (CF) [3]. С учетом характерных особенностей проектов НИОКР в данной работе предлагается использовать метод прямого учета поступлений и выплат по видам деятельности проекта НИОКР. В этом случае базовая формула расчета CF проекта будет иметь следующий вид:

$$CF = CFO + CFI + CFF, * \quad (1)$$

где CF – моделируемый денежный поток проекта, CFO – денежный поток по технической (операционной) деятельности, CFI – денежный поток по инвестиционной деятельности, CFF – денежный поток по финансовой деятельности.

*Остаток денежных средств на начало периода в модели не учитывается

На основе данных аналитических зависимостей формируется система уравнений, на основе которой строится прогноз финансового состояния проекта НИОКР на прогнозный период. С учетом приведенной финансовой модели разрабатываются стресс-сценарии динамики денежного потока проекта НИОКР для различных рисков факторов (событий).

Денежный поток по научно-технической (операционной) деятельности проекта НИОКР формируется за счет средств, вырученных от продажи научно-технической продукции и услуг, при этом специфической особенностью является наличие лицензионных платежей за продаваемую продукцию, а также роялти по объектам авторских прав, комиссионных и иных аналогичных



платежей. В данном случае можно рассматривать показатель операционной прибыли проекта НИОКР как базовый компонент для создания метрики оценки интегрального инновационного риска. При этом, поскольку деятельность предприятия подвергается различным факторам риска на протяжении различных периодов его функционирования, представляется целесообразным не только ограничиваться рассмотрением финансовых показателей за последние отчетные периоды, но использовать методы стохастического моделирования для получения более широкого спектра реакций показателя операционной прибыли на шоки, определяющие денежные потоки проекта.

На практике предприятия осуществляют вычисление CFaR с использованием метода статистического моделирования (метода Монте-Карло) с использованием надстройки Oracle Crystal Ball, которое является эффективным приложением к Excel для предиктивного моделирования прогнозирования неопределенных переменных денежных потоков проектов НИОКР. В работе [4] рассматриваются вопросы выбора закона распределения для результирующего параметра проекта НИОКР. Такие вопросы в контексте их применения в проектах НИОКР решаются с использованием экспертных методов и не рассматриваются в настоящей статье.

В зависимости от характеристик случайной величины (CF) могут быть выбраны различные законы распределения. На практике при формулировании гипотез о распределении значений переменных проектов НИОКР применяется нормальное распределение (достаточно задать значения математического ожидания и стандартного отклонения). Выбор конечного распределения зависит от каждого конкретного проекта-НИОКР, однако, в значительном числе случаев применение нормальных распределений позволяет достаточно точно аппроксимировать актуальные тенденции научно-технической деятельности предприятия. В этом случае наибольший интерес представляют «левые хвосты» распределения, которые анализируются с помощью квантилей [5]. Из полученного распределения денежных потоков вычисляется статистика, описывающая распределение и характеризующая рискованность результатов, определяется доверительный интервал и временной горизонт.

Результаты и обсуждения

Основываясь на сформулированных в статье положениях, был произведен расчет CFaR для НИОКР-проекта «Разработка электромагнитного насоса ЭМН» для АЭС с использованием *метода Монте-Карло*.

Проект НИОКР «Разработка электромагнитного насоса ЭМН» для АЭС подвержен экологическим и социальным рискам, а также рискам корпоративного управления. Однако компания, реализующая проект выполняет все требования международных и российских стандартов и лучших практик (ГОСТ Р ИСО 14001-2016 «Системы экологического менеджмента. Требования и руководство по применению», утвержденный и введенный в действие приказом Росстандарта от 29 апреля 2016 г. № 285-ст., Климатическая доктрина Российской Федерации, утвержденная распоряжением Президента Российской Федерации от 17 декабря 2009 г. № 861-рп., Федеральная целевая программа «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2016–2020 годы и на период до 2030 года» и другие).

Целью проекта является повышение конкурентоспособности производства путем разработки инновации-продукта с повышенной пожарной безопасностью и сниженным потреблением электроэнергии по конструктивной схеме. Предприятием был инициирован и уже частично реализован НИОКР-проект, результатом которого станет инновационное изделие (насосное оборудование) для АЭС. Данный проект направлен на уменьшение затрат на производство данной продукции, снижение себестоимости продукции, а также снижение трудоемкости и повышение производительности труда. К задачам проекта относятся разработка рабочей конструкторской документации насосного оборудования ЭМН, изготовление опытного образца для проверки конструкторских решений и проведения предварительных и приёмочных испытаний, а также

принятие и оформление решения о комплектации разработанным оборудованием АЭС. Инвестиционные затраты на НИОКР–проект запланированы в размере 16 314 800 тыс. руб. Следует отметить, что весь цикл НИОКР–проекта реализуется в рамках рассматриваемого высокотехнологического предприятия, поскольку оно располагает уникальным комплексом для проведения полномасштабных испытаний данного типа оборудования в условиях по всем параметрам приближенным к реальным (давление, температура, тип теплоносителя и др.).

Для проведения имитационного (статистического) эксперимента был проведен анализ финансового состояния проекта ЭМН, включающий основные переменные, характеризующие научно-техническую деятельность предприятия. Расчеты были выполнены на основе бизнес-плана на 2021 год, а также имеющихся данных за 2015–2020 года (табл. 1). Для прогнозирования и расчета денежного потока в модели используется показатель ставки дисконтирования в размере 11,7%. Расчет ставки дисконтирования определяется внутренним стандартом предприятия с учетом прогнозного уровня рискованности проекта ЭМН. При расчете ставки учитывались такие показатели, как уровень инфляции, региональный компонент, отраслевой компонент, а также показатель уровня риска, принятый на предприятии для данного типа проектов-НИОКР.

Формирование инвестиционного плана для вложений в инновационный проект требует всесторонней оценки рисков. Расчет показателя денежного потока под риском (CFaR) проекта на основе прогнозных финансовых потоков по нему является одним из наиболее эффективных способов оценки инвестиционных рисков проекта. Алгоритм расчета предполагает использование инструментария стохастического моделирования денежных потоков в зависимости от воздействия анализируемых факторов риска. Перед применением инструментария имитационного моделирования необходимо построить базовую модель финансовых потоков проекта [4]. К сожалению, зачастую моделирование денежных потоков осложняется тем, что экспертные оценки будущих поступлений могут существенно отличаться от их фактических значений. Одним из способов минимизации потенциальных экспертных ошибок является применение метода аналогов, который основывается на использовании прогнозных распределениях научно-технических потоков проекта в будущем (год). Как и в случае оценочной деятельности, сравнительный подход

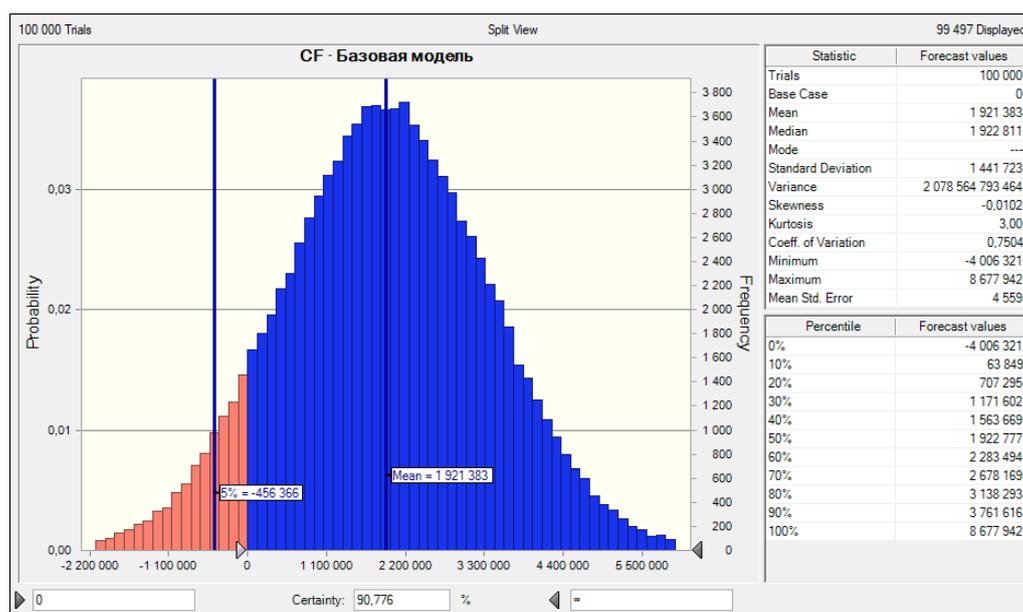


Рис. 1. Вероятностное распределение финансового потока инновационного изделия – аналога за 2015–2020 годы
 Fig. 1. Probabilistic distribution of the financial flow of an innovative analog product for 2015–2020



предполагает внесение корректировок (дисконтов или премий) по отношению к изделию сравнения. И хотя формирование этих корректировок во многом также оказывается основанным на экспертных суждениях, разброс итоговых значений оказывается гораздо ниже, чем при прямой экспертной оценки без изделия-аналога.

Для рассматриваемого инновационного проекта было выбрано изделие-аналог со следующими показателями (табл. 1), для которого была построена стохастическая базовая модель.

Таблица 3. Дисконтированные финансовые потоки по изделию-аналогу, долл. США
Table 3. Discounted financial flows for an analog product, USD

Наименование статьи	2015 г.	2016 г.	2017 г.	2018 г.	2019 г.	2020 г.
CFO	946 113	822 152	925 786	1 132 203	1 259 957	1 407 895
Поступления по операционной деятельности	8 185 113	8 512 464	8 932 175	9 378 783	9 753 935	10 241 632
Платежи по операционной деятельности	7 239 000	7 690 312	8 006 389	8 246 580	8 493 978	8 833 737
CFI	-165 578	-266 309	-182 403	-428 019	-253 117	-82 644
Поступления по инвестиционной деятельности	1 763 533	1 621 000	1 424 000	1 082 000	1 136 100	1 181 544
Платежи по инвестиционной деятельности	1 929 111	1 887 309	1 606 403	1 510 019	1 389 217	1 264 188
CFF	-1 580 896	-526 965	-395 224	-296 418	-222 314	-166 735
Поступление по финансовой деятельности	–	–	–	–	–	–
Платежи по финансовой деятельности	1 580 896	526 965	395 224	296 418	222 314	166 735
CF	-800 361	28 878	348 159	407 766	784 526	1 158 516

Таким образом, совокупный денежный поток от реализации проекта составил 1 927 484 долл. США. Распределение значений денежного потока приведено на рис. 1.

Как видно из приведенной статистики, математическое ожидание денежного потока составило 1 921 383 долл. США при стандартном отклонении 1 441 723 долл. США. Анализ данных финансовых потоков показывает их существенную волатильность в рамках отчетного периода, что говорит о высоких рисках проекта, что и подтверждается распределением ожидаемых значений от реализации проекта.

Метрика CFaR, вычисленная с доверительной вероятностью 95% указывает на возможное отклонение денежного потока от ожидаемого значения:

$$CFaR = 1\,921\,383 - (-456\,366) = 2\,377\,749 \text{ долл. США.}$$

Для построения прогнозной финансовой модели проекта-НИОКР требуется выбрать распределения, на основании которых будет осуществляться стохастическая оценка. В значительном числе случаев применение нормальных распределений позволяет достаточно точно аппроксимировать актуальные тенденции научно-технической деятельности предприятия. Для нормального распределения необходимо рассчитать для каждого из параметров математическое ожидание и стандартное отклонение. Для данного распределения вычисляется прогнозное значение величины интегрированного риска финансового потока проекта и производится сравнение полученного значения с Каталогом рисков инновационного предприятия, где отражается шкала рисков предприятия по научно-технической деятельности на период.

К сожалению, моделирование финансовых потоков осложняется тем, что экспертные оценки будущих поступлений могут существенно отличаться от фактических значений. Одним из способов минимизации потенциальных экспертных ошибок является применение метода аналогов [5]. Данный метод применяется в рискованной ситуации, когда отсутствуют исходные данные для прогноза финансовых потоков проекта НИОКР. Как и в случае оценочной деятельности, сравнительный подход предполагает внесение корректировок (дисконтов или премий) по отношению к новому изделию сравнения. И хотя формирование этих корректировок во многом также основывается на экспертных суждениях, разброс итоговых значений оказывается гораздо ниже, чем при прямой экспертной оценке параметров проекта НИОКР без изделий-аналогов.

В целях корректировки параметров проекта по внедрению изделия-аналога для использования в моделировании анализируемого проекта был выбран метод Дельфи, в рамках которого были проведены несколько раундов согласования экспертных оценок, в результате чего были выбраны приращения финансовых потоков с учетом которых были получены дисконтированные финансовые потоки проекта (табл. 4).

Таблица 4. Дисконтированные финансовые потоки по проекту НИОКР «ЭМН», долл. США
Table 4. Discounted financial flows for the R&D project "EMN", USD

Наименование статьи	Год 1	Год 2	Год 3	Год 4	Год 5	Год 6
CFO	722 173	710 473	1 078 607	1 407 895	1 451 107	1 629 292
Поступления по операционной деятельности	8 853 018	9 207 024	9 747 482	10 241 632	10 549 856	11 183 862
Платежи по операционной деятельности	8 130 845	8 496 550	8 668 875	8 833 737	9 098 749	9 554 570
CFI	-317 806	-299 359	-176 787	-411 381	-227 796	-36 797
Поступления по инвестиционной деятельности	1 889 097	1 702 698	1 510 579	1 159 038	1 216 990	1 277 958
Платежи по инвестиционной деятельности	2 206 903	2 002 057	1 687 366	1 570 420	1 444 786	1 314 755
CFF	-657 653	-191 815	-123 310	-77 069	-46 241	-26 011
Поступление по финансовой деятельности	–	–	–	–	–	–
Платежи по финансовой деятельности	657 653	191 815	123 310	77 069	46 241	26 011
CF	-253 286	219 299	778 511	919 445	1 177 070	1 566 484

В качестве моделируемых шоков по каждому из факторов рисков было выбрано нормальное распределение приращений с параметрами $N(0;0.05)$. После проведения 100 тыс. симуляций финансовой модели с использованием метода Монте-Карло было получены следующие результаты (рис. 2).

Как видно из полученного распределения, математическое ожидание финансового потока существенно превосходит значения изделия-аналога и составляет 4 235 006 долл. США со стандартным отклонением 1 587 660 долл. США. При расчете метрики CFaR аналогично изделию-аналогу получаем:

$$CFaR = 4\,235\,006 - 1\,622\,166 = 2\,612\,840 \text{ долл. США.}$$

Следует заметить, что риск получение убытка по анализируемому проекту меньше, чем по уже реализованному, что можно считать ожидаемым результатом при исключении «ошибок первоходца».

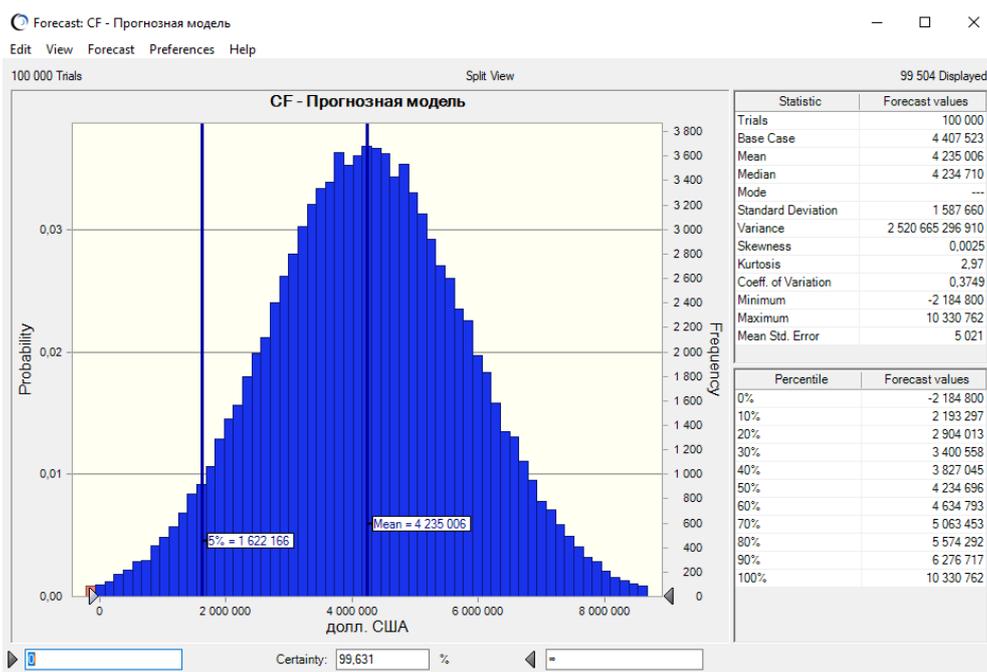


Рис. 2. Вероятностное распределения финансового потока проекта НИОКР «ЭМН»
 Fig. 2. Probabilistic distribution of the financial flow of the R&D project "EMN"

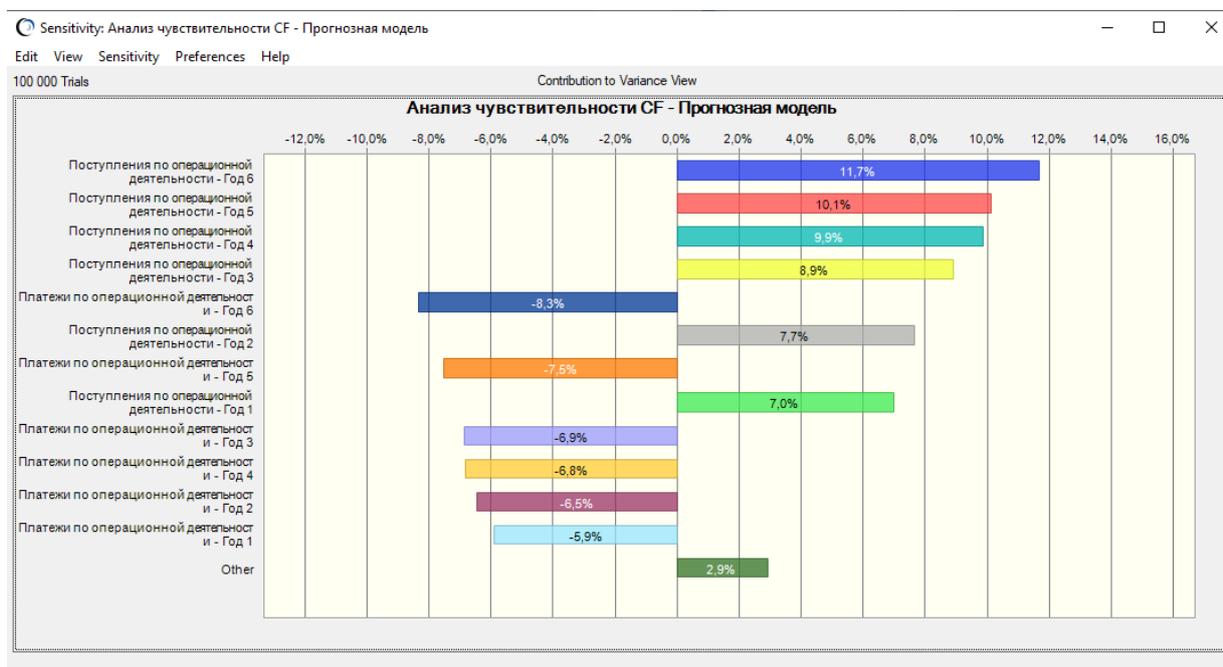


Рис. 3. График чувствительности финансового потока проекта ЭМН к параметрам модели (график «торнадо»)
 Fig. 3. Graph of sensitivity of the financial flow of the EMN project to the parameters of the model (tornado graph)

Для измерения меры CFaR проекта ЭМН необходимо выбрать основной ключевой показатель, характеризующий эффективность проекта НИОКР. Анализ чувствительности текущей стоимости CF к изменениям отдельных входных переменных (параметров) позволяет опреде-

лить, как правило, критические, значимые и незначимые переменные (параметры). Переменные, которые не оказывают заметного влияния на прогнозируемые ключевые показатели (CF) эффективности проекта НИОКР в процесс данного статистического эксперимента не включены. Более глубокий анализ обнаружил, что решающий вклад в волатильность денежных потоков определяется поступлениями по операционной деятельности на более поздних сроках реализации проекта (рис. 3).

Анализируя полученные значения CFaR проекта НИОКР ЭМН в стоимостном выражении и сравнивая полученные значения с Каталогом рисков предприятия, где отражается шкала рисков компании по научно-технической деятельности, можно сделать вывод о том, что интегрированный риск проекта ЭМН характеризуется как значительный (38%), но с вероятностью получения убытка менее 0,5%, что в свою очередь позволяет сделать вывод о экономической целесообразности реализации проекта.

Рассмотренный пример расчета интегрированной меры риска проекта НИОКР ЭМН с использованием концепции CorporateMetrics [10] позволил адекватно оценить как финансовые, так и нерыночные риски НИОКР-проектов предприятия отраслевого комплекса. Рассчитанная интегрированная мера риска (CFaR) дала четкие оценки уровня рискованности финансовых потоков проекта ЭМН.

Заключение

Как показало проведенное исследование, предложенная мера риска НИОКР-проектов (CFaR) позволяет достаточно простым образом объединить в себе ряд параметров, характеризующих финансовую успешность НИОКР-проектов предприятий, причем сделать это вне традиционных моделей детерминированного анализа, эффективность которых в условиях высокой неопределенности оказывается достаточно низкой.

Используемая в статье концепция CorporateMetrics в полной мере учитывает особенности деятельности инновационных компаний (изменение денежных потоков на горизонте планирования) в условиях частичной неопределенности. CorporateMetrics значительно расширяет использование стандартных средств экономического анализа рисков проектов НИОКР (анализ чувствительности, дерево решений и других).

При этом стохастическое моделирование с использованием метода Монте-Карло раскрывает возможности для более детального исследования шокового воздействия макро- и микросреды на научно-техническую деятельность предприятий. Однако предложенная модель может быть улучшена далее посредством включения в нее факторов, не являющихся линейными, но носящих вероятностный характер. В этом случае высокий потенциал обнаруживают нейросетевые алгоритмы, поскольку они способны учитывать большое количество нелинейных связей между объектами.

Направление дальнейших исследований

Проведенные авторами предварительные эксперименты показали, что введение технологий искусственного интеллекта для оценивания рисков проектов НИОКР позволяют предсказать эффекты от совокупного воздействия ряда независимых факторов риска, что имеет большое прикладное значение для разработки мероприятий по элиминированию рисков проектов НИОКР, а также может быть использовано для реверсивного моделирования катастрофических сценариев в рамках отдельных проектов.

Подводя общие итоги проведенного исследования, можно сделать вывод о том, что создание единой метрики рисков НИОКР-проектов на основе компенсирующих механизмов идентификации рисков факторов, проектирование единой системы показателей для измерения различных типов рисков НИОКР, а также внедрение стандартной метрики CorporateMetrics [10] с



учетом интеллектуальных систем окажут существенное прямое воздействие на повышение эффективности научно-технической деятельности отраслевых предприятий, как новой парадигмы риск-менеджмента высокотехнологических цифровых предприятий промышленного комплекса.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. **Гамидов М.Г.** Учет рисков инноваций на различных стадиях их реализации в условиях в условиях промышленного предприятия // Наука и бизнес: пути развития. 2019. № 6 (96). С. 146–148.
2. **Глухов В.В., Сергеев А.И.** Анализ показателей эффективности инвестиционных проектов // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Экономические науки 2008. № 4 (61). С. 176–182.
3. **Дамодаран А.** Стратегический риск-менеджмент: принципы и методики. Пер. с англ. М.: ООО «И.Д. Вильямс», 2010. 496 с.
4. **Кельгон В., Лоу А.** Имитационное моделирование. Классика CS. 3-е изд. СПб: ПИТЕР, 2004. 847 с.
5. **Круи М., Галай Д., Марк Р.** Основы риск-менеджмента. Пер. с англ. М.: Изд-во Юрайт, 2016. 390 с.
6. **Маккарти М. П., Флинн Т.П.** Риск: управление риском на уровне топ-менеджеров и совета директоров. Пер. с англ. М: Альпина Бизнес Букс, 2005. 234 с.
7. **Минасян В.Б.** Модели оценки рисков деятельности компаний, реализующих проекты с НИ-ОКР // Финансы: теория и практика / Finance: Theory and Practice. 2019. 23 (1). 133–146. <https://doi.org/10.26794/2587-5671-2019-23-1-133-146>
8. **Browning, T.R., Deyst, J.J., Eppinger, S.D., Whitney, D.E.** 2002. Adding value in product development by creating information and reducing risk.
9. **Douglas W. Hubbard.** The Failure of Risk Management: Why It's Broken and How to Fix It, 2nd Edition, 336 p., 2020.
10. **Keizer J.A., Halman JIM, Song M.** 2002, From experience: applying the risk diagnosing methodology, Journal of product innovation management, vol. 2002, no. 19, pp. 213–232. [https://doi.org/10.1016/S0737-6782\(02\)00138-8](https://doi.org/10.1016/S0737-6782(02)00138-8)
11. **Qazi A., Quigley J., Dickson A., Kirytopoulos K.** Project Complexity and Risk Management (Pro-CRiM): Towards modelling project complexity driven risk paths in construction projects. International journal of project management, no. 2016, no. 34 (7), pp. 1183–1198.
12. Risk Metrics. Corporate Metrics TM. Technical Document. – New York: Risk Metrics Group, 1999.
13. **Salomo Sören, Weise Joachim, Gemuenden Hans.** (2007). NPD Planning Activities and Innovation Performance: The Mediating Role of Process Management and the Moderating Effect of Product Innovativeness. Journal of Product Innovation Management, 2007, no 24, pp. 285–302. DOI: 10.1111/j.1540-5885.2007.00252.x
14. **Senthil J., Muthukannan M.** Predication of construction risk management in modified historical simulation statistical methods. Ecological Informatics, 2021, no. 66, p. 101439.
15. **Smith P.G.** Managing risk as product development schedules shrink. Research Technology Management, 1999, no. 42 (5), pp. 25–32.
16. **Szymański P.** Risk management in construction projects. Procedia engineering, 2017, vol. 208, pp. 174–182.
17. **Thakor Richard T., Lo Andrew W.** Optimal Financing for R&D-Intensive Firms (September 8, 2017). MIT Sloan Research Paper No. 5240-17, Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=3034428> or <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3034428>

REFERENCES

1. **M.G. Gamidov,** Uchet riskov innovatsiy na razlichnykh stadiyakh ikh realizatsii v usloviyakh v usloviyakh promyshlennogo predpriyatiya. Nauka i biznes: puti razvitiya, 2019, no. 6 (96), pp. 146–148.
2. **V.V. Glukhov, A.I. Sergeyev,** Analiz pokazateley effektivnosti investitsionnykh proyektov. St. Petersburg State Polytechnical University Journal. Economics, no. 4 (61), 2008, pp. 176–182.

3. **A. Damodaran**, Strategicheskiy risk-menedzhment: printsipy i metodiki. Per. s angl. M.: OOO «I.D.Vilyams», 2010, p. 496.
4. **V. Kelton, A. Lou**, Imitatsionnoye modelirovaniye. Klassika CS. 3-ye izd. SPb: PITER, 2004, p. 847.
5. **M. Krui, D. Galay, R. Mark**, Osnovy risk-menedzhmenta. Per. s angl. M.: Izd-vo Yurayt, 2016, p. 390.
6. **M.P. Makkarti, T.P. Flinn**, Risk: upravleniye riskom na urovne top-menedzherov i soveta direktorov. Per. s angl. M: Alpina Biznes Buks, 2005, p. 234.
7. **V.B. Minasyan**, Risk Assessment Models of the Companies Implementing R&D Projects. Finance: Theory and Practice. 2019; 23 (1):133–146. (rus). <https://doi.org/10.26794/2587-5671-2019-23-1-133-146>
8. **T.R. Browning, J.J. Deyst, S.D. Eppinger, D.E. Whitney**, Adding value in product development by creating information and reducing risk, 2002.
9. **Douglas W. Hubbard**, The Failure of Risk Management: Why It's Broken and How to Fix It, 2nd Edition, 336 p., 2020.
10. **J.A. Keizer, JIM Halman, M. Song**, 2002, 'From experience: applying the risk diagnosing methodology', Journal of product innovation management, vol. 2002, no. 19, pp. 213–232. [https://doi.org/10.1016/S0737-6782\(02\)00138-8](https://doi.org/10.1016/S0737-6782(02)00138-8)
11. **A. Qazi, J. Quigley, A. Dickson, K. Kirytopoulos**, Project Complexity and Risk Management (Pro-CRiM): Towards modelling project complexity driven risk paths in construction projects. International journal of project management, no 2016, no. 34 (7), pp. 1183–1198.
12. Risk Metrics. Corporate Metrics™. Technical Document. – New York: Risk Metrics Group, 1999.
13. **Sören Salomo, Joachim Weise, Hans Gemuenden**, (2007). NPD Planning Activities and Innovation Performance: The Mediating Role of Process Management and the Moderating Effect of Product Innovativeness. Journal of Product Innovation Management, 2007, no. 24, pp. 285–302. DOI: 10.1111/j.1540-5885.2007.00252.x
14. **J. Senthil, M. Muthukannan**, Predication of construction risk management in modified historical simulation statistical methods. Ecological Informatics, 2021, vol. 66, p. 101439.
15. **P.G. Smith**, Managing risk as product development schedules shrink. Research Technology Management, 1999, vol. 42 (5), pp. 25–32.
16. **P. Szymański**, Risk management in construction projects. Procedia engineering, 2017, vol. 208, pp. 174–182.
17. **Richard T. Thakor, Andrew W. Lo**, Optimal Financing for R&D-Intensive Firms (September 8, 2017). MIT Sloan Research Paper No. 5240-17, Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=3034428> or <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3034428>

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT AUTHORS

КОПТЕЛОВА Александра Витальевна

E-mail: koptelova.av@gmail.com

Aleksandra V. KOPELOVA

E-mail: koptelova.av@gmail.com

СОБОЛЕВ Антон Игоревич

E-mail: anton.i.sobolev@gmail.com

Anton I. SOBOLEV

E-mail: anton.i.sobolev@gmail.com

ШВЕЦ Сергей Константинович

E-mail: finrisk@bk.ru

Sergey K. SHVETS

E-mail: finrisk@bk.ru

Поступила: 02.04.2022; Одобрена: 27.05.2022; Принята: 01.06.2022.

Submitted: 02.04.2022; Approved: 27.05.2022; Accepted: 01.06.2022.