

На правах рукописи

Шабалова Анна Евгеньевна



**ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА
ПРОИЗВОДСТВЕННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ
РИСКОВ ГОРНОРУДНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ**

*Специальность 5.2.3 Региональная и отраслевая экономика
(экономика промышленности)*

**Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата экономических наук**

Санкт-Петербург – 2025

Диссертация выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II».

Научный руководитель:

кандидат экономических наук, доцент

Невская Марина Анатольевна

Официальные оппоненты:

Жаров Владимир Сергеевич

доктор экономических наук, профессор, Институт экономических проблем им. Г.П. Лузина – обособленное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Кольский научный центр Российской академии наук», отдел экономики устойчивого природопользования и инноваций в Арктике, главный научный сотрудник;

Трейман Марина Геннадьевна

доктор экономических наук, доцент, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный экономический университет», кафедра менеджмента и инноваций, профессор.

Ведущая организация – федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уральский государственный горный университет», г. Екатеринбург.

Защита диссертации состоится **07 июля 2025 г. в 11:00** на заседании диссертационного совета ГУ.1 Санкт-Петербургского горного университета императрицы Екатерины II по адресу: 199106, г. Санкт-Петербург, 21-я В.О. линия, д.2, **аудитория № 1171а**.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Санкт-Петербургского горного университета императрицы Екатерины II и на сайте www.spmi.ru.

Автореферат разослан 30 апреля 2025 г.

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ
диссертационного совета



ВАСИЛЬЕВ
Юрий Николаевич

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования

Добыча минеральных ресурсов является основой развития отечественной экономики, обеспечивает ресурсами другие отрасли и участвует в создании налогооблагаемой базы для роста государственных доходов: вклад горнорудной промышленности во внутренний валовой продукт Российской Федерации оценивается в 12,4 %, при этом особое место в отрасли занимает добыча калийных солей, относящихся к стратегическим видам минеральных ресурсов.

Российская Федерация обладает уникальной сырьевой базой калийных солей и является одним из крупнейших экспортеров калийных удобрений, спрос на которые характеризуется устойчивым ростом на фоне ограниченного числа стран-производителей. Обстоятельства непреодолимой силы могут, однако, привести к нестабильности рыночной конъюнктуры, что определяет целесообразность поиска внутренних резервов для повышения эффективности деятельности российских предприятий по добыче калийных солей, в том числе, за счет совершенствования процесса добычи. В то же время особенности этого процесса: применение преимущественно шахтного способа добычи с камерной системой разработки и соответствующей унифицированной техникой, одновременное использование циклического и поточного транспорта – создают риски нарушения непрерывности, цикличности и ритмичности производственного процесса, приводящие к негативным экономическим последствиям для предприятия.

Развитие цифровых технологий приводит к формированию среды для активного внедрения методов имитационного моделирования на предприятиях калийной промышленности. Однако применение исключительно статических методов не позволяет оценивать факторы риска комплексно, с помощью детализированных технических расчетов, и учитывать их влияние на показатели экономической эффективности производства. Таким образом, повышается актуальность разработки метода экономической оценки рисков горнорудного предприятия, основанного на инструментарии динамического моделирования.

Степень разработанности темы исследования

Исследование путей повышения экономической эффективности горнорудных предприятий отражены в работах Невской М.А., Пономаренко Т.В., Череповицына А.Е. Анализ особенностей добычи калийных солей, влияющих на эффективность деятельности горнорудного предприятия, представлен в работах Баряха А.А., Земскова А.Н., Зубова В.П., Кологривко А.А., Рыльниковой М.В., Токсарова В.Н., Шишлянникова Д.И. Теоретические и методологические основы оценки рисков горнорудных предприятий представлены в работах Галкиной Н.В., Дзгоевой М.Р., Соловьевой Н.В., Тереховой Е.А. и др.

Вопросы повышения эффективности хозяйственной деятельности за счет внедрения цифровых технологий рассмотрены в работах Жуковского Ю.Л., Мочаловой Л.А., Николайчук Л.А., Подкорытова В.Н., Трейман М.Г., Ansari F., Baryannis G., Rodic B., Rojek A. и др. Теоретические и практические результаты применения имитационного моделирования для повышения точности экономического прогнозирования результатов деятельности горнорудных предприятий проанализированы в трудах Жарова В.С., Лотова А.В., Ракаевой Т.Г., Cordova E., Pourander M., Snopkowski R.

Несмотря на существенное количество научных работ по теории рисков и их обработке, вопрос экономической оценки специфических производственно-технологических рисков в производственной деятельности горнорудных предприятий остается недостаточно разработанным.

Предмет исследования – факторы риска, методы и модели экономической оценки производственно-технологических рисков горнорудного предприятия.

Объект исследования – горнорудное предприятие по добыче калийных руд и его производственный процесс.

Цель работы - совершенствование методики экономической оценки производственно-технологических рисков предприятия по добыче калийных руд.

Идея работы состоит в комплексном подходе к определению вероятностного ущерба от проявления специфических рисков, вызывающих нарушение непрерывности, цикличности и ритмичности

производственного процесса, с использованием методов имитационного моделирования.

Поставленная в работе цель достигается посредством решения следующих **задач**:

1. Выявить условия и факторы, формирующие специфические производственно-технологические риски предприятий по добыче калийных руд.

2. Разработать методический подход к экономической оценке производственно-технологических рисков горнорудного предприятия с применением инструментария динамического моделирования.

3. Обосновать способ отбора факторов риска по типам производственных задач для экономической оценки ущерба от их проявления.

4. Разработать методику оптимизации параметров ведения горных работ для снижения производственно-технологических рисков горнорудного предприятия и выполнить ее апробацию.

5. Предложить экономические меры по снижению производственно-технологических рисков горнорудного предприятия.

Научная новизна работы заключается в следующем:

1. Установлена зависимость возникновения в процессе добычи на калийных рудниках специфических производственно-технологических рисков от несогласованности организационно-технических параметров ведения горных работ.

2. Предложен принцип группировки факторов производственно-технологических рисков горнорудного предприятия по типам производственных задач и основным признакам, позволяющим определять и выбирать параметры, характеризующие эти факторы для построения динамической модели.

3. Предложен комплексный подход к экономической оценке производственно-технологических рисков горнорудного предприятия, основанный на определении и оптимизации ключевого параметра риска.

4. Разработан алгоритм экономической оценки ущерба от проявления производственно-технологических рисков предприятия по добыче калийных руд с применением методов имитационного моделирования.

Соответствие паспорту специальности

Полученные научные результаты соответствуют паспорту специальности 5.2.3. «Региональная и отраслевая экономика» и соответствует пункту 2 «Экономика промышленности», 2.2. Вопросы оценки и повышения эффективности хозяйственной деятельности на предприятиях и в отраслях промышленности.

Теоретическая значимость работы состоит в обосновании принципов, подходов и методов к идентификации и комплексной экономической оценке динамических производственно-технологических рисков с применением инструментария имитационного моделирования, а также в уточнении понятия «производственно-технологический риск».

Практическая значимость работы заключается в экономической оценке ущерба от проявления производственно-технологических рисков, с применением методов имитационного моделирования, позволяющего оптимизировать параметры производственного процесса при добыче калийных руд с применением методов имитационного моделирования. Результаты диссертационной работы использованы в производственной деятельности АО «Гипроцветмет» для повышения надежности принимаемых технических решений (акт внедрения от 14.01.2025).

Методология и методы исследования. Методологической основой диссертационного исследования послужили фундаментальные и прикладные исследования российских и зарубежных авторов в области оценки и управления рисками, анализа экономической эффективности горнорудных предприятий, цифровой трансформации экономики. В диссертации применялись методы и инструменты логического и структурного анализа, статистические методы обработки данных, методы математического, в том числе имитационного моделирования.

Положения, выносимые на защиту:

1. Обеспечение непрерывности, ритмичности и цикличности производственных процессов горнорудного предприятия обуславливает необходимость идентификации, анализа и оценки производственно-технологических рисков, под которыми понимаются события, вызванные несогласованностью в основных и вспомогательных

операциях, повлекшие за собой отклонение от плановых результатов деятельности.

2. Для учета динамической природы производственно-технологических рисков горнорудного предприятия необходимо определять организационно-технические параметры производственного процесса, характеризующие факторы риска, путем группировки их по типам производственных задач и выделенным признакам, таким как количество, свойства, расписание, размещение.

3. Экономическая оценка производственно-технологических рисков предприятий по добыче калийных руд с применением разработанного алгоритма позволяет определять значения вероятностного ущерба с помощью инструментария имитационного моделирования и разрабатывать меры по его снижению.

Степень достоверности и апробация результатов работы определяется соответствием методологии исследования основным положениям теории рисков; обработкой и анализом достаточного объема фактических данных по исследуемой проблеме, опубликованных в научной литературе и отчетах горнорудных компаний.

Апробация диссертационного исследования. За последние 3 года принято участие в 4 научно-практических мероприятиях с докладами, в том числе на 2 международных:

VIII Международная научно-практическая конференция «Интеллектуальная инженерная экономика и индустрия 5.0» (Intelligent engineering economics and industry 5.0 IEEE_5.0 (INPROM) (27-30 апреля 2023 года, г. Санкт-Петербург).

Международный форум-конкурс студентов и молодых ученых «Актуальные проблемы недропользования» (22-25 мая 2023 года, г. Санкт-Петербург).

Научная конференция студентов и молодых ученых Горного университета «Полезные ископаемые России и их освоение» (18-20 мая 2023 года, г. Санкт-Петербург).

Отраслевая конференция «ЦПТ-СПБ 2024» (20-21 июня 2024 года, г. Санкт-Петербург).

Личный вклад автора заключается в постановке цели и задач диссертационного исследования; обобщении отечественного и зарубежного опыта в области оценки рисков; обосновании применения

имитационного моделирования; разработке метода исследования; построении и апробации экономико-математической модели оценки последствий рисков предприятия; обосновании затрат на снижение вероятности рисков; обработке полученных результатов.

Публикации

Результаты диссертационного исследования в достаточной степени освещены в 6 печатных работах, в том числе 2 статьях – в изданиях из перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук (далее – Перечень ВАК), в 2 статьях – в изданиях, входящих в международную базу данных и систему цитирования Scopus.

Структура работы. Диссертация состоит из оглавления, введения, 3 глав с выводами по каждой из них, заключения, списка литературы, включающего 129 наименований, и 3 приложений. Диссертация изложена на 135 страницах машинописного текста, содержит 29 рисунков и 20 таблиц.

Благодарности. Автор выражает благодарность научному руководителю – к.э.н., доценту Невской М.А., д.э.н., профессору Пономаренко Т.В., д.э.н, профессору Череповицыну А.Е., а также всему коллективу Центра цифровых технологий и кафедры организации и управления за помощь в подготовке диссертации.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы работы, сформулированы цель, задачи работы и научная новизна, раскрыты теоретическая и практическая значимость исследования и изложены основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе выполнен анализ современного технического состояния и экономических проблем горнорудной отрасли (на примере калийного производства), выявлены характерные особенности формирования и проявления рисков предприятий по добыче калийных руд; дана характеристика развитию современного инструментария оценки рисков.

Во второй главе на основе анализа методов экономической оценки рисков, а также инструментария их динамического моделирования дано авторское определение производственно-технологического риска; обоснован методический подход к экономической оценке производственно-технологического риска горнорудного предприятия: построен алгоритм оценки, обоснованы признаки группировки производственно-технологических рисков по форме проявления в производственном процессе, разработана методика количественной оценки производственно-технологических рисков.

В третьей главе рассмотрены технико-экономические условия внедрения разработанных рекомендаций по экономической оценке производственно-технологического риска; построена экономико-математическая модель экономической оценки производственно-технологического риска и выполнена экономическая оценка ущерба от его проявления на горнорудном предприятии. Выполнена апробация предложенной методики на примере оценки риска остановки конвейерной системы в процессе добычи калийной руды. Проведен расчет экономической эффективности мероприятий, обеспечивающих снижение вероятности этого риска.

В заключении представлены основные выводы и результаты работы.

Основные результаты отражены в следующих защищаемых положениях:

1. Обеспечение непрерывности, ритмичности и цикличности производственных процессов горнорудного предприятия обуславливает необходимость идентификации, анализа и оценки производственно-технологических рисков, под которыми понимаются события, вызванные несогласованностью в основных и вспомогательных операциях, повлекшие за собой отклонение от плановых результатов деятельности.

Особенности добычи калийных руд определяются комплексом горно-геологических, горнотехнических, природно-климатических условий: большая глубина разработки; пластовое залегание месторождений; низкая крепость и высокая водорастворимость вмещающих пород; необходимость поддержания целостности водозащитной толщи, которые обуславливают применение камерно-столбовой

системы разработки и комбинированного (циклического и поточного) транспорта.

Одним из недостатков данной системы разработки является необходимость жесткой увязки всех элементов технологической цепочки в единую систему, сбои в которой приводят к технологическим простоям, нарушениям непрерывности и ритмичности процесса добычи.

Возможность негативных проявлений различных факторов определяет необходимость применения методов оценки и учета рисков – событий, которые могут наступить с определенной вероятностью и в случае наступления приведут к отклонению от запланированных производственно-экономических показателей.

Для обозначения групп рисков, источниками которых являются элементы производственного процесса, применяются категории «производственные риски» и «технологические риски». Производственные риски предприятия по добыче калийных руд, в первую очередь, связаны с горно-геологическими, горнотехническими и гидрологическими условиями, определяющими выбор способа и системы разработки участка недр. Технологические риски носят системный характер, причины их возникновения связаны с несовершенствами организации производства, они могут происходить с определенной интенсивностью, пока не будет устранен источник, то есть пока не будут внесены изменения в технологию.

Причины нарушения нормального функционирования производственного процесса горнорудного предприятия обусловлены как горно-геологическими условиями, так и зависящими от них применяемыми технологиями и оборудованием. Поэтому в целях данного исследования для обозначения группы рисков, обусловленных комплексом горно-геологических, горнотехнических, гидрологических и технологических факторов, предлагается применять термин «производственно-технологический риск», под которым понимается вероятностное событие, вызванное несогласованностью основных и вспомогательных операций, повлекшее за собой отклонение от плановых показателей производственной деятельности горнорудного предприятия.

Проявление производственно-технологического риска выражается в длительных или кратковременных задержках при ведении горных работ, следствием которых являются нарушения непрерывности, ритмичности или цикличности производственного процесса.

Для упрощения процесса идентификации и определения последствий риска выделены следующие виды производственно-технологических рисков:

1. Остановка движения по причине скопления руды и транспорта – риски затора, которые приводят к нарушению ритмичности производства.

2. Простой машин и оборудования – риски, которые приводят к нарушению непрерывности производства.

3. Увеличение продолжительности производственного цикла – риски, которые приводят к нарушению цикличности производственного процесса.

После идентификации риска определяются последствия наступления рискового события, необходимые для расчета вероятности и величины ущерба – стоимостного выражения риска.

Для выделенных видов рисков определены следующие проявления их последствий (таблица 1).

Таблица 1 – Последствия и ущерб от наступления производственно-технологических рисков

Последствия	Ущерб
Отставание от календарного плана	Рост удельных затрат за счет увеличения доли условно-постоянных расходов на добычу Увеличение себестоимости добытой руды
Не используемая техника и оборудование	Стоимость избыточной техники, затраты на ее обслуживание
Последствия	Ущерб
Нарушения в работе оборудования (неисправности, поломки)	Увеличение затрат на ремонт и техническое обслуживание

Продолжение таблицы 1

Последствия	Ущерб
Причинение вреда жизни и здоровью работников	Расходы на оплату компенсаций физического и морального вреда работникам; судебные расходы,
Причинение вреда окружающей среде	Затраты на устранение и ликвидацию последствий загрязнения окружающей среде, оплата штрафов и компенсаций

При краткосрочном планировании, когда стоит цель предотвращения отклонения от целевых операционных показателей, целесообразно описать факторы риска набором организационно-технических параметров производственного процесса (рисунок 1).



Рисунок 1 - Взаимосвязь элементов и последствий производственно-технологического риска

Количественно риск оценивается при помощи трех показателей:

1. Вероятность наступления рискованного события (P);
2. Ущерб от наступления рискованного события (D);
3. Затраты на обработку риска (C).

Взаимосвязь показателей представлена в виде целевой функции с ограничением (1):

$$\begin{cases} R(x_1, \dots, x_j) \rightarrow \min \\ C < pr_{base} \times D \end{cases}, \quad (1)$$

где $R(x_1, \dots, x_j)$ – математическая модель, описывающая условия формирования риска;

pr_{base} – вероятность наступления рискованного события до реализации мероприятий по его обработке.

2. Для учета динамической природы производственно-технологических рисков горнорудного предприятия необходимо

определять организационно-технические параметры производственного процесса, характеризующие факторы риска, путем группировки их по типам производственных задач и выделенным признакам, таким как количество, свойства, расписание, размещение.

Исследование подходов к пониманию риска как экономической категории позволило выявить его динамическую природу: вероятность его возникновения в разное время различается. Например, при добыче калийных руд скорость движения самоходного вагона, продолжительность погрузочно-разгрузочных работ могут колебаться: время загрузки конвейера рудой меняется от забоя к забою и от цикла к циклу. Сочетание различных факторов приводит к возникновению рискованного события с некоторой вероятностью, которая в каждую смену может быть различна. Поэтому для оценки риска необходимо применять методы, воспринимающие производственные процессы как динамическую систему.

Применение динамического метода для оценки риска заключается в построении экономико-математической модели для получения значений временного ряда, характеризующего вероятность наступления рискованного события и расчета величины экономического ущерба. Формирование перечня параметров для построения экономико-математической модели производится на основе выявления факторов риска по предложенной методике, включающей:

1. Отнесение фактора риска к группе производственных задач.
 2. Формализация факторов по четырем признакам для обоснования соответствующего параметра.
 3. Выявление ключевого параметра риска.
 4. Оптимизация ключевого параметра риска.
- В работе сформулировано 9 типов производственных задач:
1. Организация выемочно-очистных работ.
 2. Организация подготовительных и капитальных работ.
 3. Организация систем инженерно-технического обеспечения.
 4. Управление производственной и экологической безопасностью.
 5. Управление отвалообразованием и поддержанием выработанного пространства.

6. Управление объектами капитального строительства.
7. Управление трудовыми ресурсами.
8. Планирование технического обслуживания и ремонтов.
9. Управление материально-техническим снабжением.

Формализация факторов риска осуществляется с помощью таблицы, состоящей из перечисления производственных задач и выделенных признаков. Распределение параметров по признакам позволяет представить фактор риска в виде набора количественных показателей и построить на их основе экономико-математическую модель. В работе сформулированы четыре признака:

1. Количество – параметры, отражающие количество применяемых в процессе единиц горной техники, оборудования, численность персонала и другие.

2. Свойства – параметры, отражающие характеристики машин, оборудования, техники и установок, такие как производительность, скорость движения, грузоподъемность и другие.

3. Расписание – временные параметры, отражающие продолжительность выполнения операций, периодичность совершения действия, временной интервал между выполнением каких-либо операций или наступления событий и другие.

4. Размещение – параметры, которые отражают особенности геометрии рудника, расположение горных выработок, размещение парка техники, расположение объектов капитального строительства, а также следующие за ними особенности логистики внутри предприятия.

Расчет вероятности производится на основе полученного по итогам моделирования временного ряда как отношение количества исходов, отвечающих условиям наступления риска, к общему количеству исходов. После получения количественного значения вероятностного ущерба осуществляется определение ключевого параметра (X^*), оптимизация которого приведет к снижению вероятности риска. Поиск ключевого параметра риска осуществляется путем варьирования значений параметров риска в технически достижимом диапазоне с последующей оценкой их изменения во временном ряду, который используется для расчета вероятности. Таким образом, происходит

поиск высокой корреляции между значением параметра и вероятностью риска. Оптимальным считается такое значение X^* , которое обеспечивает минимальную вероятность риска. Затем производится проверка удовлетворения ограничения решению целевой функции (1). Затраты на снижение вероятности риска определяются стоимостью приведения ключевого параметра (X^*) к оптимальному значению. В случае, если решение (1) не достижимо, а затраты превышают вероятностный ущерб, рассматривается возможность выбора в пользу меньшего снижения вероятности с меньшими затратами. Если не существует такого варианта уменьшения вероятности, которое бы обеспечивало затраты меньше, чем ущерб, то следует рассмотреть возможность выбора иного ключевого параметра.

3. Экономическая оценка производственно-технологических рисков предприятий по добыче калийных руд с применением разработанного алгоритма позволяет определять значения вероятностного ущерба с помощью инструментария имитационного моделирования и разрабатывать меры по его снижению.

Комплексность производственно-технологических рисков, взаимное влияние технических и технологических параметров и их вероятностный характер, невозможность проведения натурного эксперимента обуславливают целесообразность применения инструментария имитационного моделирования для экономической оценки рисков.

Применение инструментария имитационного моделирования осуществляется в 2 этапа (рисунок 2):

1. Построение экономико-математической модели и расчет с помощью имитации вероятности риска и ущерба от его наступления.
2. Оптимизация экономико-математической модели для определения такого значения ключевого параметра, которое приводит к снижению вероятности риска.

После завершения имитации, получения значений риска и оптимизации ключевого параметра проводится оценка соотношения затрат на достижение его оптимального значения и вероятностного ущерба.

В работе рассмотрен проект оптимизации конвейерной сети предприятия по добыче калийной соли с применением камерной системы отработки. Согласно предложенной группировке, в руднике возможен риск образования затора с последующей остановкой конвейерной сети. В результате анализа выделены факторы, от которых зависит продолжительность транспортировки руды, и получен набор параметров для математической модели (таблица 2).

Итог формализации факторов риска показывает, что для расчета вероятности следует представить производственный процесс в виде набора операций (рисунок 3): расчет плеча откатки, расчет продолжительности цикла добычи, расчет времени выгрузки на конвейер, расчет времени транспортировки до «узкого места», получение временного ряда, расчет вероятности остановки. Условные обозначения и содержание функций для расчета вероятности представлены в таблице 3. После масштабирования полученной модели на 8 забоев и составления математической записи формирования временного ряда, отражающего количество грузопотоков в «узком месте» в единицу времени, построена функциональная модель для расчета вероятности риска (рисунки 3,4).

В результате расчета получено j -е количество диапазонов, каждый из которых показывает, в какой период времени (в течение рабочей смены) грузопоток будет преодолевать место объединения конвейеров. В данной математической модели сделано допущение, что пересечение большого количества грузопотоков не приводит к остановке конвейера, то есть не учитывается время, которое будет потрачено на устранение аварии. Это необходимо для того, чтобы оценить, насколько вероятно такое событие, что грузопотоки будут пересекаться. Продолжительность остановок учитывается при расчете потенциального ущерба при наступлении рискованной ситуации.

Основная трудность расчета вероятности для рассматриваемого примера заключается в том, что производительность перегружателя является регулируемой. То есть ее значение определяется и изменяется специалистами ситуационно, на месте. В процессе исследования проведен имитационный эксперимент с описанной выше математической моделью. Продолжительность моделирования – 12 часов

непрерывной работы, то есть 2 рабочие смены. Значение производительности перегружателя выбиралось по нормальному распределению, где в качестве математического ожидания выступает среднее арифметическое между максимальной и минимальной производительностью, а стандартное отклонение рассчитывается через правило трех сигм. Результаты экспериментов на рисунке 5.

Для расчета ущерба (Δa) от наступления рискованного случая рассчитывается процент снижения объемов перевозки руды (a_b) при наличии остановок относительно моделирования при «идеальных условиях» (a) (2):

$$\Delta a = 1 - \frac{a_b}{a} \quad (2)$$

Стоимостная оценка риска определена по формуле (3):

$$risk = price * \Delta a * pr_{base} \quad (3)$$

где: pr_{base} - вероятность, $price$ - стоимость добытой руды.

На рисунке 6 представлен график распределения вероятностного ущерба, выраженного в виде снижения объемов транспортировки добытой руды. Потенциальный ущерб от образования заторов на конвейере составит до 11,23 % падения объемов транспортировки руды, которая не будет выдана на поверхность в установленные графиком сроки. При этом, чем дольше удерживается высокая скорость выгрузки руды на конвейер в течение рабочей смены, тем меньше риск. Вероятностный ущерб от наступления рискованной ситуации описан законом распределения (4):

$$risk(x_5) = 0.42e^{-0.215x_5} \quad (4)$$

Стоимостная оценка риска приведена в таблице 4.

Таблица 4 – Расчет величины риска остановки конвейера

Показатель	Ед. из.	Значение
Стоимость добытой калийной руды	руб/т	150
Количество рабочих смен в сутки	ед	3
Количество рабочих дней в году	ед	312
Количество рабочих смен в году	ед	936
Потери объемов транспортировки (за 2 смены)	т	537
Годовые потери по причине простоя конвейерной сети	тыс. руб	113 058

Наличие корреляции, описываемой функцией (4), свидетельствует о целесообразности замены перегружателя на более производительный или внедрения автоматизированной системы управления, регулируемую скорость подачи руды на конвейер в режиме реального времени. Наличие экспоненциальной зависимости при изменении максимальной производительности перегружателя показало, что ключевым для данного эксперимента является параметр x_5 – производительность бункера-перегружателя.

Оптимизация ключевого параметра достигается путем внедрения автоматизированной системы управления производительностью бункера-перегружателя, которая позволяет регулировать значение производительности для каждого конкретного грузопотока. Для работы системы разработан алгоритм динамического регулирования скорости выгрузки руды на конвейер. Он включает несколько этапов. В момент выгрузки грузопотока на конвейер рассчитывается время прохождения им узла, которое фиксируется в наборе данных. В период нахождения руды в перегружателе расчетное время для этого грузопотока сравнивается со значениями в наборе данных. В случае обнаружения еще четырех (и более) грузопотоков, чье расчетное время лежит в одном диапазоне с анализируемым, алгоритм определяет подходящее значение скорости выгрузки, при котором вероятность столкновения минимальна. Внедрение алгоритма динамического регулирования позволило полностью устранить данный риск. Затратами на снижение вероятности риска являются: разработка имитационной модели, воспроизводящей процесс транспортировки, разработка алгоритма динамического управления, установка оборудования для автоматизации процесса и его обслуживание.

На основании полученных результатов расчета вероятности и ущерба выполнен расчет экономической эффективности внедрения автоматизированной системы управления производительностью бункера-перегружателя. Было достигнуто увеличение объемов транспортировки руды за счет снижения простоя конвейерной сети на 3,85 % в течение рабочей смены. Затраты на внедрение системы меньше эффекта, а NPV проекта составляет 197 млн. рублей (таблицы 5,6). Таким образом, предложенная методика экономической оценки риска

может быть использована для повышения эффективности хозяйственной деятельности горнорудного предприятия.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертации предлагается решение актуальной научной задачи по повышению экономической эффективности производственной деятельности горнорудного предприятия посредством идентификации, экономической оценки и разработки мероприятий по снижению производственно-технологического риска. По результатам выполнения диссертационной работы сделаны следующие выводы и рекомендации:

1. Выявлено, что при высокой обеспеченности запасами калийной руды в Российской Федерации, степень освоенности сырьевой базы очень низкая, что связано с отсутствием спроса на большие объемы калийных удобрений на внутреннем и внешнем рынках, сложностью условий добычи и значительных объемах инвестиций в инфраструктуру регионов с высококачественными запасами калийных руд. Поэтому перспективное направление повышения эффективности хозяйственной деятельности калийных предприятий связано с совершенствования производственного процесса добычи.

2. Выявлена специфика технологий добычи калийных солей предприятиями отрасли, состоящая в широком применении камерной системы разработки, а также одновременном применении циклического и поточного видов транспорта, в процессе эксплуатации которого возникают его скопления и простои оборудования из-за влияния организационно-технических факторов, слабо поддающихся оптимизации, в силу невозможности их выявления с помощью традиционных методов.

3. Установлено, что с развитием цифровых технологий появилась возможность комплексно рассматривать основные и вспомогательные операции процесса добычи, учитывать динамическую природу риска и оперировать большим числом входных данных, характеризующих условия разработки участка недр и организационно-технологические факторы, влияющие на результаты производственной деятельности предприятия.

4. Предложен, в целях данного исследования, термин «производственно-технологический риск», под которым понимается вероятностное событие, вызванное несогласованностью в основных и вспомогательных операциях, повлекшее за собой отклонение от плановых технико-экономических показателей производственной деятельности предприятия.

5. Доказано, что основная задача оценки производственно-технологических рисков, заключается в проверке достижения ритмичности, цикличности, непрерывности процесса производства. Отсюда, источником риска выступает несогласованность в основных и вспомогательных операциях по количественным параметрам, характеристикам техники, продолжительности операций, расположение объектов в пространстве рудника.

6. Обосновано применение динамического метода для оценки риска, который заключается в построении экономико-математической модели для получения временного ряда, характеризующего вероятность наступления рискового события, и расчета величины ущерба.

7. Разработан методический подход, позволяющий оптимизировать параметры производственного процесса, для снижения вероятности наступления рисков и минимизации их последствий.

8. Разработана группировка производственно-технологических рисков по признаку – форма проявления в производственном процессе. Предложено проведение анализа факторов риска через их формализацию по принципу - «тип производственной задачи – характер влияния параметра на процесс».

9. На основании предложенного методического подхода для предприятия по добыче калийных руд:

- идентифицирован риск остановки конвейера и сформулирована производственная задача предприятия: определение максимально допустимой производительности бункера-перегрузателя с целью непрерывной выдачи руды на поверхность и недопущения аварийной остановки всей транспортной сети;

- обоснован набор факторов производственно-технологического риска;

- с учетом особенностей рассматриваемого производственного процесса обосновано применение имитационной модели;
- выполнена экономическая оценка риска останова конвейера, ущерб от которого составляет 113 млн. рублей в год;
- предложена установка автоматизированной системы динамического регулирования производительности бункера-перегрузителя, позволяющей получить экономический эффект в размере 197 млн рублей.

Дальнейшее направление исследования направлено на масштабирование предложенной методики экономической оценки производственно-технологических рисков для возможности применения на предприятиях, осуществляющих разработку рудных месторождений открытым способом. Модернизация группировки рисков по форме проявления, разработка рекомендаций по формулированию затрат на снижение вероятности риска позволять расширить применение методики таким образом, что с ее помощью стало возможным идентифицировать и обрабатывать ранее не замеченные риски уже на стадии подготовки проекта разработки рудного месторождения как подземным, так и открытым способом.

СПИСОК ОСНОВНЫХ РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в изданиях из Перечня ВАК:

1. Невская, М.А. Современные тенденции использования имитационного моделирования при управлении проектными рисками добывающих предприятий / Невская М.А., **Шабалова А.Е.** // Социальные и экономические системы. – 2023. – № 3-1(43). – С. 129-143.

2. Невская, М.А. Разработка классификации производственно-технологических рисков горных проектов по типам производственных задач / Невская М.А., **Шабалова А.Е.** // Экономика, предпринимательство и право. – 2024. – Том 14. – № 6.

Публикации в изданиях, входящих в международные базы данных и системы цитирования Scopus:

3. Nevskaya, M. Applications of simulation modeling in mining project risk management: criteria, algorithm, evaluation / Nevskaya M., **Shabalova A.**, Kosovtseva T., Nikolaychuk L. // Journal of Infrastructure, Policy and Development. – 2024. – № 8(8). – С. 5375.

4. Nevskaya, M. Development of a Quantitative Assessment Algorithm for Operational Risks in Mining Engineering / Nevskaya M., **Shabalova A.**, Nikolaichuk L., Kirsanova N. // Resources. – 2025. – №14(4). – С. 53.

Публикации в прочих изданиях:

5. Невская, М.А. Повышение эффективности управления проектными рисками горнодобывающих предприятий с помощью инструментов имитационного моделирования / Невская М.А., **Шабалова А.Е.** // Интеллектуальная инженерная экономика и Индустрия 5.0 (ИНПРОМ): Сборник трудов VIII Международной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 27–30 апреля 2023 года. – Санкт-Петербург: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2023. – С. 449-451.

6. **Шабалова А.Е.** Совершенствование методов управления проектными рисками горнодобывающих предприятий с применением имитационного моделирования / **Шабалова А.Е.** // Актуальные проблемы недропользования: тезисы докладов участников XIX Международного форума-конкурса студентов и молодых ученых, Санкт-Петербург, 21–27 мая 2023 года / Санкт-Петербургский горный университет. Том 1. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский горный университет, 2023. – С. 410-411.

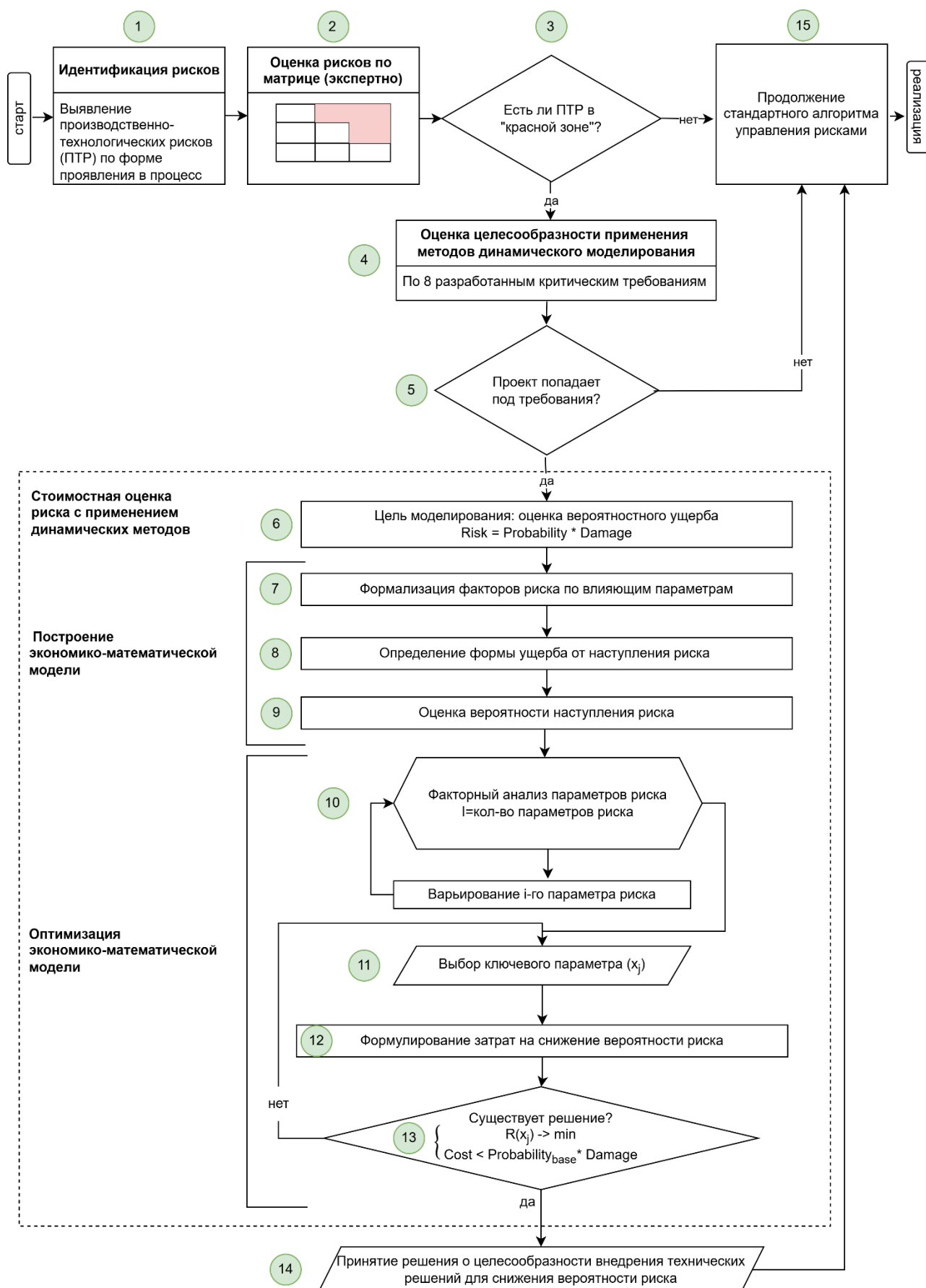


Рисунок 2 - Алгоритм экономической оценки производственно-технологических рисков

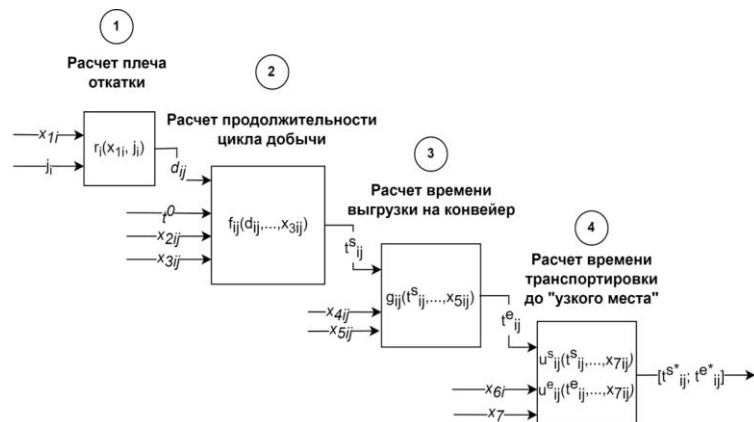


Рисунок 3 – Функциональная модель вероятности возникновения рисков ситуации - остановки конвейеров (один забой)

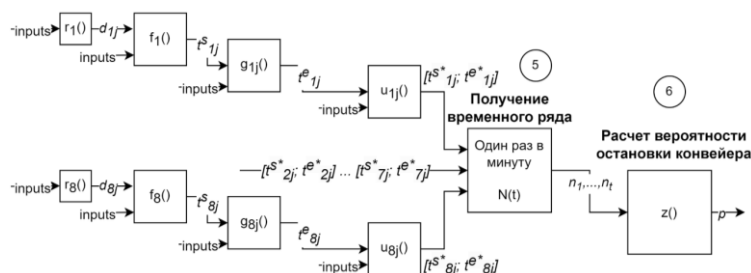


Рисунок 4 – Функциональная модель вероятности возникновения рисков ситуации – остановки конвейеров

Таблица 3 – Условные обозначения параметров модели

№	Параметр	Усл. об.	Значение
1	продолжительность смены, мин	l	720
2	номер забоя, комбайна, самоходного вагона	i	1..8
3	количество грузопотоков, количество циклов добычи	j	-
4	продвижение комбайна за цикл, м	x_1	0.5
5	плечо откатки, м	d	$d_{ij}(x_{1i}, j_i) = x_{1i} * j_i$
6	время начала нового цикла, мин	t^0	1,6
7	скорость движения вагона, м/мин	x_2	$normal(0.51, 98.75)$
8	время погрузочно-разгрузочных работ, мин	x_3	$normal(0.21, 5.62)$
9	момент начала движения грузопотока по конвейеру, мин	t^s	$f_i(d_{ij}, ..., x_{3ij}) = d_{ij}x_{2ij} + x_{3ij} + (t^0 * j_i)$
10	масса руды, т	x_4	16
11	производительность бункера-перегрузателя, т/мин	x_5	6..20
12	момент окончания выгрузки потока на конвейер, мин	t^e	$g_i(t^s_{ij}, ..., x_{5ij}) = \frac{x_4 i j}{x_5 i j} + t^s_{ij}$
13	расположение конвейеров - учитывается как длина каждого из конвейеров, м	x_6	50..1135
14	скорость ленты, м/мин	x_7	189
15	количество грузопотоков при объединении	n	$u^s_{ij}(t^s_{ij}, ..., x_{7ij}) = t^s_{ij} + \frac{x_6 i}{x_7}$ $u^e_{ij}(t^e_{ij}, ..., x_{7ij}) = t^e_{ij} + \frac{x_6 i}{x_7}$ $N(t) = n_1, n_2, \dots, n_t$
16	вероятность риска, %	pr_{base}	$z(n_1, ..., n_t) = \frac{\sum N(a) _{n=5} + \sum N(a) _{n=6} + \sum N(a) _{n=7} + \sum N(a) _{n=8}}{t}$

Таблица 2 – Таблица формализации факторов риска по типам производственных задач и характеру влияния на производственный процесс

Производственная задача – Организация выемочно-очистных работ	Факторы риска	Количество	Свойства	Расписание	Размещение
	Изменчивость плеча откатки по мере продвижения работ	Количество грузопотоков	–	Продолжительность смены	Продвижение комбайна за цикл
	Стохастический характер продолжительности цикла	Количество панелей; Количество забоев; Количество комбайнов; Количество вагонов	Скорость движения вагона	Время начала нового цикла; Продолжительность погрузочно-разгрузочных работ	–
	Вариативность скорости выгрузки руды на конвейер	Количество бункеров-перегрузателей	Масса руды за цикл; Производительность бункера-перегрузателя	–	–
	Различия в продолжительности транспортировки руды с разных панелей	Количество конвейеров	Скорость конвейерной ленты	–	Длина конвейеров

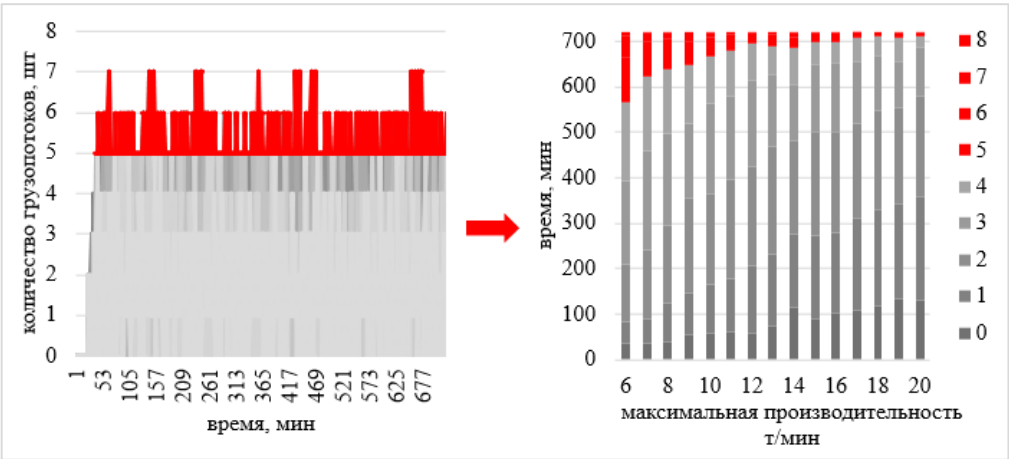


Рисунок 5 – Результаты расчета вероятности остановки конвейера по причине скопления грузопотоков



Рисунок 6 – График зависимости доли потерь времени при транспортировке от максимальной производительности перегружателя

Таблица 5 – Расчет объемов предотвращенных потерь за счет внедрения системы

Показатель	Значение для различной производительности перегружателя, тонн/мин															
	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	Св.
Добыча за 2 смены, тыс. т	14,74	14,75	14,75	14,77	14,80	14,88	14,82	14,78	14,72	14,74	14,86	14,85	14,83	14,75	14,83	14,79
Транспортировка (без остановок), тыс. т	13,86	13,89	13,90	13,92	13,98	14,06	14,03	13,94	13,90	13,94	14,06	14,08	14,06	13,98	14,06	13,98
Транспортировка (с остановками), тыс. т	4,54	3,79	5,10	5,25	5,65	5,22	5,31	5,04	4,08	5,92	6,48	7,66	7,90	5,65	6,96	5,64
Потери по причине простоя, тыс. т	9,31	10,10	8,80	8,67	8,34	8,85	8,72	8,90	9,82	8,02	7,58	6,42	6,16	8,34	7,10	8,34
Вероятность простоя (по распределению), %	16,7	13,8	11,4	9,4	7,8	6,4	5,3	4,4	3,6	3,0	2,5	2,1	1,7	1,4	1,1	6,04
Вероятностный ущерб, т	1557	1394	1004	817	649	569	463	391	356	240	188	131	104	116	82	537
Вероятностный ущерб как доля потерь, %	11,2	10,0	7,2	5,9	4,6	4,0	3,3	2,8	2,6	1,7	1,3	0,9	0,7	0,8	0,6	3,86
Скорректированная доля (по распределению), %	11,6	9,4	7,8	6,1	4,9	4,0	3,2	2,6	2,1	1,7	1,4	1,1	0,9	0,7	0,6	3,85
Скорректированные потери (по распределению), т	1613	1304	1053	850	689	559	450	360	290	234	191	154	124	100	81	537

Таблица 6 – Планирование денежного потока инвестиционного проекта внедрения автоматизированной системы регулирования производительности бункера

Показатель	Ед.изм	Период					
		0	1	2	3	4	5
Приток денежных средств	тыс.руб	0,00	113 057,65	113 057,65	113 057,65	113 057,65	113 057,65
Отток денежных средств	тыс.руб	114 060,47	20 027,77	20 027,77	20 027,77	20 027,77	20 027,77
Поток денежных средств	тыс.руб	- 114 060,47	93 029,88	93 029,88	93 029,88	93 029,88	93 029,88
Ставка дисконтирования	%	15	15	15	15	15	15
Коэффициент дисконтирования	-	1,00	0,87	0,76	0,66	0,57	0,50
Дисконтированный денежный поток	тыс.руб	- 114 060,47	80 895,55	70 343,95	61 168,65	53 190,13	46 252,29
Дисконтированный денежный поток нарастающим итогом	тыс.руб	- 114 060,47	- 33 164,93	37 179,03	98 347,68	151 537,82	197 790,11